



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Efecto de la concentración de almidones
resistentes de la papa común (*Solanum
tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*)
sobre la digestibilidad de nutrientes, energía
metabolizable e integridad del tracto
gastrointestinal de pollos de engorde**

Daniel Eduardo Rodríguez Aguilar

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Departamento de Ciencias para la

Producción Animal

Bogotá D.C., Colombia

2013

Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (*Solanum tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde

Daniel Eduardo Rodríguez Aguilar

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Producción Animal

Director (a):

Ph.D., Germán Afanador Telléz

Codirector (a):

Ph.D., Claudia Janeth Ariza Nieto

Línea de Investigación:

Nutrición Animal

Grupo de Investigación:

Microbiología y Nutrición Animal del Trópico

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Departamento de Ciencias para la

Producción Animal

Bogotá D.C., Colombia

2013

Dedicado a todas las personas que me han antecedido para conocer a Dios, Mis Abuelas Rosa y Matilde, Mis Tíos Pablo, José, Hugo, Julio, Victor, Abel y al Viejo Luigi quienes con sus vidas me brindaron grandes clases, las magistrales que no se aprenden frente a un tablero, gracias y mientras tanto a disfrutar la vida.....

Agradecimientos

A la CORPOICA y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la financiación del proyecto titulado “Evaluación del valor nutricional y funcional de la papa común (*Solanum tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*), dentro del cual se desarrollo el presente trabajo de investigación

Al Dr. German Afanador y la Dra. Claudia Ariza, quienes aportaron con su conocimiento el sendero que siguió esta tesis

Al Dr. Carlon Ñustez y la Ingeniera Liliana quienes me aportaron los primeros materias de *Solanum phureja* para iniciar con esta travesía

A Norberto Rincón quien me ayudo a conseguir varios de los materiales de papa común

Al personal del laboratorio de Nutrición Animal del Centro de Biotecnología y Bioindustria de CORPOICA, en especial a las Señoras Robertina, Myriam, Doris y Don Alipio y Don Arcadio quienes me brindaron su apoyo y aportaron su grano de arena para hacer posible este documento

A las personas que durante mi estancia me colaboraron en la Unidad de Avicultura de CORPOICA, Leonardo, Stella y los pasantes del Sena que trabajaron hombro a hombro estas grandes jornadas de campo

Al ICTA y especialmente al profesor Romero por su colaboración y apoyo en los pasos iniciales para la extracción del almidón de papa

VIII Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (*Solanum tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable, e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde

Al Centro Internacional de Física y al Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido por su ayuda y colaboración en especial a Magnolia

A Andrea, Karen, Vienvilay, Diana, Vanesa, Jaquelin, Carlos, Melisa, y demás personas que hicieron posible esto con su colaboración

A Sandra, Angelita y Rochi personas especiales que tuve la dicha de conocer en este caminar

A Yuli, quien sabe lo duro que es producir un kilogramo de AR3 estuvo junto a mí para hacer esto posible

A Yesid, Ronal, Edgar, Ciro, Claudia, Dra Gloria Casas, Natalia Lopéz, Angela Palomares, el viejo Rafa y demás compañeros y amigos que desinteresadamente aportaron sin esperar nada a cambio, para ellos mi gratitud infinita

A Edward Cabezas, compañero de batalla y amigo quien sabe de corazón cual es el esfuerzo y la sangre que hemos derramado en cada batalla academica y de la vida para alcanzar nuestros objetivos,

A todas las Personas, familiares, amigos y conocidos que durante todo este tiempo he podido conocer, de quienes aprendí mucho en estos años y me han apoyado, para todos ellos mis infinitas. GRACIAS TOTALES.

A Adriana B.C, ahora caminamos de la mano y doy gracias a Dios porque nos puso a los dos juntos por la senda de la vida en el momento justo. GRACIAS por brindarme tu amor, apoyo, energía, paciencia, vivencias, sentimientos y la pasión que hacen vibrar mi corazón cada día, has sido el hombro donde descansar mi cabeza cuando las fuerzas me faltaban o las circunstancias me debilitaban y ahora compartimos juntos un dia a la vez, sin afanes y con la alegría de estar tranquilos, uno junto al otro.

Finalmente a mi Familia, mi mama que nunca se ha guardado nada para ella y siempre lo a compartido todo conmigo y mis hermanos en estos años, 32 para ser exacto, mi papa

que me a acompañado en cada madrugada con un tinto y me a llevado en cada vuelta de la vida y mis hermanos Marlon y Nelson, con quienes crecer a sido un privilegio, aprender de sus errores y aciertos me alimenta cada día, hoy después de soportar todo lo que hemos pasado todas las personas que aparecen en estos agradecimientos para alcanzar este final, mes queda por decirles GRACIAS por su paciencia y apoyo, comprendo que todo este esfuerzo valio la pena por cada uno de ellos y en especial por MI, ahora cierro este ciclo he inicio uno nuevo en mi vida junto a mi familia y las personas que están en mi corazón

Resumen

El almidón resistente retrogradado (AR3) de las variedades Pastusa (*Solanum tuberosum* grupo *andigena*) y Guaneña (*Solanum tuberosum* grupo *phureja*) fue evaluado como aditivo funcional con características similares a la fibra dietaria. En un primer experimento se comparó con manano oligosacáridos (MOS) a tres niveles de inclusión (0.5%, 1.0% y 1.5%) y un control sin suplementar, donde 600 pollos machos Ross de un día de edad fueron repartidos aleatoriamente a 10 tratamientos experimentales hasta el día 25 de edad. Un mayor consumo de alimento, conversión alimenticia y un menor coeficiente de digestibilidad de materia orgánica (CDMO) ($P<0.05$) fue observado para el control frente a los grupos suplementados. El grupo MOS presentó un mayor valor del CDMO comparado con los grupos AR3. Ni la digestibilidad de nutrientes o el valor de energía metabolizable de la dieta fueron afectados por la inclusión de AR3 comparado con los grupos MOS y control. MOS y AR3 de papa tendieron ($P=0.075$) a disminuir el valor de triglicéridos y VLDL en plasma frente al grupo control. En los días 12 y 19, ambos grupos mostraron un menor peso relativo ($P<0,05$) del ciego, duodeno, y yeyuno, con una menor longitud relativa del duodeno frente al control. MOS 0.5% y AR3 guaneña y Pastusa 1.0% mostraron ($P<0.05$) una mayor altura vellosidad, una menor profundidad de cripta y una mayor relación altura vellosidad/profundidad cripta a nivel duodeno. Un segundo experimento evaluó los niveles de 1.0% de AR3 guaneña y pastusa frente a MOS (0.5%), CMC (1%), Levadura (0.5%) y un control sin suplementar, los 792 pollos machos Ross de un día de edad fueron repartidos aleatoriamente en los tratamientos experimentales. MOS y AR3 pastusa presentaron la mayor ganancia de peso al día 42 de edad ($P<0.05$). El grupo MOS presentó un menor consumo de alimento y conversión de alimento, la conversión de alimento más alta la obtuvieron los grupos CMC y control sin suplementar. El mayor índice de eficiencia europea lo mostró el grupo MOS, seguido por el grupo AR3 pastusa. Los resultados sugieren que el almidón resistente retrogradado de papa es un aditivo funcional potencial que puede ser utilizado en dietas para pollos de engorde.

Palabras clave: *Solanum tuberosum* y *phureja*, almidón resistente, retrogradación, aditivo funcional, pollo engorde.

Abstract

Retrograded resistant starch (RS3) from potato varieties Pastusa (*Solanum tuberosum andigena* group) and Guaneña (*Solanum tuberosum phureja* group) were evaluated as a functional additive with characteristics similar to dietary fiber. In the first experiment RS3 was compared to Mannan Oligosaccharide (MOS) at three levels of inclusion (0.5%, 1.0% y 1.5%) and a control without supplementation. A total of 600 one-day-old Ross male broilers were randomly assigned to one of 10 dietary treatments until day 25 of age. Higher feed intake, feed conversion and lower digestibility coefficient of organic matter (DCOM) ($P<0.05$) was observed in control group compared to supplemented groups. The MOS group had higher DCOM value compared to RS3 groups. Neither nutrient digestibility nor metabolizable energy value of the diets were affected by the inclusion of RS3 compared to MOS and the control groups. Both MOS and RS3 showed a tendency ($P=0.075$) to decrease plasma triglycerides and VLDL values compared to the control group. In days 12 and 19, both groups showed a lower relative weight ($P<0.05$) in the cecum, duodenum, and jejunum and a shorter length of the duodenum compared to the control. MOS 0.5% and RS3 of guaneña and Pastusa 1.0% showed ($P<0.05$) a higher villi length, lower crypt depth, and a higher villi: crypt ratio at the duodenum level. The second experiment evaluated the 1.0% inclusion level of RS3 of guaneña and Pastusa compared to MOS (0.5%), CMC (1%), yeast (0.5%) and a control without supplementation, the 792 one-day-old Ross male broilers were randomly assigned to the experimental treatments. MOS and RS3 of pastusa showed the highest body weight gain at day 42 of age ($P<0.05$). MOS group presented the lowest feed intake and feed conversion ratio (FCR), the highest FCR was obtained by the CMC and control group. The largest European efficiency index was showed by the MOS group, followed by RS3 pastusa group. The results suggest that retrograded resistant starch of potato is a potential functional additive that can be used in broilers diets.

Keywords: *Solanum tuberosum* and *phureja*, resistant starch, retrogradation, functional additive, broiler.

Contenido

	Pág.
.....	
Resumen	XI
Abstract.....	XII
Lista de figuras.....	XVI
Lista de tablas	XIX
Introducción General	1
1. Revisión de Literatura	9
1.1 Generalidades de la papa	9
1.2 Características nutricionales de la papa	13
1.3 El almidón	14
1.4 Digestión del almidón	18
1.5 Almidón resistente.....	19
1.6 Consecuencias fisiológicas del almidón resistente	21
1.7 Determinación del almidón resistente	23
1.8 Uso del almidón en la alimentación de pollos de engorde.....	25
Bibliografía	28
2. Caracterización fisicoquímica de 10 variedades comerciales de papa dirigida a seleccionar materiales para producción de almidón resistente retrogradado	35
2.1 Introducción.....	35
2.2 Materiales y métodos	38
2.2.1 Procedencia y recolección del material.....	38
2.2.2 Caracterización física de las variedades de papa	38
2.2.3 Caracterización química de las variedades de papa.....	39
2.2.4 Extracción del almidón de papa y obtención del almidón retrogradado.....	41
2.2.5 Selección de dos variedades de papa con mayor potencialidad de uso como aditivo funcional en dietas para pollos de engorde	41
2.2.6 Análisis estadístico	42
2.3 Resultados y discusión	43
2.3.1 Peso, forma, color de la piel y pulpa del tubérculo y peso específico..	43
2.3.2 Resistencia al corte y al punzonamiento	47
2.3.3 Granulometría del almidón de papa	50
2.3.4 Microscopia electrónica de barrido.....	52
2.3.5 Análisis proximal	54
2.3.6 Almidón total, almidón resistente y contenido de fosforo en muestras de papa cocidas.....	56

2.3.7	Amilosa, amilopectina y contenido de fósforo en el almidón de papa ..	59
2.3.8	Extracción del almidón de papa	60
2.3.9	Retrogradación del almidón de papa	62
2.3.10	Selección de dos variedades de papa	68
2.4	Conclusiones	69
2.5	Bibliografía	69
3. Influencia del AR retrogradado de papa sobre el desempeño productivo, balance nutricional y perfil lipídico de pollos de engorde en etapa de crecimiento.77		
3.1	Introducción	77
3.2	Materiales y métodos	78
3.2.1	Bioensayo con pollos de engorde	78
3.2.2	Digestibilidad ileal y fecal de nutrientes y valor de energía metabolizable	81
3.2.3	Perfil lipídico	82
3.2.4	Análisis estadístico	82
3.3	Resultados	83
3.3.1	Parámetros productivos	83
3.3.2	Valor de energía metabolizable aparente (EMA), energía metabolizable aparente corregida por N (EMAn) y coeficientes de digestibilidad a nivel ileal y total	85
3.3.3	Perfil lipídico	92
3.4	Discusión	94
3.5	Conclusiones	102
3.6	Bibliografía	103
4. Influencia del AR retrogradado de papa sobre el desarrollo macro y microestructural del TGI y la producción de AGV de pollos de engorde en etapa de crecimiento.....107		
4.1	Introducción	107
4.2	Materiales y métodos	109
4.2.1	Bioensayo con pollos de engorde	109
4.2.2	Dinámica de desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI)	111
4.2.3	Morfometría del tracto intestinal	111
4.2.4	Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) y determinación de pH en el contenido cecal	112
4.2.5	Análisis estadístico	113
4.3	Resultados	114
4.3.1	Dinámica de desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI)	114
4.3.2	Morfometría del intestino delgado	120
4.3.3	Determinación de pH y concentración de ácidos grasos volátiles (AGV)	133
4.4	Discusión	136
4.5	Conclusiones	145
4.6	Bibliografía	146
5. Influencia del AR retrogradado de papa sobre el desempeño productivo, crecimiento y respuesta económica de pollos de engorde en un ciclo de producción153		

5.1	Introducción.....	153
5.2	Materiales y métodos	155
5.2.1	Bioensayo con pollos de engorde	155
5.2.2	Tasa específica de crecimiento	158
5.2.3	Indicadores productivos	158
5.2.4	Rendimiento en canal.....	159
5.2.5	Análisis económico.....	159
5.3	Resultados	162
5.3.1	Parámetros productivos	162
5.3.2	Respuesta del crecimiento y tasa específica de crecimiento	164
5.3.3	Indicadores productivos	165
5.3.4	Rendimiento en canal y análisis económico	166
5.4	Discusión.....	168
5.5	Conclusiones.....	173
5.6	Bibliografía	174
6.	Discusión general.....	179
6.1	Bibliografía	190
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	195

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Representación esquemática de la estructura de la tesis.....	6
Figura 1-1: Rutas de utilización de la papa fresca en Colombia.....	10
Figura 1-2: Sitios de síntesis, resíntesis, almacenamiento y composición del almidón de papa	16
Figura 1-3: Pasos en la obtención del almidón nativo y retrogradado de papa	21
Figura 2-1: Granulometría del almidón extraído en las variedades de papa común..	50
Figura 2-2: Granulometría del almidón extraído de las variedades de papa criolla...	51
Figura 2-3: Micrografías electrónicas de barrido (SEM) de gránulos de almidón de las variedades: Parda Pastusa (A), R12 (B), Tocarreña (C), Guaneña (D), Colombia (E), Mambera (F).	53
Figura 2-4: Efecto de la temperatura sobre la concentración de AR retrogradado de almidones extraídos de las especies <i>S. tuberosum</i> g. <i>andigena</i> <i>S. tuberosum</i> g. <i>phureja</i> . ..	63
Figura 2-5: Micrografías electrónicas de barrido (SEM) de almidón de las variedades: Suprema (A), Pastusa (B y C), Colombia (D), Guaneña (E) y Mambera (F) sometido a tratamiento térmico (0 °C / 32 °C c / u por 24 h).....	65
Figura 2-6: Micrografías electrónicas de barrido (SEM) de almidón de las variedades: Suprema (A), Pastusa (B y C), Colombia (D), Guaneña (E) y Mambera (F) sometido a tratamiento térmico (0°C/100°C c/u por 24 h.).....	66
Figura 3-1 y Figura 3-2:Efecto del nivel de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el consumo y la conversión de alimento de pollos de engorde al día 25 de edad	85
Figura 3-3 y Figura 3-4: Efecto del nivel de inclusión de MOS y AR3 Guaneña y Pastusa sobre la EMAn y la metabolicidad durante el periodo de balance del día 23 a 25 de edad.	86
Figura 3-5 y Figura 3-6: Efecto del nivel de inclusión de MOS y AR3 Guaneña y Pastusa sobre el coeficiente de digestibilidad de la MS y MO durante el periodo de balance del día 23 a 25 de edad.....	88
Figura 3-7 y Figura 3-8: Efecto del nivel de inclusión de MOS y AR3 Guaneña y Pastusa sobre sobre la EMAn y metabolicidad a nivel total de pollos de engorde durante el período de balance del día 23 al 25 de edad.....	90
Figura 3-9: Efecto del nivel de inclusión de MOS y AR3 Guaneña y Pastusa sobre sobre el balance de nitrógeno a nivel total de pollos de engorde durante el período de balance del día 23 al 25 de edad.....	90

Figura 3-10, Figura 3-11 y Figura 3-12:Efecto del nivel de inclusión de MOS y AR3 de Guaneña y Pastusa sobre los coeficientes de digestibilidad de la MS, MO y Proteína cruda de pollos de engorde durante el período de balance del día 23 al 25 de edad.	92
Figura 3-13, Figura 3-14 y Figura 3-15: Efecto del nivel de inclusión de MOS y AR3 de Guaneña y Pastusa sobre la concentración de triglicéridos, colesterol HDL y colesterol VLDL de pollos de engorde al día 25 de edad.....	94
Figura 4-1: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la altura de la vellosidad a nivel de duodeno de pollos de engorde al día 25 de edad	121
Figura 4-2: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la profundidad de la cripta a nivel de duodeno de pollos de engorde al día 25 de edad	122
Figura 4-3: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el área de la vellosidad a nivel de duodeno de pollos de engorde al día 25 de edad	123
Figura 4-4: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la relación vellosidad/cripta a nivel de duodeno de pollos de engorde al día 25 de edad	124
Figura 4-5: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la altura de la vellosidad a nivel de yeyuno de pollos de engorde al día 25 de edad	125
Figura 4-6: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la profundidad de la cripta a nivel de yeyuno de pollos de engorde al día 25 de edad	127
Figura 4-7: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el área aparente de la vellosidad a nivel de yeyuno de pollos de engorde al día 25 de edad	127
Figura 4-8: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre relación vellosidad/cripta a nivel de yeyuno de pollos de engorde al día 25 de edad	128
Figura 4-9: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la altura de la vellosidad a nivel de íleon de pollos de engorde al día 25 de edad	131
Figura 4-10: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la profundidad de la cripta a nivel de íleon de pollos de engorde al día 25 de edad	131
Figura 4-11: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el área aparente de la vellosidad a nivel de íleon de pollos de engorde al día 25 de edad	132
Figura 4-12: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la relación vellosidad/cripta a nivel de íleon de pollos de engorde al día 25 de edad	133

Figura 4-13: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la concentración de ácido acético cecal de pollos de engorde a los 25 días de edad	135
Figura 4-14: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS sobre la concentración de ácido propiónico a nivel cecal de pollos de engorde a los 25 días de edad.	135
Figura 4-15: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS y AR3 Pastusa sobre la concentración de ácido butírico a nivel cecal de pollos de engorde a los 25 días de edad.	136
Figura 5-1: Pesos corporales registrados al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo para pollos de engorde.....	164
Figura 5-2: Tasa específica de crecimiento registrada al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo para pollos de engorde	165

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Características reportadas para las variedades comerciales de papa común <i>Solanum tuberosum</i> grupo <i>andigena</i> utilizadas en este estudio.....	11
Tabla 1-2: Características reportadas para las variedades comerciales de papa criolla <i>Solanum tuberosum</i> grupo <i>phureja</i> utilizadas en este estudio	12
Tabla 1-3: Clasificación nutricional de los almidones resistentes.....	20
Tabla 2-1: Características físicas de las variedades de papa pertenecientes a la especie <i>Solanum tuberosum</i> g. <i>andigena</i>	45
Tabla 2-2: Características físicas de las variedades de papa pertenecientes a la especie <i>Solanum tuberosum</i> g. <i>phureja</i>	46
Tabla 2-3: Características físicas de las papas por especie	47
Tabla 2-4: Comparación de los valores de resistencia al corte y al punzonamiento entre variedades comerciales de papa evaluadas.....	48
Tabla 2-5: Comparación de los valores de resistencia al corte y al punzonamiento entre especies de papa <i>Solanum tuberosum</i> g. <i>andigena</i> y <i>Solanum tuberosum</i> g. <i>phureja</i>	49
Tabla 2-6: Análisis proximal para las variedades comerciales de papas <i>S. tuberosum</i> g. <i>andigena</i> y <i>S. tuberosum</i> g. <i>phureja</i> cocidas con cáscara en autoclave	55
Tabla 2-7: Valores de almidón total, almidón resistente y fósforo en papa con cáscara cocida en autoclave de variedades comerciales de <i>Solanum tuberosum</i> g. <i>andigena</i> y <i>Solanum tuberosum</i> g. <i>phureja</i>	57
Tabla 2-8: Valores de amilosa, amilopectina y fósforo en muestras de almidón provenientes de variedades comerciales de <i>Solanum tuberosum</i> g. <i>andigena</i> y <i>Solanum tuberosum</i> g. <i>phureja</i>	59
Tabla 2-9: Balance de masas para la obtención de almidón a partir de variedades de papa	61
Tabla 2-10: Valores de almidón resistente (ART) retrogradado como % del almidón total al aplicar dos tratamientos térmicos en variedades comerciales de papa cultivadas en Colombia	62
Tabla 2-11: Puntaje utilizado para la selección de las variedades comerciales con mayor potencialidad para generación de AR retrogradado	68
Tabla 3-1: Dietas experimentales utilizadas en el bioensayo del día 5 al 25 de edad .	80
Tabla 3-2: Efecto del AR3 de dos especies de papa con tres niveles de inclusión sobre los parámetros productivos de pollos de engorde al día 25 de edad.....	84

Tabla 3-3: Efecto del AR retrogradado de papa con tres niveles de inclusión sobre la EMA, EMAN y metabolibilidad a nivel de contenido ileal de pollos de engorde a los 25 días de edad	86
Tabla 3-4: Efecto del AR3 de papa con tres niveles de inclusión sobre los coeficientes de digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y proteína cruda a nivel de contenido ileal de pollos de engorde a los 25 días de edad	87
Tabla 3-5: Efecto del AR3 de papa con tres niveles de inclusión sobre la EMA, EMAN y metabolibilidad a nivel de excretas de pollos de engorde durante el balance del día 23 al 25 de edad	89
Tabla 3-6: Efecto del AR3 de papa con tres niveles de inclusión sobre los coeficientes de digestibilidad de la materia seca, materia orgánica, proteína cruda y balance de nitrógeno a nivel de excretas de pollos de engorde durante el balance del día 23 al 25 de edad	91
Tabla 3-7: Efecto del AR retrogradado de dos variedades de papa sobre el perfil lipídico en plasma de pollos de engorde a los 25 días de edad	93
Tabla 4-1: Dietas experimentales utilizadas en el bioensayo del día 5 al 25 de edad	110
Tabla 4-2: Efecto del MOS y AR3 de papa Guaneña y Pastusa sobre el peso y medición relativa de los componentes del TGI de pollos de engorde a los 12 días de edad	114
Tabla 4-3: Efecto del MOS y AR3 de papa Guaneña y Pastusa sobre el peso y medición relativa de los componentes del TGI de pollos de engorde a los 19 días de edad.	116
Tabla 4-4: Efecto del MOS y AR3 de papa Guaneña y Pastusa sobre el peso y medición relativa de los componentes del TGI de pollos de engorde a los 25 días de edad.	118
Tabla 4-5: Efecto del AR retrogradado de dos variedades papa suplementadas sobre la microestructura del duodeno de pollos de engorde a los 25 días de edad.....	120
Tabla 4-6: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la altura de la vellosidad a nivel del duodeno.....	121
Tabla 4-7: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la profundidad de la cripta de la vellosidad a nivel del duodeno.	122
Tabla 4-8: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el área aparente de la vellosidad a nivel del duodeno.....	123
Tabla 4-9: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la relación vellosidad / cripta a nivel del duodeno.	124
Tabla 4-10: Efecto del AR retrogradado de dos variedades papa suplementadas sobre la microestructura del yeyuno de pollos de engorde a los 25 días de edad	125

Tabla 4-11: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la altura de la vellosidad a nivel del yeyuno.	126
Tabla 4-12: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la profundidad cripta a nivel del yeyuno.....	126
Tabla 4-13: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el área aparente de la vellosidad a nivel del yeyuno.	128
Tabla 4-14: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre relación vellosidad / cripta a nivel del yeyuno.....	129
Tabla 4-15: Efecto del AR retrogradado de dos variedades papa suplementadas sobre la microestructura del íleon de pollos de engorde a los 25 días de edad.....	129
Tabla 4-16: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la altura de la vellosidad a nivel de íleon.	130
Tabla 4-17: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la profundidad de la cripta a nivel de íleon.	132
Tabla 4-18: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el área aparente de la vellosidad a nivel de íleon.....	132
Tabla 4-19: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la relación vellosidad / cripta a nivel de íleon.	133
Tabla 4-20: Efecto del AR retrogradado de dos variedades de papa sobre el pH de la digesta del íleon y ciegos y AGV a nivel cecal de pollos de engorde a los 25 días de edad.	134
Tabla 5-1: Dietas experimentales utilizadas en el bioensayo del día 1 al día 35 de edad	157
Tabla 5-2: Dietas experimentales utilizadas en el bioensayo del día 35 al día 42 de edad	158
Tabla 5-3: Costos de las dietas experimentales.....	160
Tabla 5-4: Parámetros productivos evaluados al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo de pollos de engorde.....	163
Tabla 5-5: Pesos corporales registrados al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo para pollos de engorde	164
Tabla 5-6: Tasa específica de crecimiento registrada al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo para pollos de engorde.....	165
Tabla 5-7: Indicadores productivos obtenidos al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo para pollos de engorde.....	166

Tabla 5-8: Peso corporal en pie, peso en canal y peso de las fracciones de pollos de engorde al suplementar diferentes aditivos funcionales al día 43 de edad de pollos de engorde.	167
Tabla 5-9: Análisis económico al suplementar diferentes aditivos funcionales al día 43 de edad de pollos de engorde.	167

Introducción General

La Industria Avícola Colombiana ha tenido un avance significativo en las últimas décadas que se refleja en su aporte al PIB nacional y a su posicionamiento como la segunda actividad pecuaria del país, después de la ganadería bovina. El segmento de la industria de carne de pollo es una fuente importante de empleo y mantiene una relación directa con otros sectores a lo largo de la cadena productiva, hacia atrás con la agricultura comercial productora de recursos alimenticios, la fabricación de alimentos balanceados, los productos farmacéuticos, entre otros y hacia delante con la comercialización de la carne de pollo y de productos con valor agregado para el consumidor. La carne de pollo es una excelente fuente de proteínas de alta calidad y de otros nutrientes (hierro, selenio, zinc, vitaminas A y B12 y ácido fólico) que no pueden ser obtenidos de fuentes vegetales. Adicionalmente, la carne es baja en carbohidratos y contribuye a un índice glicémico bajo, el cual se asume es benéfico en términos de la presencia de enfermedades no infecciosas como: la obesidad, la diabetes y el cáncer (Biesalki, 2005). En este contexto, los sistemas de producción de carne de pollo brindan la capacidad de afrontar nuevos retos y responder ante las exigencias de un mercado ávido por un producto sano, económico, con un alto valor y calidad nutricional, acorde a las necesidades y exigencias actuales del consumidor.

La producción mundial de carne de pollo ha tenido un crecimiento promedio de 5% anual durante los últimos siete años, esto debido a las preferencias y expectativas de los consumidores (Doménech, 2007). En el caso Colombiano, los parámetros de desarrollo y productividad han alcanzado y superado estándares internacionales y el país se posiciona en el sexto lugar de la producción continental (después de Estados Unidos, Brasil, México, Canadá y Argentina). Para el 2006, la producción de carne de pollo alcanzó las 849.557 toneladas, equivalente a un crecimiento de 11.4% con respecto al año 2005 (Conpes, 2007). De otra parte, aunque Colombia actualmente exporta una cantidad mínima de carne de pollo, es importante destacar su presencia en mercados emergentes de algunos países, lo cual abre la puerta a nuevos consumidores. El mercado interno muestra un consumo per cápita incremental con un promedio de

crecimiento anual de 6.85% entre 1998 al 2006, alcanzando para el año 2010 un valor de 23.4 kg / persona / año (FENAVI-FONAP, 2011), siendo relativamente bajo frente a países con mayores consumos per cápita del mundo (Estados Unidos 53.2 Kg. y Brasil 51.4 Kg., para el año 2009); en consecuencia, la posibilidad de expandir la producción interna es real y recae en un aumento del consumo doméstico (Espinal y col., 2005a).

La diversidad de especies de plantas, animales y microorganismos presentes en Colombia, lo ubican como el segundo país más megadiverso del mundo, después de Brasil (Andrade, 1990). De acuerdo al Centro Internacional de la Papa (CIP), existen cerca de 4000 variedades de papa, muchas de las cuales se encuentran en los Andes Suramericanos, siendo el tercer cultivo utilizado en la alimentación humana después del arroz y el trigo. Su papel es estratégico en países en desarrollo para el sostenimiento de la seguridad alimentaria, en términos de un alimento altamente energético por su contenido de almidón, con una proteína de alto valor biológico y unos contenidos importantes de vitaminas y minerales. La preservación y utilización sostenible de esa diversidad biológica, junto al beneficio equitativo de esos recursos genéticos expresados a través del Convenio sobre Diversidad Biológica (1993) condujeron a la formación en el caso Colombiano de un Sistema de Bancos de Germoplasma para la Alimentación y la Agricultura. La Colección Central Colombiana de papa actualmente posee 2985 clones cultivados y silvestres de papa, compuesta por materiales pertenecientes a *Solanum tuberosum* subespecie *andigena* (papa de año), *Solanum tuberosum* subespecie *phureja* (papa criolla), *Solanum tuberosum* subespecie *chaucha* (papa amarilla) y especies silvestres *Solanum tuberosum* subespecie *colombianum* y *Solanum tuberosum* subespecie *estradae* (CORPOICA, 2005).

En Colombia existen más de 30 variedades de papa cultivadas en condiciones comerciales, pero tan solo 10 de ellas cuentan con una importancia significativa en los mercados (Espinal y col., 2005b). Entre las variedades de papa común se destacan la Parda Pastusa, R12, Sabanera, Suprema y Única y en el caso de papa criolla, la variedad Colombia es la más utilizada, aun cuando en los últimos años la siembra de las variedades Latina, Galeras y Guaneña ha venido en aumento en ciertos nichos de mercado. Gran parte de estas variedades son utilizadas para el consumo en fresco, aun cuando existen variedades de importancia para la industria (papa chips, pre-fritos y pre-congelados), obtención de harinas, almidón y como recurso alimenticio fundamentalmente en cerdos y vacas de leche. Este tipo de recursos alimenticios no

solamente aportan nutrientes para la nutrición y alimentación de los animales, sino que están también compuestos por un importante y significativo número de moléculas, las cuales en algunos casos son tóxicas y en otros actúan por sus propiedades bioactivas a nivel celular. Dentro de estas moléculas se encuentran los almidones resistentes, cuya actividad biológica a nivel intestinal está relacionada con la salud intestinal.

En este contexto, la papa contiene una cantidad relevante de almidón resistente (AR), el cual es conocido como la fracción del almidón total ingerido y los productos de su degradación que escapan de la acción de las enzimas digestivas en el intestino delgado, de manera similar a otras fibras dietarias (Asp, 1992 y Devries, 2004). Dentro de la clasificación de los AR dada por Englyst y col. (1992) se encuentra el almidón resistente nativo o AR tipo 2 (AR2), el cual hace referencia a los gránulos de almidón nativo que resisten la digestión dado su conformación estructural, estando presente en la papa. El almidón resistente retrogradado o AR tipo 3 (AR3) constituido por el almidón no granular y por materiales derivados, formados luego de someter los gránulos de almidón a procesos de cocción (por encima de la temperatura de gelatinización) y de enfriamiento, perdiendo su conformación estructural inicial, para reagruparse en estructuras cristalinas capaces de resistir la hidrólisis con amilasas, siendo un ejemplo clásico la papa cocida, la cual presenta cantidades importantes de AR3, dependiendo del tipo de proceso al cual es sometida y la relación amilosa / amilopectina presente en el material (Siljestrom y Asp, 1985)

Algunos de los problemas para mantener la salud y evitar la enfermedad en los pollos de engorde están relacionados con el incremento en la demanda de grandes volúmenes de producción, lo cual requiere de una producción más intensiva, con un número incremental de aves en pequeñas áreas. En estas circunstancias, los animales están expuestos a diferentes tipologías de estrés biótico y abiótico, que alteran sus procesos homeostáticos y que en algunos casos conducen al desarrollo de entes patológicos y no patológicos que influyen de manera significativa en la productividad de la carne de pollo. Se debe promover entonces un equilibrio a nivel intestinal que depende de la preservación armoniosa de la relación entre los microorganismos que colonizan el tracto gastrointestinal (TGI) y el huésped (Neish, 2002). Se ha señalado que el AR3 tiene un efecto más marcado en la producción de ácidos grasos volátiles (AGV), siendo el ácido butírico el principal producto de esta fermentación microbiana (Sharp y Macfarlane, 2000). Los patrones de fermentación y perfiles característicos de AGV, acompañados de

una tasa relativa más lenta de fermentación, conllevan a una mayor generación de butirato por parte del AR frente a la mayoría de fibras dietarias, siendo este la principal fuente energética para los colonocitos (Bello-Pérez y Paredes-López, 2009).

Los productos metabólicos generados por la flora microbiana, pueden afectar positivamente la función inmune del huésped (Brouns y col., 2002), donde la presencia e interacción estos organismos (Houdijk, 1998; Hillman, 2001 y Bezkerovainy, 2001) pueden inhibir o retardar la proliferación de microorganismos patógenos, al reducir el pH intestinal, brindando una protección ante el paso de estos microorganismos hacia el TGI superior (Wang y col., 1999). De otra parte, el tiempo de permanencia del almidón en el lumen del intestino delgado, se convierte en pieza clave para determinar la cantidad final que llega al íleon terminal, siendo los tiempos de exposición a las amilasas salival y pancreática y las hidrolasas de las células de borde de cepillo, factores que pueden modificar la cantidad de AR que puede llegar a la microflora del colon; resaltando, que el almidón resistente no es estrictamente indigestible e incluye materiales que pueden ser potencialmente digeridos (Bird y col., 2009).

El uso potencial del almidón resistente retrogradado como una fuente de fibra dietaria para la industria de la carne de pollo ha sido poco estudiado; razón por la cual, se planteó en este estudio la hipótesis que los almidones resistentes de la papa pueden estimular el crecimiento de los pollos de engorde y beneficiar la salud intestinal de las aves. Los objetivos de esta investigación son:

- Determinar la composición físico-química: análisis proximal, almidón total y cuantificación y biodisponibilidad *in vitro* de AR en de 10 diferentes variedades comerciales de papa (*Solanum tuberosum* grupo *andigena* y *Solanum tuberosum* grupo *phureja*).
- Evaluar los posibles efectos de la concentración de almidón resistente de la papa (*Solanum tuberosum* grupo *andigena* y *Solanum tuberosum* grupo *phureja*) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable, e integridad del tracto gastrointestinal en la nutrición de pollos de engorde.
- Evaluar la respuesta de las mejores concentraciones de AR retrogradado de papa (*Solanum tuberosum* grupo *andigena* y *Solanum tuberosum* grupo *phureja*) como aditivo funcional en un sistema de alimentación por fases para pollos de engorde.

- Analizar los efectos económicos de las concentraciones de AR retrogradado de papa (*Solanum tuberosum* grupo *andigena* y *Solanum tuberosum* grupo *phureja*) dentro de un sistema de alimentación por fases para pollos de engorde a través de técnicas de presupuestos parciales.

La tesis analiza la influencia de los almidones resistentes de la papa sobre la integridad del tracto gastrointestinal, la digestibilidad de nutrientes, la energía metabolizable de la dieta y el comportamiento productivo de pollos de engorde, mediante el desarrollo de los siguientes capítulos:

En el capítulo uno se hace una descripción general de los diferentes aspectos del estado del arte que incentivaron la selección del estudio de la influencia del almidón resistente retrogradado en pollos de engorde sobre la integridad y digestibilidad intestinal, valoración energética de la dieta y comportamiento productivo de pollos de engorde. El segundo capítulo realiza una caracterización básica a nivel físico y de composición química de 10 materiales priorizados de papa, seleccionando una variedad por cada especie de acuerdo a ciertas condiciones para la generación de almidón resistente retrogradado. Los capítulos tercero y cuarto buscan establecer las mejores concentraciones de almidón resistente retrogradado para cada una de las variedades seleccionadas por cada especie (*Solanum tuberosum* grupo *andigena* y *Solanum tuberosum* grupo *phureja*), considerando la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable de la dieta e integridad del tracto gastrointestinal en pollos de engorde hasta el día 25 de edad. En el quinto capítulo se evalúa la respuesta productiva y los efectos económicos de la mejor concentración de almidón resistente retrogradado de papa común y papa criolla utilizadas como aditivo funcional en un sistema de alimentación por fases para pollos de engorde. En el sexto capítulo, se establece una discusión general que permite resumir a nivel global los efectos de la suplementación de almidones resistentes de la papa sobre el crecimiento y la salud intestinal de pollos de engorde, para finalmente concluir el documento con las conclusiones y recomendaciones generales (figura 1).

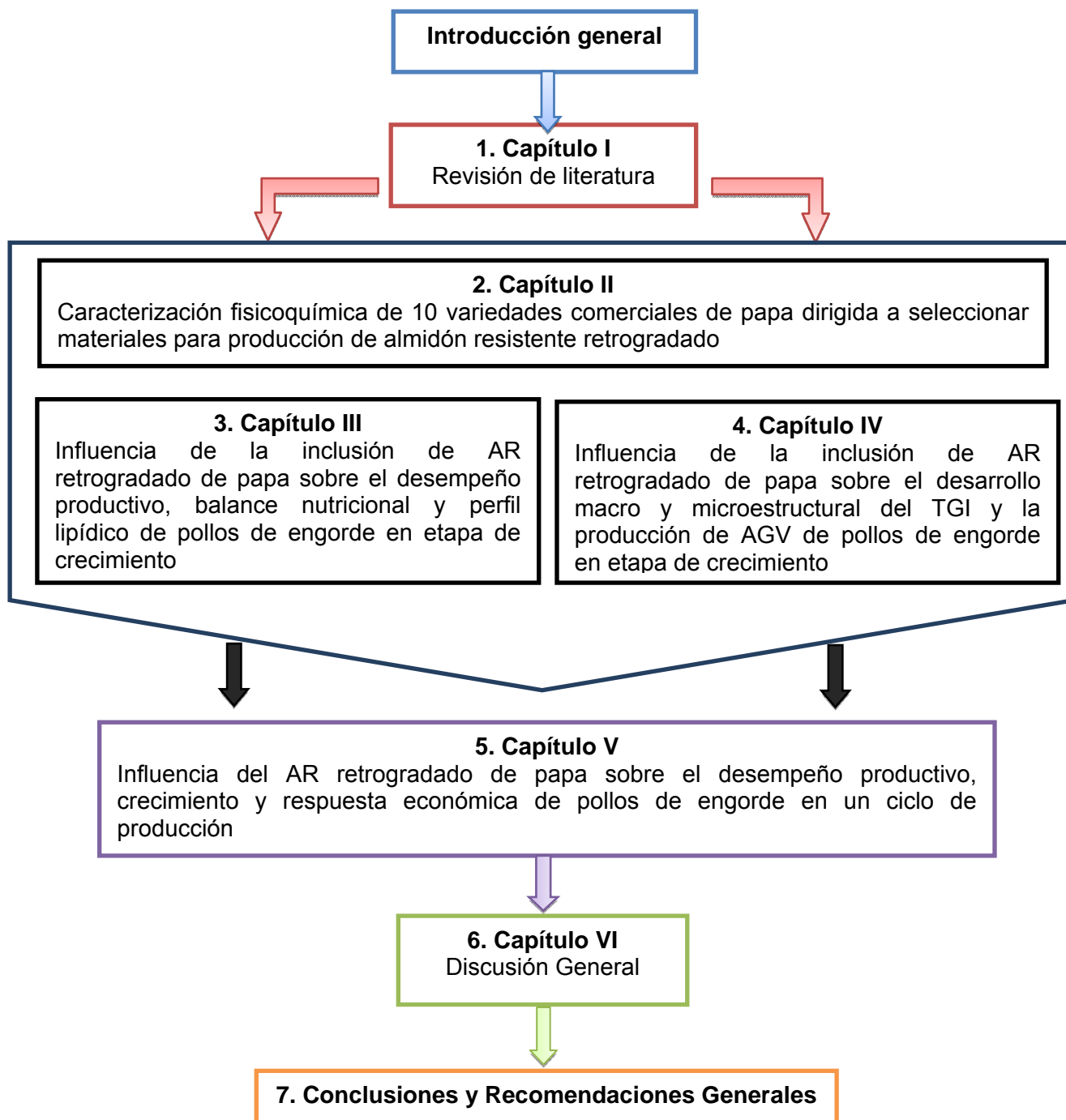


Figura 1: Representación esquemática de la estructura de la tesis.

Bibliografía

Andrade, G. 1990. Colombia, ¿Megadiversidad o megaextinción? En: Revista Ecológica. No. 5. Bogotá.

Asp, N. G. 1992. Resistant starch. Proceedings from the secondary plenary meeting of EURESTA: European Preface. *Eur J Clin Nutr*, 4: (suppl 2) S1.

Bello-Pérez, L. A. and Paredes-López, O. 2009. Starches of Some Food Crops, Changes During Processing and Their Nutraceutical Potential. *Food Eng Rev* (2009) 1:50–65

Bezkorovainy, A. 2001. Probiotics: determinants of survival and growth in the gut. *Am.J.Clin. Nutr.* 73(suppl.): 399S-405S.

Bielsalki, H. K. 2005. Meat as a component of a healthy diet- are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet? *Meat Science* 70: 509-524.

Bird, A. R. Lopez-Rubio, A. Shrestha, A. K. and Gidley, M. J. 2009. Resistant starch in vitro and in vivo: factors determining yield, structure, and physiological relevance. In Kasapis, S. Norton, I. and Ubbink, J. (Ed.), *Modern Biopolymer Science* (pp. 449-510) London, United Kingdom: Academic Press, Elsevier Inc.

Brouns, F. Kettlitz, B. Arrigoni, F. 2002. Resistant starch and the butyrate revolution. *Trends Food Sci Technol* 13:251–261

Conpes, 2007. Política nacional de sanidad e inocuidad para la cadena avícola. Departamento Nacional de Planeación. En: http://www.dnp.gov.co/archivos/documentos/Subdireccion_Conpes/3468.pdf.

CORPOICA. 2005. Informe técnico de bancos, C. I. Tibaitatá. 22 p.

Devries, J. W. 2004. Dietary fiber: The influence of definition on analysis and regulation. *Journal of AOAC International*, vol. 87, No. 3, 682–706.

Doménech, R. 2007. Las ventajas y desventajas de las negociaciones internacionales. Congreso latinoamericano de avicultura, Porto Alegre-Brasil. *Revista Industria Avícola*, 2008. p. 14.

Englyst, H. N. Kingman, S. M y Cummings, J. H. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur J Clin Nutr*, 46(S2): S33-S50.

Espinal, C. F. Covalada, H. M. Ruiz, P. N y Urrutia, B. A. C. 2005b. La cadena de la papa en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de trabajo No. 100. En: <http://www.agrocadenas.gov.co>

Espinal, G. F. Covalada, H. M y Gaitán, X. A. 2005a. La cadena de cereales, alimentos balanceados para animales, avicultura y porcicultura en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de trabajo No. 51. En: <http://www.agrocadenas.gov.co>.

FENAVI, FONAP. 2011. Consumo per cápita de carne de pollo (Colombia). (1 pantalla). Disponible en: URL: <http://www.fenavi.org/fenavi/consumo-per-capita2.php?idm=42>

Hillman, K. 2001. Bacteriological aspects of the use of antibiotics and their alternatives in the feed of non-ruminant animals. In: *Recent Advances in Animal Nutrition* (P.C.

Garnsworthy and J. Wiseman, eds.). Nottingham University Press, Nottingham, pp.107-134.

Houdijk, J. G. M. 1998. Effects of non-digestible oligosaccharides in young pig diets. PhD Thesis Wageningen University, pp 1-141.

Neish, A. S. 2002. The gut microflora and intestinal epithelial cells: a continuing dialogue. *Microbes Infect.* 4: 309-317.

Sharp, R. Macfarlane, G. T. 2000. Chemostat enrichments of human faeces with resistant starch are selective for adherent butyrate-producing clostridia at high dilution rates. *Appl Environ Microbiol* 66:4212–4221

Siljestrom, M. and Asp, N. 1985. Resistant starch formation during baking. Effect of baking time and temperature and variations in the recipe. *Z. Lebensm.-Unters.-Forsch.* 181:4-8.

Wang, X. Brown, I. L. Evans, A. J. and Conway, P. L. 1999. The protective effects of high amylose maize (amylomaize) starch granules on the survival of *Bifidobacterium* spp. in the mouse intestinal tract. *J Appl Microbiol*, 87(5): 631-639.

1.Revisión de Literatura

1.1 Generalidades de la papa

La papa (*Solanum tuberosum* L.) juega un papel importante en la seguridad alimentaria global, contribuyendo al aporte energético y de nutrientes de más de dos mil millones de personas en países en desarrollo (IFPRI, 2002), siendo el cuarto cultivo de importancia en la alimentación básica humana, después del arroz (20%), trigo (18%) y el maíz (5%) (FAO, 2009). Es una planta perenne que pertenece a la familia *Solanaceae* (Singh y Kaur, 2009), que puede alcanzar un metro de altura y produce por engrosamiento de los estolones subterráneos, una serie de tubérculos de forma y tamaños diferentes con un abundante contenido de almidón; dependiendo de la disponibilidad de humedad y nutrientes del suelo (FAO, 2008). Se conocen aproximadamente 5000 variedades de papa, las cuales pertenecen en una gran parte a la especie *Solanum tuberosum* grupo *tuberosum*, no obstante, otras 10 especies de *Solanum tuberosum* grupo *spp.*, son cultivadas, siendo reportadas 200 especies silvestres, las cuales actualmente corren el peligro de desaparecer, por el deterioro ambiental de las zonas donde crecen naturalmente (FAO, 2008).

A nivel mundial, para el año 2010 se estimó una producción mundial para papas y batatas de 324'181.889 millones de toneladas, donde Colombia participo con 0.65% (2'121.880 toneladas), cultivadas en 141.967 hectáreas (FAO, 2012). Para el año 2009, según FINAGRO (2012), la mayor producción de papa se obtuvo en los departamentos de Cundinamarca (37.74%), Boyacá (26.26%) y Nariño (17.30%), donde es la actividad pecuaria que más empleos e ingresos genera, siendo un eje fundamental de la economía de la región andina fría.

La Cadena de la papa en Colombia está compuesta por cuatro eslabones: el sector primario, el cual contiene la producción de papa destinada para consumo y para semilla, el sector dedicado al acopio y comercialización de papa en fresco (lavado, clasificación y empaque), la obtención de productos a partir de la papa (fécula, harinas y almidón) y la

papa sometida a procesos de transformación, como es el caso de la papa congelada y la papa conservada (Espinal y col., 2005b). En el Figura 1-1 se observan los usos de la papa fresca y sus posibles transformaciones en Colombia. De otra parte, en el mundo se registra un traslado del consumo de papa fresca y su utilización como complemento alimenticio para el ganado vacuno, hacia productos procesados como las papas fritas, prefritas y las papas congeladas y deshidratadas; por lo cual, el procesamiento de la papa es el sector de más rápido crecimiento dentro de la economía mundial de este tubérculo, tendencia que puede ser vista en países como Argentina, China, Colombia y Egipto (Moreno, 2003).

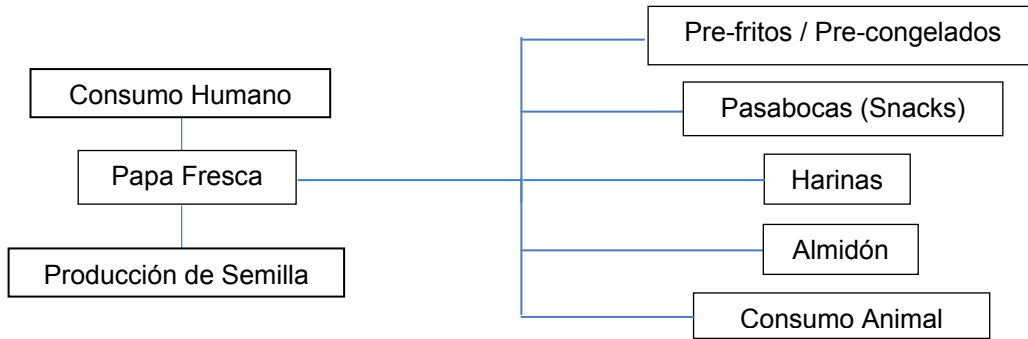


Figura 1-1: Rutas de utilización de la papa fresca en Colombia.

Modificado de Espinal y col., 2005b

En el país existen más de 30 variedades de papa cultivadas, pero tan solo 10 de ellas tienen una importancia comercial. La variedad Parda Pastusa es la más cultivada y la que presenta un mayor consumo en fresco. Le siguen en importancia del consumo en fresco, la Diacol Capiro (también conocida como R12 negra) utilizada también como materia prima por la industria y para la exportación; la ICA-Puracé, utilizada principalmente en algunas regiones del país (clima templado y cálido); la Tuquerreña o Sabanera, consumida principalmente en Bogotá, y la Criolla (*Solanum tuberosum grupo phureja*) o también denominada yema de huevo, cuyo cultivo ocupa en la actualidad alrededor de 12.000 Ha., ubicadas principalmente en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño (Espinal y col., 2005a).

En los últimos años, diferentes grupos pertenecientes a entidades del sector público y privado (ICA, CORPOICA, FEDEPAPA, Grupo de Investigación en papa de la

Universidad Nacional de Colombia) han desarrollado nuevas variedades mejoradas para ser liberadas al mercado, como es el caso de las variedades ICA Única, ICA Morita, Criolla Guaneña, Criolla Galeras, Criolla Latina, las cuales poseen un gran potencial de uso en diferentes nichos de mercado. En la Tablas 1-1 y 1-2 se hace una breve descripción de algunas características descritas para los 10 materiales utilizados en esta tesis.

Tabla 1-1: Características reportadas para las variedades comerciales de papa común *Solanum tuberosum* grupo *andigena* utilizadas en este estudio

Variedad	Características del cultivo
<p>Pastusa Suprema. (230409 (sto) X CCC 81 (phu) X Parda Pastusa (adg)</p>	<p>Cultivar mejorado. Adaptación entre 2500 a 3200 msnm. Periodo vegetativo de 165 días (2600 msnm). Tubérculo: forma redonda aplanada, color de la piel pardo y de color secundario rosado distribuido alrededor de los ojos, color de la carne crema, profundidad de los ojos media. Periodo de reposo 2 meses (15°C y 75HR), MS entre 20.21 a 23%, rendimiento promedio de 35 a 45 ton / ha</p>
<p>Parda Pastusa. Quincha (S. tuberosum spp adg) X Tocana colorada (S. tuberosum spp adg)</p>	<p>Cultivo mejorado. Adaptación entre los 2750 y 3200 msnm, periodo vegetativo mayor a 180 días. Tubérculo: forma redonda ligeramente aplanado, color de la piel rosado con presencia de un color secundario crema en áreas irregulares, color de la carne crema, profundidad de los ojos media. Periodo de reposo de 3 meses (15°C y 75HR), MS entre 20.21 a 23%, rendimiento entre 20 a 30 ton/ ha.</p>
<p>Ica Única. E-59-42 (Clon neotuberosum ssp adg) X Masal de polen (variedades nativas colombianas)</p>	<p>Cultivar mejorado. Adaptación entre 2000 a 3500 msnm, periodo vegetativo de 165 días. Tubérculo: forma redonda, color de la piel crema con presencia de un color secundario morado distribuido alrededor de los ojos, color de la pulpa amarillo claro, profundidad de los ojos media. Periodo de reposo de 1 mes (15°C y 75HR), MS entre 20.21 a 23%, rendimiento entre las 30 y 45 ton / ha.</p>
<p>Diacol Capiro “R12”.</p>	<p>Cultivar mejorado. Adaptación entre los 1800 a 3200 msnm, periodo vegetativo de 165 días (2600 msnm). Tubérculo: forma redonda ligeramente aplanado, color de la piel rojo con</p>

- 12 Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (*Solanum tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable, e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde

Tuquerreña (CCC 61) X 1967 (C) (9) (CCC 751)	presencia de un color secundario morado en forma de manchas salpicadas, color de la pulpa crema, profundidad de los ojos media. Periodo de reposo de 3 meses (15°C y 75HR), MS entre 20.21 a 23%, rendimiento superior a 40 ton / ha, en condiciones optimas
Tucarreña o Sabanera. CCC 61, Originaria de Tuquerres Nariño	Cultivar nativo. Adaptación superior a los 2800 msnm. Periodo vegetativo entre 180 a 210 días. Tubérculo: forma redonda, color de la piel púrpura con presencia de color secundario crema alrededor de los ojos, color de la pulpa crema, profundidad de los ojos media. Periodo de reposo de 3 a 3.5 meses (15°C y 75HR), MS superior a 23%, rendimiento de 20 ton / ha

Fuente: Grupo de investigación en papa. <http://papaunc.com/catalogo.shtml>

Tabla 1-2: Características reportadas para las variedades comerciales de papa criolla *Solanum tuberosum* grupo *phureja* utilizadas en este estudio

Variedad	Características del cultivo
Criolla Guaneña. <i>S. goniocalyx</i> (Cv. Amarilla Tumbay) X <i>S. phureja</i> (Cv. Criolla Colombia)	Cultivar mejorado. Adaptación entre los 2500 a 3000 msnm, periodo vegetativo de 135 días a 2600 msnm. Tubérculo: forma redonda, color de la piel amarillo y color de la pulpa amarillo y ojos superficiales. Periodo de reposo 20 días, materia seca mayor al 23%, rendimiento promedio de 32 ton / ha.
Criolla Colombia. <i>S. phureja</i> ("Clon 1")	Cultivar nativo. Adaptación entre los 2400 a 3200 msnm, periodo vegetativo de 120 días a 2600 msnm. Tubérculo: forma redonda, color de la piel y de la pulpa amarilla intenso, ojos semiprofundos. Ausencia de periodo de reposo, maduración, materia seca entre 20.21 y 23 %, gravedad especifica de 1.088, rendimiento promedio de 15 a 25 ton / ha
Criolla Latina. <i>S. phureja</i> (Cv. Criolla Colombia)	Cultivar mejorado. Adaptación entre los 2200 a 2800 msnm, periodo vegetativo de 127 días a 2600 msnm. Tubérculo: forma redonda, color de piel amarillo intenso y color de la pulpa amarillo, ojos semiprofundos. Periodo de reposo de 21

X <i>S. goniocalyx</i> (Cv. Amarilla Tumbay)	días, materia seca entre 20.21 y 23 %, gravedad específica de 1.078, rendimiento promedio de 18 a 20 ton / ha
Criolla Galeras. <i>S. phureja</i> (Cv. Criolla Colombia) X <i>S. goniocalyx</i> (Cv. Amarilla Tumbay)	Cultivar mejorado. Adaptación entre los 2500 a 3000 msnm, periodo vegetativo de 130 días. Tubérculo: forma redonda, color de piel y carne amarillo, ojos medios a profundos. Periodo de reposo de 20 días, MS entre 20.21 a 23%, rendimiento promedio de 25 ton / ha, con predominio de papa gruesa.
Mambera. <i>S. phureja</i>	Cultivar nativo. Adaptación entre los 2750 y 3200 msnm, periodo vegetativo de 120 días. Tubérculo: forma redonda, color de la piel rojo y color secundario crema distribuido de forma irregular, color de la pulpa amarillo claro y ojos profundos, producción de tubérculos gruesos. Ausencia de periodo de reposo, MS entre 20.21 y 23%, rendimiento entre 15 a 20 ton / ha

Fuente: Grupo de investigación en papa. <http://papaunc.com/catalogo.shtml>

1.2 Características nutricionales de la papa

Desde el punto de vista nutricional, la papa es un tubérculo compuesto principalmente de almidón (15%), siendo equivalente en este aspecto a la pasta (O'Brien y col., 2003 y Prynne y col., 2004). Este polisacárido está constituido por amilosa y amilopectina encontrándose ésta última en una mayor proporción. El contenido de proteína de la papa es aproximadamente del 2%, asentándose mayoritariamente en el cortex (zona inmediatamente debajo de la piel) y la médula (zona central), siendo esta proteína de alta disponibilidad. Dentro de las proteínas de la papa se destacan: albúminas (49%) y globulinas (26%), seguidas de prolaminas (4,3%) y glutelinas (8,3%). Gran parte de los aminoácidos que posee la papa son esenciales, destacando los contenidos de lisina, metionina, treonina y triptófano (96, 26, 75, 30 mg / 100g, respectivamente), pero estos valores son generalizados y no representan rangos ni valores máximos, teniendo en cuenta la gran diversidad de variedades disponibles para producción y consumo (FAO, 1970).

La papa contiene cantidades significativas de vitamina C, Vitamina B6, Vitamina B3 y minerales como el potasio, fósforo y el magnesio (Subar y col., 1998). También es un recurso interesante de fibra cruda (7% con cáscara y 11% sin cáscara), Siendo un 55% fibra soluble en agua (principalmente hemicelulosa y pectinas) y un 45% fibra insoluble en agua (celulosa) (Anderson y Bridges, 1988 y Remesy y col., 1992), además de presentar en base seca entre un 70% a 90% de azúcares, los cuales son indigestibles al encontrarse encapsulados en los gránulos de almidón, disminuyendo el acceso de las enzimas digestivas (Gallant y col., 1992); sin embargo, estos pueden ser fácilmente aprovechados, al gelatinizar los gránulos de almidón, cuando la papa es cocinada.

1.3 El almidón

El almidón es un polisacárido compuesto por un número de monosacáridos (glucosa) unidos por enlaces α -(1-4) y / o α -(1-6). Está conformado por dos componentes estructurales principales: la amilosa, polímero lineal, conformado por glucosas unidas por enlaces α -(1-4) y el cual constituye entre un 15% a 20% del almidón y la amilopectina, estructuralmente representada como una molécula ramificada (80 a 85%), cuyas unidades se encuentran acopladas por enlaces α -(1-4) y α -(1-6), siendo uno de los mayores componentes del almidón (BNF, 1990). En muchas de las plantas utilizadas para la alimentación humana y animal, los almidones son los principales constituyentes, donde por selección de plantas y variedades se han logrado obtener unos mayores contenidos de almidón, los cuales son fácilmente extraíbles y presentan una alta digestibilidad, como son los presentes en la papa, arroz, trigo, maíz y yuca, entre otros (Morell y col., 2004).

En la naturaleza, el almidón está disponible en abundancia y solamente es superado por la celulosa como componente orgánico natural. Los países desarrollados (Canadá, Estados Unidos, Europa y Japón) comparten entre ellos el 77% del mercado global de almidón (Sansavani y Verzoni, 1998), siendo el sector de alimentos para humanos, el que demanda un 55% de la producción global versus el 45% que es utilizado por la industria en diversos sectores (De Cock, 1996). En el sector de alimentos para humanos, el uso del almidón tiene una influencia directa sobre las características de los alimentos como: estética, humedad, consistencia y estabilidad en los estantes. El almidón también es

usado como ligante o para expandir o aumentar la densidad de un producto; para clarificar o dar opacidad al mismo; para atraer humedad o inhibir humedad; para mejorar la textura; para cubrir suavemente o rústicamente un alimento y para estabilizar las emulsiones (De Cock, 1996)

La biosíntesis del almidón en un cultivo particular es fundamental para comprender y eventualmente manipular el potencial de generar almidón resistente (AR). El almidón AR incluye la porción de almidón que resiste la digestión de la amilasa pancreática en el intestino delgado y que en consecuencia alcanza el colon. El comportamiento del AR es fisiológicamente similar al de una fibra soluble fermentable que incrementa el volumen fecal y disminuye el pH a nivel del colon (Slavin y col., 2009) y que en humanos mejora el control de la glicemia, la salud intestinal y los factores de riesgo para enfermedades cardíacas (Lunn y Buttris, 2007). En general a este tipo de componentes se les refiere como fibra dietaría.

La síntesis de almidones en plantas superiores toma lugar en muchos tejidos, pero los organelos encargados de realizar esta síntesis son los plástidos (Tetlow y col., 1994). En los tejidos verdes, la síntesis de almidón ocurre en el cloroplasto, mientras que en los tejidos de reserva tales como semillas o tubérculos, se realiza en los amiloplastos, donde la activación del sustrato, la elongación de la cadena, la ramificación de esta y su desprendimiento final son los cuatro pasos bioquímicos requeridos para esta síntesis (Mylers y col., 2000). La planta sintetiza el almidón en forma de gránulos, los cuales presentan una superficie lisa y están formados por cadenas de almidón y una matriz de proteína (Martínez-Puig, 2006). Los gránulos se compactan de tal manera que se aprovecha al máximo el espacio para el almacenamiento de energía, y en el caso de la papa estos son grandes y esféricos, frente a los de las leguminosas que presentan forma de riñón (Gallant y col., 1992) (Figura 1-2).

Dentro de los métodos para clasificar los almidones se encuentran el análisis por difracción de rayos X, por medio del cual se pueden designar tres tipos de almidones (A, B y C) de acuerdo a sus patrones de difracción. Esta característica depende en gran medida de la longitud de la cadena compuesta por amilopectina, la densidad del empaquetamiento de los gránulos de almidón y la presencia de agua. Dentro de estos, la longitud de las cadenas de amilopectina da origen a diferencias marcadas entre los tres

tipos de almidones, siendo para el tipo A más cortas (23 - 29 unidades de glucosa), frente al tipo B (30 - 44 unidades de glucosa), pero similares a las del tipo C (26 - 29 unidades de glucosa) (Wu y Sarko, 1978).

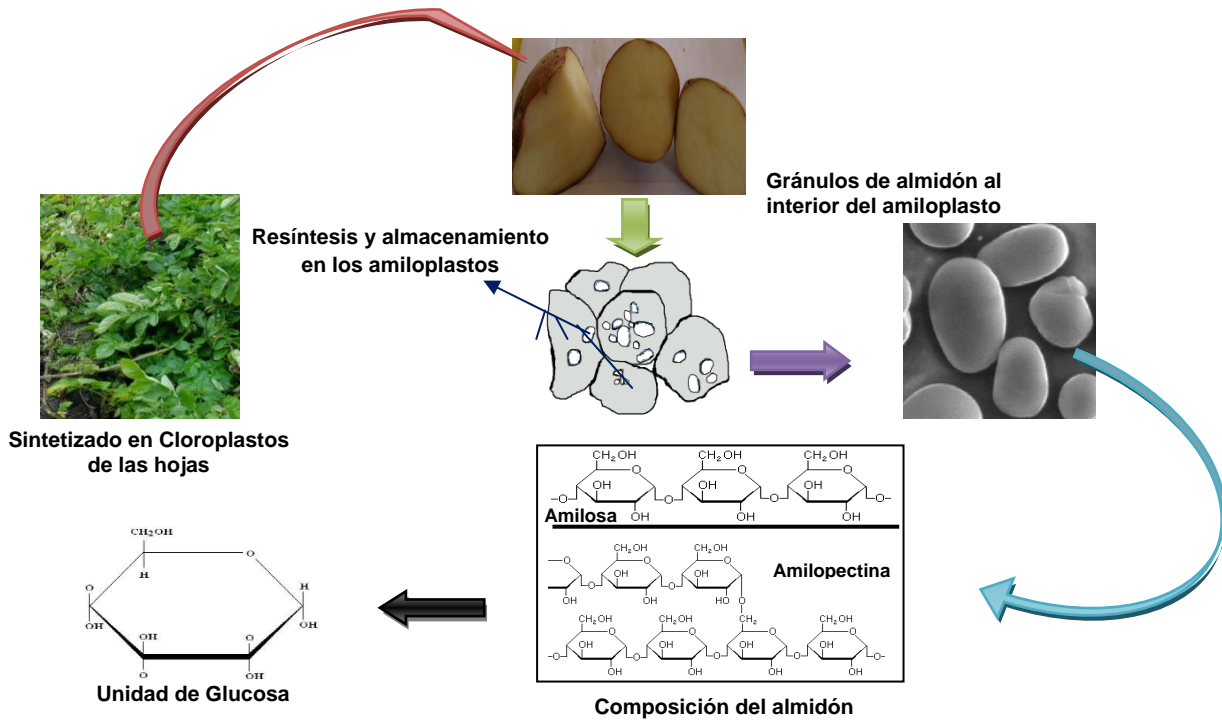


Figura 1-2: Sitios de síntesis, resíntesis, almacenamiento y composición del almidón de papa

En los cereales se presenta el tipo A, mientras que los tubérculos muestran un patrón tipo B y en las leguminosas se observa un patrón tipo C, el cual resulta de la combinación de los tipos A y B (Gernat y col., 1990). Los patrones espectrales para los tipos A y B, se generan a partir de dos formas de estructura cristalina, relacionada con la amilopectina, debido a que las ramificaciones α - (1 - 6) favorecen la formación de hélices, mientras que la amilosa ocupa la región amorfa del gránulo de almidón. Tanto las estructuras tipo A como B presentan un modelo de disposición similar, con dobles hélices paralelas que giran hacia la izquierda. Sin embargo, las estructuras tipo B contienen más agua asociada (Martínez-Puig, 2006).

Los almidones también se pueden clasificar de acuerdo a su comportamiento durante la exposición a diferentes tipos de enzimas (Berry, 1986). Así, podemos encontrar

almidones que son rápidamente digeribles, compuestos en su mayoría de formas amorfas y almidones dispersos que se encuentran en productos sometidos a cocción, como el caso de la papa, donde después de 20 minutos de sometida a una digestión enzimática, es convertida a unidades de glucosa. Por tanto, cuando los gránulos de almidón son tratados por calor, ocurre una desorganización irreversible de su estructura cristalina, aumentando la digestibilidad y el valor nutritivo cuando es atacado por las α -amilasas (Pérez y Oliva-Teles, 2002). Con referencia a la susceptibilidad de ser degradados en procesos digestivos, los almidones tipo B o C son más resistentes frente a los del tipo A (Topping y Clifton, 2001). Los almidones lentamente digeribles, están compuestos por almidones amorfos que son físicamente inaccesibles y almidones crudos tipo A y estructuras cristalinas del tipo C, similar a los cereales y fuentes ricas de almidones tipo B, como los gránulos o el almidón retrogradado, luego de ser sometidos a los procesos de cocción. Los almidones resistentes por su parte describen fracciones que son resistentes a la hidrólisis con α -amilasa, correspondiendo este al almidón no hidrolizado después de 120 minutos de incubación (Englyst y col., 1992).

Cuando se realizan procesos térmicos sobre el almidón se pueden generar alteraciones en la conformación estructural del gránulo. Uno de éstos procesos es la gelatinización del almidón, que se inicia con una ruptura de la estructura formada por los gránulos por calentamiento (entre 60 a 70°C) (Colonna y Mercier, 1985), para luego sobre los 90°C, perder su estructura granular, generando fragmentos de amilopectina en una solución de amilasa (Jing-ming y Sen-lin, 1990). Los gránulos de menor tamaño casi siempre necesitan más temperatura para ser gelatinizados (Chiotelli y Le Mestle, 2002) y a su vez granos ricos en amilosa pierden su estructura más lentamente al formar complejos con lípidos, frente a gránulos ricos en amilopectina, afectando de esta forma la hidratación del grano durante el proceso (Vasanthan y Bhatta, 1996).

Luego de la gelatinización, ocurre una gelificación en presencia de humedad como consecuencia del enfriamiento que ocurre después del proceso térmico, presentándose una asociación entre las moléculas de amilosa y amilopectina para generar un gel (Miles y col., 1985), cuyas características son dependientes de: la relación amilosa / amilopectina, la humedad y el tiempo y temperatura a la cual son almacenados los productos finales del proceso. Después de un tiempo ocurre un proceso de recristalización del almidón, originando un patrón de difracción tipo B (Colonna y col.,

1982), denominado tipo de patrón de retrogradación, proceso que puede ser inhibido en el caso del almidón de papa, al contener cantidades importantes de azúcares libres (Kohyama y Nishinari, 1991).

1.4 Digestión del almidón

Para que el almidón sea digerido, este debe ser atacado por diferentes enzimas que rompen los enlaces glucosídicos. De esta forma, la α - amilasa salival inicia el ataque sobre los enlaces α - (1 - 4) del almidón en la primera parte del tracto gastrointestinal (TGI), iniciando la liberación de maltosa, maltotriosa y dextrinas (Tester y col., 2004). Al llegar al estómago, el pH afecta la funcionalidad de la enzima salival, luego la α -amilasa pancreática, que actúa sobre los enlaces terminales, genera residuos de maltosa. Por último, los productos de esta degradación van a ser absorbidos por la superficie luminal de la mucosa intestinal donde se encuentran enzimas como maltasas, isomaltasas y α -dextrinasas, generando glucosa, la cual es absorbida directamente por medio de transportadores activos de la mucosa intestinal (GLUTs) (Zierler, 1999).

Históricamente se ha creído que el almidón de papa a nivel del intestino delgado es totalmente hidrolizado a glucosa. Estudios realizados durante la última década han encontrado que una proporción significativa de almidón (10%) no es digerible a nivel del intestino delgado y pasa intacta al intestino grueso, actuando como sustrato para la fermentación bacteriana (Martínez-Puig, 2006). Estudios en humanos intubados corroboran esta afirmación, al encontrar glucosa libre en el ileon, indicando que la hidrólisis del almidón y la absorción de la glucosa resultante, no siempre es completa (Stephen y col., 1983).

A su vez, la madurez del sistema digestivo va a delimitar la capacidad de absorción por parte del animal. En el caso de cerdos, la capacidad para digerir almidones aumenta con la edad y se asocia con una mayor capacidad del TGI y de las enzimas para realizar la hidrólisis de los almidones (Martínez-Puig, 2006). Sumado a lo anterior la composición de la dieta puede afectar la utilización de los almidones por parte del animal, como ocurre con los polisacáridos no amiláceos (PNA), los cuales aumentan la viscosidad de la

digesta, afectando la actividad enzimática sobre el contenido intestinal o la adición de arabinosilanos en pollos de engorde (Fengler y Marquardt, 1988).

1.5 Almidón resistente

Hace varios años, diferentes investigadores (Wolf y col., 1977 y Stephen y col., 1983) cuestionaron la degradación y absorción total del almidón en el intestino delgado. Posteriormente, Englyst y Cummings (1985, 1986 y 1987), demostraron que parte del almidón ingerido de diferentes fuentes podía ser recuperado después de pasar por el intestino delgado. Por lo tanto, como ha sido descrito previamente, el almidón resistente (AR) es aquella fracción del almidón total ingerido y los productos de su degradación que escapan de la acción de las enzimas digestivas en el intestino delgado de individuos sanos (Asp y col., 1992 y Devries, 2004), siendo considerado como un recurso fibroso con efectos fisiológicos y benéficos para la salud humana y animal. No obstante, los diferentes tipos de almidón pueden ser caracterizados de acuerdo a su resistencia a la digestión, como se ha descrito, previamente.

Muchos estudios demuestran que los AR son moléculas lineales de alfa - 1,4 - D - glucano, esencialmente derivados a partir de la fracción de amilosa retrogradada y que tienen un peso molecular relativamente bajo (1.2×10^5 Da) (Sharma y col., 2008 y Haralumpu, 2000). Un número importante de factores hacen que el almidón sea resistente a la digestión, incluyendo el tamaño de los fragmentos de almidón contenidos, la estructura y conformación de los gránulos de almidón intactos y la formación de cristales retrógrados como resultado del procesamiento y la modificación química. La obtención de diferentes formas de AR, ha llevado a subdividirlos en cuatro subtipos denominados por las siglas en inglés RS1 al RS4 (Brown y col., 1995) (Tabla 1-3), resaltando que se debe distinguir entre los almidones químicamente resistentes (hidrólisis *in vitro*), del almidón que innatamente es resistente (almidón que pasa a través del intestino delgado sin degradarse y alcanza el intestino grueso).

Los AR1 son importantes por su contribución al estatus de salud originado en el almidón físicamente inaccesible de los granos de cereales enteros y semillas parcialmente trituradas (Englyst y col., 1992), el AR2 (Figura 1-3) hace referencia a los gránulos de almidón nativos que resisten la digestión dado la conformación estructural del gránulo, pero su resistencia natural a la degradación puede ser alterada por procesos, como la

cocción del material (Crawford, 1987), y en donde al aumentar la cantidad de amilosa en el gránulo de almidón, ocurre un aumento en el contenido de fibra dietaria y de almidones resistentes (Brown y col., 1995), siendo el AR2 una fuente importante de fibra dietaria con una amplia aplicación en variedad de alimentos y productos farmacéuticos (Brown, 2004).

Tabla 1-3: Clasificación nutricional de los almidones resistentes.

Tipos de almidón resistente	Ocurrencia
AR1- Físicamente inaccesible	Granos y semillas enteros o parcialmente triturados
AR2- Gránulos resistentes	Papa cruda, banana verde, algunas leguminosas y almidones con alto contenido de amilosa
AR3- Retrogradado	Papa cocinada y enfriada, pan, hojuelas de maíz
AR4- Químicamente modificado	Almidones esterificados, formación enlaces cruzados (usados en alimentos procesados)

Bird y col., 2000a

Los gránulos resistentes de la papa cruda, la banana verde, algunas legumbres y almidones ricos en amilosa son algunos ejemplos del AR2 (Englyst y col., 1992). Los AR3 están constituidos por el almidón no granular y materiales derivados que resisten la degradación, estos se forman después que los gránulos de almidón han perdido su estructura al ser cocidos, por encima de la temperatura de gelatinización, y luego del proceso de enfriado, estos gránulos se reagrupan en estructuras cristalinas, las cuales son capaces de resistir la hidrólisis con amilasas, siendo ejemplos clásicos la papa cocinada y las hojuelas de cereales para desayunos, las cuales presentan cantidades importantes de AR3, dado los procesos térmicos a los cuales son sometidos (Siljestrom y Asp, 1985) (Figura 1.2). Por último, los AR4 son todos los almidones resistentes que han sido químicamente modificados (formación de enlaces cruzados por medio de agentes químicos como éteres, ésteres, etc.), cuyo fin es alterar la acción de las enzimas digestivas, disminuyendo su digestibilidad (Brown, 2004).

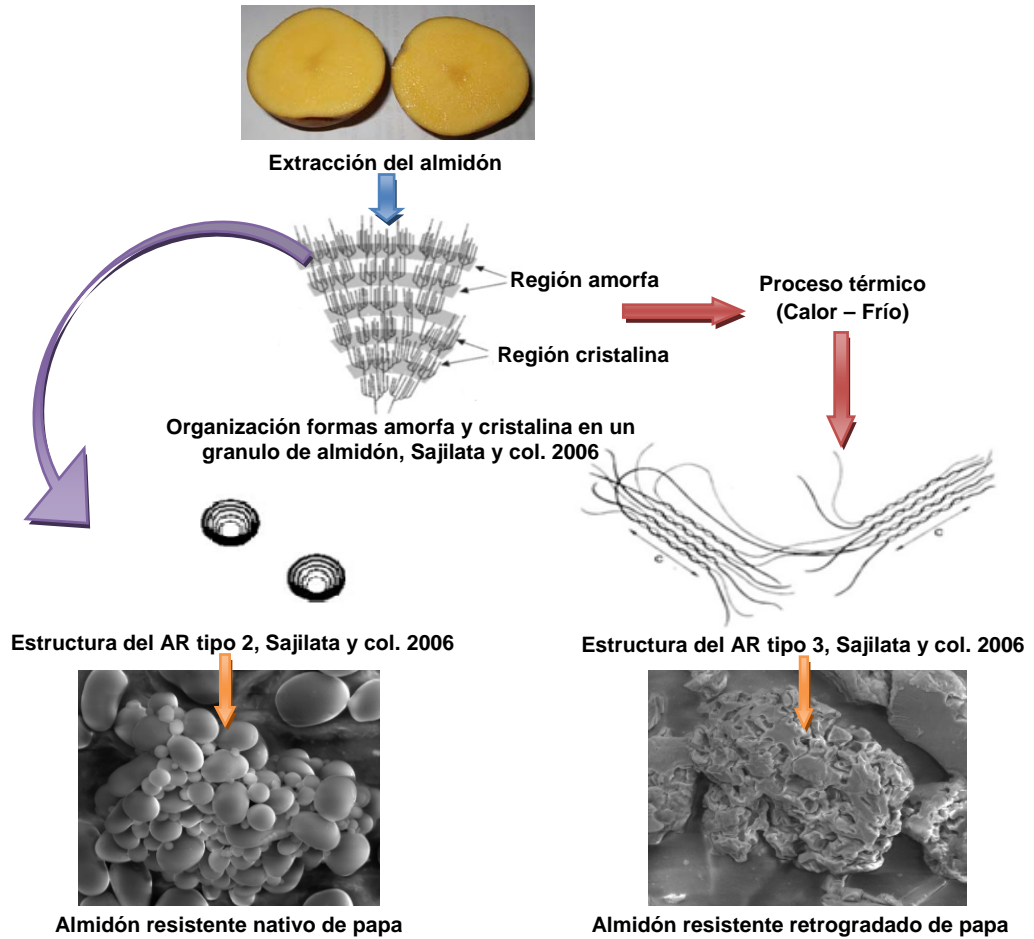


Figura 1-3: Pasos en la obtención del almidón nativo y retrogradado de papa

1.6 Consecuencias fisiológicas del almidón resistente

Existe un considerable interés por valorar las implicaciones nutricionales de los AR en nutrición animal y humana, considerando los efectos fisiológicos que son similares a los atribuidos a la fibra dietaria (Tan y col., 2010), y que en humanos hacen referencia al incremento en la laxación, una reducción en cánceres del tracto digestivo (Liu y Xu, 2008), una menor respuesta postprandial a la glucosa (Higgins y col., 2004 y Shimada y col., 2008) y una disminución en los niveles de lípidos a nivel plasmático (Martinez-Flores y col., 2004 y Hashimoto y col., 2006). Los AR también son promisorios en su impacto para la prevención de la formación de cálculos biliares (Patindol y col., 2010).

La fibra dietaria no es una entidad si no es un término colectivo que se da a una mezcla compleja de sustancias que difieren química y físicamente en sus propiedades y que tienen diferentes tipos de efectos fisiológicos. En general, la solubilidad de la fibra

dietaria determina estas propiedades, de tal forma que es importante diferenciar estos componentes en la dieta. La fibra insoluble es pasiva en la propiedad de atraer agua que ayuda a incrementar el volumen, la consistencia de las heces y la disminución del tiempo de tránsito de la digesta a través del tracto intestinal. La mayoría de este tipo de fibras son resistentes a la fermentación en el intestino grueso. La fibra soluble indica una capacidad importante de retener agua, formando una solución viscosa en la medida que pasa a través del tracto gastrointestinal y es fermentada ampliamente en el intestino grueso (Stephen y Cummings, 1980). Sin embargo, estas definiciones no son precisas, ya que hay muchos componentes como los AR, los cuales tienen una naturaleza indigestible y que son considerados importantes en su aporte a la cantidad total de fibra dietaria en la dieta. Al incluir este tipo de almidones dentro de la definición de fibra dietaria, el AR no se ajusta a la categorización soluble / insoluble, ya que sus características fisiológicas son más complejas de las descritas a nivel tradicional.

Las bacterias a nivel del intestino grueso en los animales monogástricos son capaces de generar ácidos grasos volátiles (AGV) a partir de AR, dependiendo del grado de gelatinización y retrogradación de la fuente alimenticia. La definición de un prebiótico se ajusta más a enmarcar el papel del AR en el sentido que no es absorbido en el intestino delgado y provee a la microbiota colónica con un sustrato fermentable. En este contexto, se sugiere que los AR promocionan una alta proporción de la producción de ácido butírico, el cual constituye la mayor fuente de energía para los colonocitos (Leeman y col., 2006 y Scourboutakos, 2010), aparte de que promociona el crecimiento de una microbiota benéfica, influyendo en la expresión genética de esta microbiota (Lee y col., 2009). En este sentido, el AR de la papa puede ser considerado a como un prebiótico con una capacidad para el crecimiento de bacterias que son beneficiosas para la integridad del colon (Gibson y Roberfroid, 1995), promoviendo las poblaciones de bifidobacterias y lactobacillus (Brown y col., 1995 y 2000). Si los efectos generados por el AR se encuentran mediados por la producción de AGV se incrementaría en el intestino grueso, la absorción de fluidos (Topping y col., 2003). Además estos AGV al dar una mayor integridad a las células del lumen del colon prevendría la aparición del cáncer en esta zona del TGI. Por otro lado, los AR están relacionados con un incremento en la oxidación de las grasas, resultado generado probablemente por un cambio en la

utilización de nutrientes para generar energía, ya que al presentarse un menor flujo de carbohidratos fácilmente degradables en el alimento, la grasa se oxida primero antes de ser almacenada, como reserva energética corporal (Higgins y col., 2004)

Martínez-Puig (2006), evaluó las principales consecuencias digestivas y metabólicas del consumo de AR utilizando cerdos como modelo de estudio suministrando dos dietas, una con maíz y otra con papa cruda como fuentes de almidón digestible y almidón resistente, respectivamente. La digestibilidad ileal del almidón fue inferior ($P < 0.05$) en la dieta que incluyó papa cruda con respecto al maíz (75% vs 95%). Un mayor flujo de almidón al tracto digestivo posterior se observó en la dieta con papa cruda, provocando hipertrofia del intestino grueso, asociada a un mayor peso y longitud del colon ($P < 0.05$). La fermentación de almidón en el colon proximal estuvo asociada a un incremento en la actividad microbiana, conduciendo a una mayor concentración de bases purínicas y un aumento en la concentración de AGV. La administración de AR durante un periodo de tiempo prolongado (14 semanas) condujo a una adaptación de la flora microbiana, caracterizada numéricamente por la aparición de bacterias amilolíticas productoras de butirato, originando una mayor biodiversidad. El incremento en la producción de butirato provocó una reducción del número de apoptosis por cripta (0.68 vs 0.38; $P < 0.05$) en la mucosa del colon proximal, lo cual tiene un efecto positivo sobre la reducción en la emisión de olores en las heces y la canal de los cerdos, como respuesta a una disminución en los niveles de escatol (Claus y col., 2003 y Zamaratskaia y col., 2006).

La inclusión de carbohidratos fermentables en las dietas tiene un efecto positivo sobre la absorción de calcio y magnesio, los cuales son absorbidos a nivel del intestino grueso. La reducción del pH cecal como resultado de la producción de AGV, puede incrementar la solubilidad del mineral y mejorar su absorción (Delzenne y col., 1995 y Ohta y col., 1995). El aumento en la superficie de absorción como resultado de la inclusión de AR ha sido observado en ratas y cerdos, afectando positivamente la disponibilidad de minerales (Younes y col., 1996, 2001; López y col., 1998 y Bird y col., 2000b).

1.7 Determinación del almidón resistente

Cualquier método para medir el contenido de AR en recursos alimenticios debe primero remover todo el almidón digestible del producto usando amilasas termoestables

(McCleary y Rossiter, 2004). El método recomendado por la AOAC para estimar el contenido de AR es altamente reproducible, pero ha sido demostrado que no analiza todo el contenido de AR (Champ y col., 2003). Este método se basa en el principio de digestión enzimática y mide la porción de almidón resistente a la digestión a 37 °C que es típicamente no cuantificable debido a la gelatinización a 100 °C seguido por una digestión a 60 °C. Este método para la determinación *in vitro* del contenido de AR se realiza luego de la acción de la enzima, una hidrólisis con una amiloglucosidasa (Holm y col., 1986) o donde la fracción residual proveniente de la fuente inicial de almidones, luego de ser sometida a diferentes tipos de amilasas, es cuantificada luego de su solubilización en 2M KOH (Berry, 1986; Champ, 1992 y Englyst y col., 1992).

La extracción de los almidones digestibles del alimento se realiza por medio de una α -amilasa pancreática y / o amiloglucosidasa, donde en algunas ocasiones se puede realizar antes una proteólisis con pepsina y tripsina para simular la acción del estómago e intestino. La cantidad de AR es medida sobre el residuo (Champ, 1992) o como la diferencia entre el almidón total y el almidón digestible que se determina de forma separada (Englyst y col., 1992). Un método modificado para la medición de AR en residuos de fibra dietaria es propuesto por Saura-Calixto y col. (1993), donde la muestra de residuos de fibra se mezcla con KOH, buffer acetato y HCL, después de la incubación con amiloglucosidasa, entonces la muestra es centrifugada y diluida en agua destilada, donde el AR es calculado como la glucosa resultante en mg * 0.9. Aun cuando el método propuesto por Englyst y col. (1992) encuentra diferentes porciones del almidón total (rápidamente digestible, lentamente digestible y AR), obteniendo a su vez tres fracciones de AR, (AR1 almidón físicamente inaccesible; AR2 gránulos resistentes y AR3 almidón retrógrado), se puede generar cierto grado de subestimación en las pruebas *in vitro*, ya que la reproducción de las condiciones *in vivo* son algo complejas de llevar a cabo en su totalidad, aun cuando en humanos, se han encontrado buenas relaciones entre ambos tipos de determinación (Englyst y col., 1996).

Las técnicas *in vivo* para estimar la cantidad de AR se puede realizar tanto en humanos como animales. En experimentación animal se utilizan métodos invasivos como la canulación ileal o las anastomosis ileo-rectales, que se llevan a cabo principalmente en

cerdos, o el sacrificio de los animales para determinar el almidón que permanece en ileon terminal, que se lleva a cabo tanto en cerdos como en ratas. Tanto las cánulas como el sacrificio requieren la utilización de un marcador. En animales canulados, el marcador se utiliza para verificar la excreción de residuos del alimento experimental, mientras que en muestras obtenidas de animales sacrificados, el marcador permite realizar un cálculo aproximado de la digestibilidad (Englyst y col., 1996). Otra forma de medir la digestión del almidón es a través del índice glicémico (Jenkins y col., 1981), donde se mide la concentración de glucosa durante las dos primeras horas y esta respuesta se divide por la respuesta en glucosa sanguínea, después de consumir una cantidad similar de glucosa.

1.8 Uso del almidón en la alimentación de pollos de engorde

La mayoría de los ingredientes utilizados en la formulación de dietas para pollos de engorde contienen una gran proporción de almidones (70%) (Van der Aar, 2003), los cuales aportan cerca del 50% de la energía metabolizable aparente (EMA) (Weurding y col., 2001); en consecuencia, el contenido de EMA, es afectado por la digestibilidad del almidón (Wiseman y col., 2000). De otra parte, las dinámicas de digestión del almidón ofrecen la oportunidad de mejorar el desempeño productivo valorado a través del crecimiento del ave y el estatus sanitario (Van der Aar, 2003).

El pollo de engorde tiene una gran habilidad para digerir almidón y absorber glucosa, como un mecanismo de adaptación a dietas con grandes cantidades de cereales. Para alcanzar esta alta utilización del almidón, el pollo de engorde tiene un páncreas grande que le permite secretar jugo pancreático con altas concentraciones enzimáticas (Hulan y Bird, 1972). En este contexto, el almidón es efectiva y rápidamente digerido en el duodeno y yeyuno. Sin embargo, las evidencias en humanos muestran que parte de la fracción de almidón no es digerido en el intestino delgado (Englyst y Cummings, 1985). En pollos de engorde, los estudios de digestibilidad del almidón con dietas a base de trigo muestran un valor del 82% (Rogel y col., 1987 y Choct y col., 1995) sugiriendo que el AR puede ser un factor significativo desde el punto de vista funcional en este tipo de aves. Estas bajas disponibilidades del almidón han sido confirmadas en estudios realizados a nivel fecal (Svihus y Hetland, 2001), como a nivel ileal (Hetland y col., 2002).

Según la clasificación realizada por Englyst y col. (1992) basada en la digestibilidad del almidón *in vitro*, este se divide en tres fracciones (siglas en inglés): almidón rápidamente digerible (RDS), lentamente digerible (SDS) y almidón resistente (RS), el cual puede ser subdividido en almidón físicamente inaccesible en el grano entero (AR1), gránulos de almidón resistente (AR2) y amilosa retrogradada (AR3). Weurding y col. (2001) compararon los coeficientes de digestibilidad del almidón presente en diferentes recursos alimenticios, encontrando en el caso del almidón proveniente de granos de leguminosa y papa, una menor digestibilidad frente al almidón presente en los cereales y la yuca. Cuando se comparan métodos *in vivo* e *in vitro* para relacionar los procesos digestivos que son llevados a cabo en los ingredientes que componen la dieta, estos difieren en las tasas de digestión del almidón, encontrando una alta correlación entre la porción del intestino delgado donde se realiza la digestión y el tipo de almidón, mostrando diferencias entre ingredientes con relación al lugar, la velocidad y el grado de digestión del almidón. Un ejemplo puede verse entre la fécula de maíz y el frijón, donde el almidón en el primer caso es digerido en la porción anterior del intestino delgado (ID), mientras que los almidones provenientes de leguminosas, presentan una fracción importante de almidón que es degradado en la porción intermedia del ID (Van der Aar, 2003).

La resistencia del almidón a la degradación enzimática, es determinada en primer lugar por la estructura molecular, propia de cada recurso, a su vez por tratamientos térmicos (contemplan T° y contenido de humedad) o químicos, pueden alterar esta conformación estructural. Otra característica está dada por la relación amilosa/amilopectina, siendo esta última, el principal componente de los gránulos de almidón (Oates, 1997). Procesos térmicos como la gelatinización, incrementan la degradación enzimática del almidón, al aumentar la superficie expuesta a la acción de las enzimas. Este acceso también está influenciado por la pared celular y los complejos proteicos que rodean los gránulos de almidón, lo cual puede ser alterado positivamente, por el grado de molienda, al cual se somete el ingrediente (Eastwood, 1992; McAllister y col., 1993 y Classen, 1996).

Es conocido que las tasas de degradación del almidón proveniente de los diferentes recursos alimenticios que componen la formulación, pueden afectar la disposición de energía dentro de la dieta de los pollos de engorde (Van der Aar, 2003). Los almidones

lentamente degradables tienen un efecto positivo sobre la eficiencia alimenticia, cuando los niveles de aminoácidos suplementados son bajos, ya que la lenta degradación del almidón asegura un suministro parcial de glucosa en el tiempo, conduciendo a una liberación más lenta y prolongada de insulina, la cual está relacionada con el transporte y absorción de los aminoácidos para la formación de proteína celular (Truswell, 1992 y Fox, 1996). A su vez, la lenta degradación del almidón que se realiza en la parte posterior del intestino delgado, provee de glucosa a las células del epitelio intestinal, evitando así la utilización de aminoácidos (vía gluconeogénesis) para suplir la demanda de energía epitelial, lo cual puede ocurrir en dietas con un alto contenido de almidones rápidamente degradables (Van der Aar, 2003).

Los sistemas actuales de evaluación de los recursos alimenticios para aves se basan en la digestión de sus componentes. El almidón de la dieta es la mayor fuente de energía para pollos de engorde y el conocimiento acerca de su comportamiento digestivo es fundamental en los procesos de producción. La selección de la fuente de almidón debe considerar su accesibilidad, estructura y composición. Los coeficientes de digestibilidad y los tiempos de retención en diferentes segmentos del intestino delgado muestran que para el almidón de papa este fue del 33%, mientras que para la yuca, el valor fue de 99%. Los tiempos de retención para la papa fueron de 182 minutos. Se ha demostrado una alta correlación entre la digestión del almidón *in vitro* y la digestión ileal en pollos de engorde ($r = 0.96$); así como también entre las tasas de digestión por hora *in vitro* e *in vivo* ($r = 0.87$); de tal forma que la tasa de digestión del almidón se puede predecir en pollos de engorde mediante estudios *in vitro*. Los coeficientes de digestión de los diferentes nutrientes genera información acerca de las cantidades de nutrientes disponibles para el animal, pero no sobre las tasas o sitios de absorción. Una digestión gradual de los almidones puede tener un efecto de ahorro en los aminoácidos y por consiguiente mejorar la eficiencia de crecimiento en pollos de engorde, lo anterior ha sido demostrado en el caso del aminoácido lisina, ya que el suministro de almidones tipo SDS mejoran la utilización de proteína y energía en pollos de engorde.

La tasa de digestión del almidón, por tanto puede afectar el factor de conversión alimenticia, donde concentraciones altas de almidones lentamente degradables pueden afectar de manera negativa este parámetro. Sin embargo, dentro de un rango establecido y un nivel de inclusión óptimo, estos almidones lentamente digeribles, pueden no afectar

de manera significativa o tener un efecto positivo sobre la tasa de digestión del almidón, lo cual es dependiente del tratamiento térmico. Van der Aar y col. (2003) cuando alimentaron pollos de engorde con dietas que contenían cantidades similares de almidón total, pero diferentes proporciones de almidones lentamente digeribles (SDS), observaron que los animales que consumieron en proporción una mayor cantidad de SDS, se desarrollaron más rápido, mostrando una mejor conversión alimenticia, frente a los animales que consumieron una mayor proporción de almidones rápidamente digeribles.

La fermentación microbiana que se lleva a cabo en el intestino grueso, no afecta de manera significativa los valores aditivos resultantes para cuantificar la digestión total del almidón que se realiza en las diferentes porciones del intestino delgado (Van der Aar y col., 2003). Sin embargo, la dinámica poblacional de la microflora intestinal puede ser afectada por el tipo de almidón suministrado en la dieta, lo cual posibilita nuevas alternativas frente al uso de antibióticos promotores de crecimiento. En el estudio realizado por Weurding (2002), pollos de engorde inoculados con una cepa no patógena de *Clostridium perfringens*, que consumieron una mayor proporción de almidones lentamente digeribles (SDS), mostraron una menor cantidad de unidades formadoras de colonia frente al grupo que consumió una mayor proporción de almidones rápidamente degradables (RDS). En los primeros acercamientos hechos, el desempeño en general de las aves a diferentes tipologías de almidón se ha realizado en aves jóvenes, de tal forma que hay que valorar el potencial de los almidones lentamente digeribles y los almidones resistentes para los diferentes recursos alimenticios utilizados en la formulación de alimentos para aves.

Bibliografía

Anderson, J. W and Bridges, S. R. 1988. Dietary fiber content of selected foods. *Am J Clin Nutr* 47:440-447.

Asp, N. G. Tovar, J and Bairoliya, S. 1992. Determination of resistant starch in vitro with three different methods, and in vivo with a rat model. *Eur J Clin Nutr*, 46 Suppl 2:S117-119.

Berry, C. 1986. Resistant starch: formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fibre. *J. Cereal Sci.* 4: 301-314.

- Bird, A. R. Brown, I. L. and Topping, D. L. 2000a. Starches, Resistant Starches, the Gut Microflora and Human Health. *Curr. Issues Intest. Microbiol.* 1(1): 25-37.
- Bird, A. R. Hayawaka, T. Marsono, Y. Gooden, J. M. Record, I. A. Correll, R. L and Topping, D. L. 2000b. Coarse brown rice increases fecal and large bowel short-chain fatty acids and starch but lowers calcium in the large bowel of pigs. *J Nutr* 130: 1780-1787.
- [BNF] British Nutrition Foundation. 1990. Complex carbohydrates in foods: the report of The British Nutrition Foundation's Task Force. London: Chapman & Hall.
- Brown, I. Conway, P. and Topping, D. 2000. The health potential of resistant starches in foods. An Australian perspective. *Scandinavian Journal of Nutrition*, 44(2): 53-58.
- Brown, I. L. 2004. Applications and Uses of Resistant Starch. *Journal of AOAC International* .vol. 87, No. 3, 727-732.
- Brown, I. L. McNaught, K. J. and Moloney, E. 1995. *Hi-maize*TM: New directions in starch technology and nutrition. *Food Aust.* 47, 272-275.
- Champ, M. M. 1992. Determination of resistant starch in foods and food products: interlaboratory study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46 Suppl 1: s51-s61.
- Champ, M. Langkilde, A. M. Brouns, F. Kettlitz, B. and Le BailCollet, Y. 2003. Advances in dietary fibre characterisation. 2. Consumption, chemistry, physiology and measurement of resistant starch; implications for health and food labelling. *Nutr. Res. Rev.* 16, 143-161.
- Chiotelli, E. and Le Meste, M. 2002. Effect of small and large wheat starch granules on thermomechanical behaviour of starch. *Cereal Chem*, 79: 286-293.
- Choct, M. Hughes, R J. Trimble, R. P. Angkanaporn, K. y Annison, G. 1995. *Journal of Nutrition* 125: 485- 492
- Classen, H. L. 1996. Cereal grain starch and exogenous enzymes in poultry diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 62: 21-27.
- Claus, R. Losel, D. Lacorn, M. Mentschel, J. and Schenkel, H. 2003. Effects of butyrate on apoptosis in the pig colon and its consequences for skatole formation and tissue accumulation. *J Anim Sci*, 81(1): 239-248.
- Colonna, P. and Mercier, C. 1985. Gelatinization and melting of maize and pea starches with normal and high-amylose genotypes. *Phytochemistry*, 24: 1667-1674.
- Colonna, P. Leloup, V. and Buleon, A. 1982. Limiting factors of starch hydrolysis. *Eur J Clin Nutr*, 46 (Suppl 2): S17-S32.
- Crawford, C. 1987. Survey of resistant starch in processed foods *FMBRA Bul.* 2, 59-64.
- Delzenne, N. Aertssens, J. Verplaetse, H. Roccaro, M. and Roberfroid, M. 1995. Effect of fermentable fructo-oligosaccharides on mineral, nitrogen and energy digestive balance in the rat. *Life Sci*, 57(17):1579-1587.
- Devries, J. W. 2004. Dietary fiber: The influence of definition on analysis and regulation. *Journal of AOAC International*, vol. 87, No. 3, 682-706.

De Cock, P. 1996. Functional properties of starch/ Methods and applications. *Agro-Food-Industry Hi-Tech.* 7, (4), 18-22.

Eastwood, M. A. 1992. The physiological effect of dietary fibre: an update. *Annu. Rev. Nutr.* 12: 19–35.

Englyst, H. N. and Cummings, J. H. 1985. Digestion of the polysaccharides of some cereal foods in the human small intestine. *Am. J. Clin. Nutr.* 42:778-787.

Englyst, H. N. and Cummings, J. H. 1986. Digestion of the carbohydrates of banana (*Musa paradisiaca sapientum*) in the human small intestine. *Am. J. Clin. Nutr.* 44:42-50.

Englyst, H. N. and Cummings, J. H. 1987. Digestion of the polysaccharides of potato in the human small intestine. *Am. J. Clin. Nutr.* 45:423-431.

Englyst, H. N. Kingman, S. M. and Cummings, J. H. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur J Clin Nutr*, 46(S2): S33-S50.

Englyst, H. N. Veenstra, J and Hudson, G. J. 1996. Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plant foods: a potential in vitro predictor of the glycaemic response. *British Journal of Nutrition*, 75: 327-337.

Espinal, C. F. Covalada, H. M. Ruiz, P. N y Urrutia, B. A. C. 2005a. La cadena de la papa en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de trabajo No. 100. En: <http://www.agrocadenas.gov.co>

Espinal, C. F. Martínez, H. J. Pinzón, N. R y Barrios, C. A. 2005b. La cadena de la papa en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de trabajo No. 54. En: <http://www.agrocadenas.gov.co>

FAO, 1970. Servicio de ciencia y política de la alimentación dirección de nutrición. Contenido de aminoácidos de los alimentos y datos bibliográficos sobre las proteínas. Roma -Italia 46-47.

FAO, 2008. <http://www.potato2008.org/es/lapapa/index.html> (Consultado 15/02/2012).

FAO, 2009. FAO Statistical Databases, Supply Utilization Accounts. <http://faostat.fao.org/> (Consultado 01/02/2012).

FAO, 2012. FAO Statistical Databases <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> (Consultado 15/02/2012).

Fengler, A. I. and Marquardt, R. R. 1988. Water soluble pentosans from rye. II. Effects of rate of dialysis on the retention of nutrients by the chick. *Cereal Chemistry*, 65: 298- 302.

Finagro, 2012. http://www.finagro.com.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-197&p_options=#PRODUCCION(Consultado 5/02/2012).

Fox, S. I. 1996. Human Physiology, p. 588. Wm. C. Brown. Publishers, Chicago, United States of America.

Gallant, D. J. Bouchet, B. Buleon, A and Perez, S. 1992. Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. *Eur J Clin Nutr.* 46(Suppl 2):S3–16.

- Gernat, C. Rodosta, S. Damaschun, G. and Schierbaum, F. 1990. Supramolecular structure of legume starches revealed by X-ray scattering. *Starch/Starke*, 42:175-178.
- Gibson, G. R. and Roberfroid, M. B. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J Nutr*, 125(6): 1401-1412.
- Grupo de investigación en papa. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. <http://papaunc.com/catalogo.shtml>. Consultado Noviembre de 2011.
- Haralampu, S. G. 2000. Resistant starch – a review of the physical properties and biological impact of RS3 carbohydrate polymers, 41: 285-292.
- Hashimoto, N. Ito, Y. Han, K. H. Shimada, K. et al. 2006. Potato pulps lowered the serum cholesterol and triglyceride levels in rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 52, 445–450
- Higgins, J. A. Higbee, D. R. Donahoo, W. T. Brown, I. L. Bell, M. L and Bessesen, D. H. 2004. Resistant starch consumption promotes lipid oxidation. *Nutr Metab (Lond)*,6;1(1):8.
- Hetland, H. Svihus, B. and Plaisen, V. 2002. Effect of feeding Whole cereals on performance, starch digestibility and duodenal particle size distribution in broilers Chickens. *British Poultry Science* 43: 416-423.2002
- Holm, J. Björck, I. Eliasson. A. C. and Asp, N. G. 1986. A rapid method for the analysis of starch. *Starch/Starke*, 38: 224-226.
- Hulan, H. W and Bird, F. H. 1972 Effect of fat level in isonitrogenous diets on the composition of avian pancreatic juice. *Journal of Nutrition* 102: 459-468.
- IFPRI. 2002. Visión 2020. Raíces y tubérculos para el siglo XXI: tendencias, proyecciones y Opciones.
- Jenkins, D. J. Wolever, T. M and Taylor, R. H. 1981. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr* 34:362–6.
- Jing-ming, L and Sen-lin, Z. 1990. Scanning electron microscopy study on gelatinization of starch granules in excess water. *Starch/Starke*, 42: 362-366.
- Kohyama, K and Nishina, K. 1991. Effect of soluble sugars on gelatinization and retrogradation of sweet potato starch. *J Agric Chem*, 39: 1406-1410.
- Lee, Y. K. Salminen, S. Hoboken, N. J. (Eds.), 2009. Handbook of probiotics and prebiotics, 2nd edn. John Wiley & Sons, Inc., United Kingdom.
- Leeman, A. M. Karlsson, M. E. Eliasson, A. C. Björck, I. M. E. 2006. Resistant starch formation in temperature treated potato starches varying in amylose/amylopectin ratio. *Carbohydr.Polym.* 65, 306–313.
- Liu, R. and Xu, G. 2008. Effects of resistant starch on colonic preneoplastic aberrant crypt foci in rats. *Food Chem. Toxicol.* 46, 2672–2679.
- Lunn, J. Buttriss, J. L. 2007, Carbohydrates and dietary fibre. *Nutr. Bull.* 32, 21–64.
- Martinez-Flores, H. E. Chang, Y. K. Martinez-Bustos, F. Sgarbierid, V. 2004. Effect of high fiber products on blood lipids and lipoproteins in hamsters. *Nutr. Res.* 24, 85–93.

Martínez-Puig, D. 2006. Implicaciones digestivas y metabólicas del consumo de almidón resistente en el cerdo. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.

McAllister, T. A. Philippe, R. C. Rode, L. M. and Cheng, K. J. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *J. Anim. Sci.* 71: 205–212.

McCleary B. V. and Rossiter P. 2004. Measurement of novel dietary fibres. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists International* 87: 707–17.

Miles, M. J. Morris, V. J. Orford, P. D and Ring, S. G. 1985. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydr Res*, 135:271-281.

Morell, M. K. Konik-Rose, C. Ahmed, R. Li, Z. and Rahman, S. 2004. Synthesis of resistant starches in plants. *Journal of AOAC International*. vol. 87, no. 3,740-748.

Moreno, J. D. 2003. Calidad de la papa para usos industriales. Programa Regional Agrícola. CORPOICA. C.I Tibaitatá. En:<http://www.todopapa.com.ar/pdf/calidadpaparausosindustriales.pdf>

Myers, A. M. Morell, M. K. James, M. G. and Ball, S. G. 2000. Recent progress toward understanding the biosynthesis of the amylopectin crystal. *Plant Physiol.* 122, 989–998.

O'Brien, M. M. Kiely, M. Galvin, M. and Flynn, A. 2003. The importance of composite foods for estimates of vegetable and fruit intakes. *Public Health Nutr* 6:711–726.

Oates, C. G. 1997. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. *Trends Food Sci. Technol.* 8: 375–382.

Ohta, A. Ohtsuki, M. Baba, S. Adachi, T. Sakata, T and Sakaguchi, E. 1995. Calcium and magnesium absorption from the colon and rectum are increased in rats fed fructooligosaccharides. *J Nutr*, 125(9): 2417-2424.

Patindol, J. A. Guraya, H. S. Champagne, E. T. and McClung, A. M. 2010. Nutritionally important starch fractions of rice cultivars grown in Southern United States. *J. Food Sci.* 75, 137–144.

Perez, H. and Oliva-Teles, A. 2001. Utilization of raw and gelatinized starch by European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 205: 287-299.

Prynne, C. J. Ginty, F. Paul, A. A. Bolton-Smith, C. Stear, S. J. Jones, S. C and Prentice, A. 2004. Dietary acid–base balance and intake of bone-related nutrients in Cambridge teenagers. *Eur J Clin Nutr* 58:1462–1471.

Remesy, C. Morand, C. Levrat, M. A. Gamet, L and Demigne, C. 1992. Intérêt nutritionnel des produits végétaux riches en fibres. *Cah Nutr Diét* 27:370–377.

Rogel, A. M. Annison, E. F. Bryden, W. L. and Balnave, D. 1987. *Australian Journal of Agricultural Research* 38:639-649

Sajilata, M. G. Singhal, R. S. Kulkarni, P. R. 2006. Resistant starch – A review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 5, 1–17.

- Sansavani, S. and Verzoni, D. 1998. The functional properties of starches as a means to expanding their international market. *FAO Working document n°3, FAO-AGS as a part of policy-research Tasks in conjunction with the first world conference on research in horticulture* (WCHR), Rome, Italy. 28p.
- Saura-Calixto, F. Goñi, I. Bravo, L. and Mañas, E. 1993. Resistant Starch in Foods: Modified Method for Dietary Fiber Residues. *Journal of Food Science*, Volume 58, Issue 3, pages 642-643.
- Scourboutakos, M. 2010. 1 + 1 = 3...Synbiotics: Combining the power of pre- and probiotics. *J. Food Sci. Educ.* 9, 36–37.
- Siljestrom, M. and Asp, N. 1985. Resistant starch formation during baking. Effect of baking time and temperature and variations in the recipe. *Z. Lebensm.-Unters.-Forsch.* 181:4-8.
- Sharma, A. Yadav, B. S and Ritika. 2008. Resistant Starch: Physiological Roles and Food Applications, *Food Reviews International*, 24:2, 193-234
- Shimada, M. Mochizuki, K. and Goda, T. 2008. Dietary resistant starch reduces levels of glucose-dependent insulinotropic polypeptide mRNA along the jejunum–ileum in both normal and type 2 diabetics rats. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 72, 2206–2209.
- Slavin, J. Stewart, M. Timm, D. Hospattankar, A. 2009. International Association for Cereal Science and Technology (ICC), 1–3 July 2009, van der Kamp, J. W., Vienna, Austria, p. 35
- Stephen A. M. and Cummings J. H. 1980. Mechanism of action of dietary fibre in the human colon. *Nature* 284: 283–4.
- Stephen, A. M. Haddad, A. C. and Phillips, S. F. 1983. Passage of carbohydrate into the colon. Direct measurement in humans. *Gastroenterology*, 85: 626-632.
- Subar, A. F. Krebs-Smith, S. M. Cook, A. and Khale, L. L. 1998. Dietary source of nutrients among US adults, 1989 to 1991. *J. Am. Diet. Assoc.* 98, 537-547.
- Svihus, B. and Hetland, H. 2001. Ileal starch digestibility in growing broiler chickens fed on a wheat-based diet is improved by mash feeding, dilution with cellulose or whole wheat inclusion *British Poultry Science* 42:633-637.
- Tan, H. Z. Li, Z. G. and Tan, B. 2010. Starch noodles: History, classification, materials, processing, structure. *Food Res. Int.* 42, 551–576.
- Tester, R. F. Karkalas, J, and Qi, X. 2004. Starch structure and digestibility enzyme-substrate relationship. *World's Poultry Science Journal*, 60: 186-195.
- Tetlow, I. J. Blissett, K. J. and Emes, M. J. 1994. Starch synthesis and carbohydrate oxidation in amyloplasts from developing wheat endosperm. *Planta* 194, 454–460.
- Topping, D. L and Clifton, P. M. 2001. Short-chain fatty acids and human colonic function: Roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. *Physiol Rev*, 81: 1031-1064.
- Topping, D. L. Fukushima, M. and Bird, A. R. 2003. Resistant starch as a prebiotic and symbiotic: state of the art. *Proc Nutr Soc*, 62(1):171-176.
- Truswell, A. S. 1992. Glycaemic index in foods. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46 (suppl. 2): S91–S101.

Van der Aar. 2003. Getting to Know starch better. Feed mix, vol. 11; Num.2, En: www.AgriWorld.nl.

Van der Aar, P. Weurding, R. E. Enting, H. and Veldman, B. 2003. The practical relevance of the kinetics of starch digestion in broilers. *Recent Advances in Animal Nutrition* 35-46.

Vasanthan, T. and Bhatta, R. S. 1996. Physicochemical properties of small- and largegranule starches of waxy, regular and high amylose barleys. *Cereal Chem*, 73:199-207.

Weurding, R. E. Veldman, A. Veen, W. A. G. Van der Aar, P. J. and Verstegen, M. W. A. 2001. Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs. *J. Nutr.* 131: 2329–2335, 2001.

Weurding, E. 2002. Kinetics of starch digestion and performance of broiler chickens. Ph.D. Thesis, Wageningen Institute of Animal Sciences, Wageningen, The Netherlands.

Wiseman, J. Nicol, N. T. and Norton, G. 2000. Relationship between apparent metabolisable (AME) values and in vivo/in vitro starch digestibility of wheat for broilers. *World's Poult. Sci. J.* 56: 305–318.

Wolf, M. J. Khoo, U. and Inglett, G. E. 1977. Partial digestibility of cooked amylo maize starch in humans and mice. *Stärke*, 12: 401-405.

Wu, H. C. and Sarko, A. 1978. The double helical molecular structure of crystalline amylose. *Carbohydr Res* 61:7-25.

Younes, H. Demigne, C and Remesy, C. 1996. Acidic fermentation in the caecum increases absorption of calcium and magnesium in the large intestine of the rat. *Br J Nutr*, 75(2): 301-314.

Younes, H. Coudray, C. Bellanger, J. Demigne, C. Rayssiguier, Y. and Remesy, C. 2001. Effects of two fermentable carbohydrates (inulin and resistant starch) and their combination on calcium and magnesium balance in rats. *Br J Nutr*, 86(4): 479-485.

Zamaratskaia, G. Chen, G. and Lundström, K. 2006. Effects of sex, weight, diet and hCG administration on levels of skatole and indole in the liver and hepatic activities of cytochromes P450E1 and P450A6 in pigs. *Meat Science*, Volume 72, Issue 2, pp. 331-338.

Zierler, K. 1999. Whole body glucose metabolism. *Am J Physiol*, 276: E409-E426.

2. Caracterización fisicoquímica de 10 variedades comerciales de papa dirigida a seleccionar materiales para producción de almidón resistente retrogradado

2.1 Introducción

Los alimentos a base de almidones representan el mayor recurso de carbohidratos en la dieta de humanos, estimándose que compromete el 80% de la ingestión calórica global y están disponibles en varias formas que caracterizan diferentes estados de procesamiento: crudos, como productos alimenticios tradicionales y como productos modernos para los consumidores que se caracterizan por diferentes texturas, formas y sabores. Uno de los alimentos con mayor versatilidad en estos estados es la papa que participa de manera activa y estratégica en el sistema de alimentación global. Posee una gran capacidad de adaptación a diferentes climas y sistemas de cultivo, siendo su producción y consumo relevante en países altamente poblados, como China e India (Espinal y col., 2005). Su contribución a la seguridad alimentaria es fundamental ya que cubre parte de los requerimientos energéticos y de otros nutrientes para miles de personas que viven en países en desarrollo (IFPRI, 2002).

La papa es reconocida por su contenido de almidones, siendo el segundo componente más abundante después del agua, con alrededor de 60-80% de la materia seca (Freeman y col., 1992). Así, el almidón además de ser una importante fuente de energía, tiene gran influencia sobre los factores de calidad en la papa (Bu-Contreras y Rao, 2002 y Severini y col., 2005). De otra parte, una pequeña pero significativa porción de este almidón es resistente a la digestión y por lo tanto es considerado como un recurso fibroso, con efectos fisiológicos y benéficos para la salud humana y animal. El almidón resistente es la suma del almidón y los productos de degradación del almidón que no son

absorbidos en el intestino delgado por individuos sanos (Berry, 1986), los cuales pueden ser fermentados en el intestino grueso por la microflora (Sievert y Pomeranz, 1989).

La cantidad de almidón resistente en las papas depende de los métodos de preparación, pero en general, los procesos de cocido y enfriado incrementan de manera significativa, la concentración del almidón resistente retrogradado. El más importante carbohidrato resistente es la fibra dietaria. Sin embargo, hay numerosos recursos adicionales de carbohidratos resistentes que ocurren naturalmente en pequeñas cantidades o que han sido desarrollados como ingredientes funcionales (Englyst y col., 2007).

El almidón de la dieta es potencialmente degradado por la acción de la enzima alfa-amilasa; sin embargo, ciertos factores pueden afectar esta hidrólisis y la absorción *in vivo*. De acuerdo con la clasificación tradicional hay cuatro categorías de almidón resistente en los recursos alimenticios de acuerdo a sus siglas en inglés: RS1- físicamente inaccesible, localizado en la pared celular de la planta, tipo que se observa principalmente en cereales molidos, semillas o leguminosas; RS2- gránulos de almidón crudo resistente del tipo B, que se presentan en gránulos nativos de almidón de papas crudas y almidones con alta amilosa; RS3: almidón no granular retrogrado o cristalino que se observa en papas cocidas y papas refrigeradas, pan o maíz extruidos, almidón rico en amilosa retrogradado; RS4 almidones químicamente modificados que se presentan en recursos que contienen almidones modificados como derivados químicos de almidón o que se encuentran enlazados a dextrinas alteradas. Las anteriores descripciones corresponden a factores denominados intrínsecos. Sin embargo, la ingestión del almidón está influenciada por aspectos fisiológicos, denominados factores extrínsecos, que incluyen el grado de masticación, la concentración de amilosa en el intestino, la velocidad de pasaje a través del estómago y el intestino delgado (Englyst y col., 1992).

La calidad de un producto agrícola puede ser valorada a través de ciertas características relacionadas con su sanidad general y con su ciclo de vida comercial durante los periodos de pre cosecha, cosecha y poscosecha, determinando así el grado de aceptación por parte del consumidor (Buitrago y col., 2004). Dentro de estas

características, para el caso de la papa se puede hacer una distinción entre la calidad externa y la calidad interna (Andrade, 1997), pudiendo mencionar entre otras, la composición nutricional, características organolépticas y físicas y las propiedades mecánicas. Con referencia a la calidad interna de la papa, se puede decir que la composición química puede variar de acuerdo con la variedad, condiciones de crecimiento del cultivo (calidad de la semilla, tipo de suelo, fertilizantes, temperatura, humedad, luz), grado de madurez y condiciones de almacenamiento (CIP, 1992; Andersson y col., 1994; Pritchard y Adam 1994; Andrade, 1997 y Egusquiza, 2000). Dentro de las propiedades mecánicas, la firmeza permite medir el grado de resistencia del tubérculo, aportando un conocimiento sobre la textura de la papa bajo condiciones específicas durante los procesos de: recolección, manipulación, almacenamiento y transporte, que pueden ir en detrimento de su calidad. Esta propiedad puede ser valorada mediante técnicas como la punción, compresión, penetración entre otras, las cuales miden la fuerza que opone un material biológico al ser perforado o comprimido hasta cierta profundidad y deformación (Buitrago y col., 2004).

De otra parte, los descriptores o marcadores morfológicos son importantes a la hora de describir de manera consistente los tubérculos, follaje, flores y frutos de las especies y variedades de papa (Fedepapa, 1996). Las características morfológicas se manifiestan de manera más o menos estable bajo diferentes condiciones ambientales, siendo lo más consistentes a través del tiempo y para el caso de la papa, los tres descriptores utilizados son el color de su piel, la forma y el color de la carne (Gómez, 2000). En general, las características físicas en conjunto con la composición química y algunas propiedades mecánicas permiten definir variables importantes en la definición de un estándar de calidad, que refleje en gran parte el grado de inocuidad, calidad y ciclo de vida comercial de la papa.

Por lo tanto, el objetivo de esta capítulo es hacer una descripción de algunas características de importancia a nivel físico y químico, que permiten en conjunto con los rendimientos de extracción del almidón, seleccionar dos variedades de papa (común y criolla) para obtener almidón retrogradado, que puede ser utilizado en dietas para pollos de engorde como un aditivo funcional alimenticio.

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Procedencia y recolección del material

Se recolectaron 10 variedades comerciales de papa entre cultivares mejorados y nativos, cinco de papa común (*Solanum tuberosum* grupo *andigena*) y cinco de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo *phureja*) procedentes de zonas de producción de los departamentos de Cundinamarca y Nariño. Se realizó un muestreo representativo de manera aleatoria del cultivo para cada una de las variedades, durante la misma semana de cosecha por parte del productor.

2.2.2 Caracterización física de las variedades de papa

Peso, forma y color de la piel y pulpa del tubérculo. Se utilizaron los descriptores propuestos por Gómez (2000), basados en el trabajo desarrollado por el grupo de Huaman en 1977, seleccionando cinco tubérculos al azar de la muestra inicial tomada en campo, dentro de la primera semana posterior a su recolección. Se registró el peso individual para cada tubérculo en una balanza analítica. Para determinar el diámetro y la longitud del tubérculo se utilizó un pie de rey. La forma de tubérculo se determinó midiendo la longitud (distancia entre la base y el ápice del tubérculo) y el diámetro con un pie de rey, obteniendo un código de tres cifras en torno a la forma general, variantes de la forma general y la profundidad de los ojos. El color de la piel se caracterizó mediante un código de cuatro dígitos; siendo en su orden, el color principal o predominante, la intensidad del mismo es el segundo dígito, la ausencia o presencia de algún color secundario y su distribución en la piel del tubérculo. Para determinar el color de la pulpa, los mismos tubérculos fueron cortados transversalmente, indicando en un código de tres cifras el color predominante de la pulpa, presencia o ausencia de color secundario y la distribución de este último.

Peso específico. Se calculó mediante la metodología de peso en el aire y peso en el agua (Smith, 1975). Se tomaron cuatro réplicas para cada una de las variedades (550 ± 50 g), de acuerdo a la disponibilidad de material. La fórmula utilizada fue:

$$\text{Peso específico} = \text{peso en aire} / (\text{peso en el aire} - \text{peso en agua})$$

Resistencia al corte y al punzonamiento. Para cada prueba se tomaron tres tubérculos de tamaño promedio, dividiéndolos longitudinalmente en dos, tomando la medición en el punto medio, mediante una maquina universal de esfuerzos digital (Chantillon®, TCD 200) y el programa Nexygen®. Para las pruebas de corte y punzonamiento se utilizó una cuchilla de acero con espesor 0.5 mm (velocidad 12 mm/min) y un cono lizo metálico con ángulo 45° (velocidad 20 mm / min), respectivamente.

Granulometría del almidón de papa. Para determinar el tamaño de partícula para los diferentes almidones obtenidos, se procedió a tamizar 500 g de muestra por cada una de las variedades, con excepción de la variedad Mambera (300 g), en un tamizador portable marca Sieve Shaker Modelo Rx-24, utilizando tamices No. 100 (150 µm), 140 (106 µm), 170 (90 µm), 270 (53 µm) y 400 (38 µm) por un tiempo de 30 minutos.

Microscopia Electrónica de Barrido (SEM). Para observar la superficie, forma y textura de los almidones (puro y retrogradado) de las variedades estudiadas se tomaron imágenes por medio de un microscopio electrónico de barrido marca FEI® QUANTA 200 a un voltaje de 25 kV, ubicado en el Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) del Centro Interfacultades (CEIF) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, empelando bajo vacío (0.45 Torr) como modo de operación.

2.2.3 Caracterización química de las variedades de papa

Procesamiento de las muestras. Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Nutrición del CBB-CORPOICA. Las muestras (con cáscara) fueron lavadas, cortadas en trozos (1 cm³) e introducidas en tarros (300 ± 20 g) con agua, para someterlas a un proceso de cocción (autoclave, 120°C a 120 pascales de presión x 15 minutos) y un enfriamiento parcial a temperatura ambiente, para luego recibir un choque térmico (-20°C) con el fin de completar la retrogradación del almidón. Posteriormente, las muestras fueron liofilizadas, con el fin de evitar cualquier pérdida de nutrientes.

Análisis composicional químico. Se realizó un análisis proximal acorde a los protocolos propuestos por la AOAC (2000) evaluando los siguientes parámetros: % humedad, extracto etéreo, proteína cruda, cenizas y fósforo. Para el almidón extraído de

las diferentes variedades, se determinó el contenido de amilosa, amilopectina mediante un método colorimétrico desarrollado por Chrastil (1987).

Almidón total. Se determinó por el método 996.11 descrito por la AOAC (1998). El almidón total se determinó como glucosa liberada medida por GOD-PAP (Kit GOP GAGO20 -1KT, SIGMA) * 0.9 (factor de conversión) a una absorbancia de 540 nm. Luego de extraer azúcares e interferentes mediante etanol al 80% (5 mL) y secado en estufa a 55 °C por 18 horas, se realizó el desdoblamiento del almidón por fase enzimática, agregando 3 mL de amilasa termoestable (Ref. 3306, SIGMA ALDRICH) disuelta en MOPS, calentando en baño termostático a 100 °C por 2 y 3 minutos con intervalos de agitación y dejándola finalmente a 50 °C por 5 minutos, adicionando 4 mL de buffer acetato de Na (pH 4.5) y 100 µL de amiloglucosidasa (Ref. 9913, SIGMA ALDRICH), incubando a 50 °C por 30 minutos.

Almidón resistente (prueba *in Vitro*). Se determinó por el método propuesto por Goñi y col. (1996). Este método fue diseñado para simular las condiciones fisiológicas del proceso de digestión en términos de pH y velocidad de paso del estómago al intestino como también de la temperatura fisiológica. Se cuantificó la fracción de almidón resistente correspondiente al almidón retrogradado (AR3), como glucosa liberada medida por GOD-PAP (Kit GOP GAGO20 -1KT, SIGMA) * 0.9 (factor de conversión) a una absorbancia de 540 nm. Luego de extraer los azúcares en forma de almidón no resistente, agregando 10 mL de buffer KCl-HCl y 200 µL de pepsina/buffer HCl (Mallinckrodt Ref 2629-57), calentando baño termostático a 40°C por 60 min, seguido a 9 mL de Trisma-Maleato (pH 6.9) y 1 mL de α-amilasa termoestable (SIGMA ALDRICH ref. A3176-1MU) / buffer Trisma-Maleato, para incubar por 16 horas a 37 °C con agitación constante. Posteriormente, luego de lavar con agua destilada y descartar el sobrenadante, se agregaron 3 mL de KOH 4N y 3 mL de agua destilada, ajustando el pH con HCl 2N y 3 mL de buffer de acetato de sodio (pH 6.9), para adicionar 80 µL de amiloglucosidasa (SIGMA ALDRICH Ref A 9913) e incubar a 60 °C por 45 minutos.

2.2.4 Extracción del almidón de papa y obtención del almidón retrogradado

Extracción del almidón. Se utilizó el protocolo desarrollado en el ICTA de la Universidad Nacional de Colombia, con algunas modificaciones. La papa fue pesada, lavada, pelada y picada en trozos medianos y dejada en reposo en una solución de agua (1:2 agua / papa) con sal (solución al 3% de NaCl) por 30 minutos, para posteriormente ser molido en una licuadora industria. La extracción del almidón se realizó mediante múltiples lavados de la pulpa con agua, mediante un lienzo fino, luego se procedió a dejar decantar el almidón por unos 40 minutos, donde se extrajo el agua del recipiente y se trasladó el almidón a una bandeja para secarlo a temperatura ambiente por 48 a 72 horas o a 30°C por 24 en un horno con circulación de aire forzado. El almidón seco fue molido a un tamaño de partícula de 1mm Ø y empacado.

Retrogradación del almidón papa. Para la retrogradación del almidón se empleó la metodología descrita por Tufvesson y col. (2001) y Leeman y col. (2006) modificando la temperatura de enfriamiento de 4 a 0 °C y de 31 a 32 °C. Se realizó una mezcla de papa con agua, en una relación de 1:3, la cual fue sometida en un recipiente sellado a 60°C, agitando cada 3 minutos, luego el recipiente fue introducido en un baño maría a temperatura de ebullición por 15 minutos. Después de que las muestras se enfriaron a temperatura ambiente, fueron sometidas a dos tratamientos diferentes de temperatura (0°C / 32°C x 24h c/u e 0°C / 100°C x 24h c/u), con lo cual se estableció la mejor combinación, para obtener un mayor % de almidón resistente retrogradado.

2.2.5 Selección de dos variedades de papa con mayor potencialidad de uso como aditivo funcional en dietas para pollos de engorde

A partir del contenido de almidón total, almidón resistente, porcentaje de materia seca y de los rendimientos obtenidos en la extracción del almidón en las diferentes variedades comerciales de papa común (*Solanum tuberosum* grupo *andigena*, Variedades ICA-Unica (Unica), Tocarreña, Pastusa Suprema (Suprema), R12 y Parda Pastusa (Pastusa) y papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo *phureja*, Variedades Colombia, Latina, Guaneña, Galeras y Mambera), se realizó una técnica de puntaje para seleccionar dentro de cada especie, la variedad de papa que presentaba las mayores ventajas estratégicas para la

generación de almidón retrogradado, como un aditivo funcional alimenticio dado su comportamiento similar a una fibra dietaria.

2.2.6 Análisis estadístico

Para determinar si existían diferencias entre las variedades de papa con respecto a las variables físicas evaluadas, como peso y longitud del tubérculo, las relaciones entre longitud y diámetro, peso específico, resistencia al corte y resistencia al punzonamiento se utilizó un diseño completamente al azar, considerando el efecto de la variedad. Igualmente se realizó una comparación entre las dos especies, agrupando las variedades de papa como replicas experimentales por cada especie. En el caso del análisis proximal, almidón total, almidón resistente, almidón resistente como % del almidón total y fosforo en las muestras procesadas por cocción en autoclave y los valores de amilosa, amilopectina, fósforo, evaluadas en el almidón de papa extraído, se realizó una comparación entre especies y no entre variedades, utilizando cada variedad como réplica experimental al carecer de réplicas de campo, ya que las muestras provenían directamente de las fincas de los productores, donde las condiciones experimentales no fueron controladas desde el inicio del cultivo. El modelo estadístico para el análisis de los datos de los dos experimentos fue:

$$Y_{ij} = \mu + A_j + \varepsilon_{ij}$$

Siendo:

μ = media general

A_j = efecto del i ésimo variedad o especie

$i = 1, \dots, 5$

ε_{ij} = error experimental

$j = 1, 2, 3, 4, 5$

Para comparar el contenido de almidón resistente retrogradado generado por efecto del procesamiento térmico como % del almidón total generado, se planteó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×2 , considerando el efecto de las dos especies y los dos tratamientos térmicos empleados, dada la carencia de réplicas de

campo para realizar una comparación entre las diferentes variedades de papa. El modelo estadístico para el análisis de los datos de los dos experimentos fue:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (A*B) + \varepsilon_{ijk}$$

Siendo:

μ = media general

α_i = efecto de la i ésima factor A; especie

$i = 1$ y 2 .

β_j = Efecto del j ésimo factor B; tratamiento térmico

$j = 1$ y 2 .

$(\alpha\beta)$ = Efecto de la interacción de los i, j niveles de los factores A y B.

ε_{ijk} = Error experimental del i ésimo nivel del factor A, del j ésimo nivel del factor B, en la k ésima repetición.

$k = 1, 2, \dots, 5$.

Todos los datos fueron analizados mediante el uso del paquete estadístico SAS 9.2 (2007), utilizando el procedimiento GLM. Los promedios de las variables cuantificadas para cada variedad o especie fueron comparados mediante la prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0.05$).

2.3 Resultados y discusión

2.3.1 Peso, forma, color de la piel y pulpa del tubérculo y peso específico

Las características físicas de las variedades de papa utilizadas pertenecientes a las especies de papa común (*S. tuberosum* g. *andigena*) y criolla (*S. tuberosum* g. *phureja*) se observan en la tablas 2-1 y 2-2. De acuerdo a los descriptores señalados por Gómez (2000), en las variedades de la especie *S. tuberosum* g. *andigena* se observaron para el color de la piel, tonalidades que fueron desde el rosado - marrón hasta el morado, mientras que en el caso del color de la pulpa, este vario entre el blanco - crema hasta el amarillo claro. La variedad Pastusa mostro un color de piel rosado intermedio, con presencia de un color secundario crema distribuido en forma de manchas salpicadas, mientras que en la variedad Suprema, el color de la piel fue marrón claro, presentando un color secundario morado, claro alrededor de los ojos. Las variedades R12 y Tocarreña

presentaron un color predominante rojo intermedio y morado intenso para la piel del tubérculo, con un color secundario morado en forma de manchas salpicadas para R12 y color amarillo intenso como anteojos para la Tocarreña. Para todas estas variedades el color predominante de la pulpa fue crema, sin presencia de color secundario. En el caso de la variedad Unica, el color predominante de la piel fue amarillo claro, con presencia de color secundario morado alrededor de los ojos, mientras que el color de la pulpa fue amarillo claro, sin la presencia de un color secundario.

Con relación a las variables peso, longitud, diámetro y las relaciones directas e inversas de las variables longitud y diámetro, no se encontraron diferencias significativas entre las diferentes variedades ($P > 0.05$). En términos generales, las relaciones directas e inversas de las variables longitud y diámetro, son indicadores que señalan la forma del tubérculo. Para las variedades Pastusa y Suprema, se observó que el diámetro sobrepasa escasamente la longitud, contrario a lo que ocurre con las variedades R12, Unica y Tocarreña, donde la diferencia fue inversa y numéricamente mayor. Por lo tanto, las variedades Pastusa, R12 y Suprema presentan una forma comprimida (redonda ligeramente aplanada para las dos primeras y redonda aplanada, respectivamente), con una profundidad de ojos media para Pastusa y Suprema y superficial para R12. Las variedades Tocarreña e Unica, presentan una forma redondeada, con una profundidad de ojos media y superficial, respectivamente. Lo anterior se encuentra acorde a lo reportado por el Grupo de investigación en papa de la Universidad nacional (2011), donde la forma redonda aplanada es fácilmente distinguible en las variedades Pastusa y Suprema, mientras que en el caso de las variedades R12, Tocarreña y Unica, la forma difiere al ser numéricamente mayor la longitud que el diámetro, dando una apariencia visual de un tubérculo más redondeado, forma que resalta más en la variedad Unica de acuerdo a lo observado en este estudio. Para la variable peso específico, se encontraron diferencias significativas ($P < 0,01$), para las diferentes variedades de papa caracterizadas por especie. La variedad Pastusa mostro el mayor valor, mientras que las variedades R12 y Unica los menores valores, las variedades Suprema y Tocarreña, se comportaron de manera intermedia y fueron comparables con variedades descritas, previamente ($P < 0.05$)

Tabla 2-1: Características físicas de las variedades de papa pertenecientes a la especie *Solanum tuberosum* g. *andigena*

Variable	<i>S. tuberosum</i> g. <i>andigena</i>					p-Valor	EEM
	Pastusa	R12	Suprema	Tocarreja	Unica		
Peso	105,61	127,24	128,51	101,09	80,16	0,74	28.94
Longitud	6,36	6,84	6,40	6,34	5,46	0,66	0.65
Diámetro	6,42	5,98	6,56	5,80	4,92	0,28	0.55
Relación Long/Diam*	1,00	1,13	0,97	1,09	1,13	0,26	0.06
Relación Diam/Long*	1,01	0,89	1,03	0,92	0,91	0,21	0.05
Peso específico	1,092 ^a	1,070 ^b	1,080 ^{ba}	1,081 ^{ba}	1,072 ^b	<.01	0.003
Color de la piel ^a	5216	6286	4183	8325	2183	NA	NA
Color de la pulpa ^b	200	200	200	200	300	NA	NA
Forma del tubérculo ^c	105	103	105	205	203	NA	NA

*Long, longitud; diam, diámetro. a, dígitos: color predominante, intensidad del color, color secundario y distribución color secundario. b, dígitos: color predominante, color secundario y distribución color secundario. c, dígitos: forma general, variante de la forma, profundidad de ojos. Valores promedios de cada fila con letras diferentes presentan diferencias estadísticas entre clones ($P < 0,05$). NA, No Aplica; EEM, error estándar de la media.

En las variedades pertenecientes a *S. tuberosum* g. *phureja*, el color de la piel varió de un amarillo intermedio para Galeras y Guaneña y amarillo intenso para las variedades Colombia y Latina, sin la presencia de un color secundario. La variedad Mambra presentó un color predominante rojo – morado de intensidad intermedia, con un color secundario amarillo claro, distribuido en forma de manchas dispersas. Con referencia al color de la pulpa, en las variedades Guaneña y Mambra se observó un color amarillo claro, mientras que en las variedades Galeras y Latina, el color fue un amarillo intermedio y para la variedad Colombia un amarillo intenso, sin la presencia de un color secundario para ninguna de las variedades estudiadas. Con relación a la forma del tubérculo, se observó para las cinco variedades una forma en términos generales redondeada, lo cual corresponde a lo reportado por el Grupo de Investigación en Papa de la Universidad Nacional. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas para las variables peso, longitud, diámetro, relación diámetro: longitud y peso específico ($P < 0,03$). La variable relación diámetro / longitud fue mayor para la variedad Guaneña y la menor para la variedad Mambra, donde las variedades Latina, Galeras y Colombia mostraron un comportamiento intermedio ($P < 0,05$). En este caso, como la longitud no supera al diámetro y este es similar en diferentes puntos del tubérculo, se podría describir una forma redondeada algo comprimida de acuerdo a Gómez (2000) a excepción de la variedad Mambra, cuya diferencia numérica entre longitud y diámetro es mucho menor que lo observado en las muestras de las demás variedades, indicando una forma redondeada.

- 46 Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (*Solanum tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable, e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde

Tabla 2-2: Características físicas de las variedades de papa pertenecientes a la especie *Solanum tuberosum* g. *phureja*

Variable	<i>S. tuberosum</i> g. <i>phureja</i>					p-Valor	EEM
	Colombia	Galeras	Guaneña	Latina	Mambera		
Peso	20,56 ^b	50,66 ^b	16,02 ^b	25,66 ^b	115,4 ^a	<.0001	10.29
Longitud	2,58 ^b	3,12 ^b	2,34 ^b	3,00 ^b	5,62 ^a	<.0001	0.33
Diámetro	3,00 ^b	3,98 ^b	3,10 ^b	3,22 ^b	5,54 ^a	<.0001	0.27
Relación Long/Diam*	0,86	0,78	0,75	0,94	1,01	0,07	0.07
Relación Diam/Long*	1,18 ^{ba}	1,31 ^{ba}	1,33 ^a	1,11 ^{ba}	1,00 ^b	0,03	0.08
Peso específico	1,10 ^c	1,12 ^{ba}	1,13 ^a	1,11 ^{bc}	1,13 ^a	<.0001	0.002
Color de la piel	2300	2200	2200	2300	7224	NA	NA
Color de la pulpa	500	400	300	400	300	NA	NA
Forma del tubérculo	205	205	203	205	205	NA	NA

*Long, longitud; diam, diámetro. a, dígitos: color predominante, intensidad del color, color secundario y distribución color secundario. b, dígitos: color predominante, color secundario y distribución color secundario. c, dígitos: forma general, variante de la forma, profundidad de ojos. Valores promedios de cada fila con letras diferentes presentan diferencias estadísticas entre clones ($P < 0,05$). NA, No Aplica; EEM, error estándar de la media.

Con relación a las variables peso, longitud y diámetro la variedad Mambera mostro mayores valores para estas tres variables frente a las demás variedades ($P < 0,05$), mientras que la relación entre longitud y el diámetro del tubérculo no fue diferente. De acuerdo al Grupo de Investigación en papa, esta variedad nativa de Colombia se caracteriza por la producción de tubérculos gruesos (diámetro mayor a 4 cm), lo cual se observó en la muestra que se utilizó en este estudio. Para la variable peso específico, se observó que las variedades Guaneña y Mambera mostraron los mayores valores, mientras que la variedad Colombia presento el menor valor, la variedades Latina y Galeras se comportaron de manera intermedia y similar entre ellas, sin tener diferencias entre las variedades Galeras, Mambera y Guaneña ($P > 0,05$).

En términos generales, un mayor valor de peso específico fue asociado con un mayor contenido de materia seca (MS) y por ende una mayor cantidad de almidón. Para este estudio, esta relación no fue claramente definida entre las diferentes variedades. La Variedad Pastusa mostro el mayor contenido de MS y peso específico (24.75% y 1.092), mas no de almidón total (78.83%), mientras que las variedades Suprema y Unica mostraron los valores de peso específico más bajos (1.070 y 1.072) frente a contenidos numéricamente mayores de almidón total (AT) (81.31 y 80.77%) y valores de MS de 20.29 y 22.48%, respectivamente. Para las variedades pertenecientes a *S. tuberosum* g. *phureja* no se encontró esta relación entre el contenido de MS y el peso específico, a

excepción de la variedad Colombia, la cual presento un valor numéricamente bajo de MS y el menor peso específico (21.42% y 1.10, respectivamente). Finalmente, para este caso, la relación de un mayor valor de peso específico con un mayor contenido de almidón total, no se muestra claramente, al cotejar los valores obtenidos de almidón total.

En la Tabla 2-3 se muestra una comparación entre especies para las diferentes variedades comerciales de papa. El peso, longitud de la papa y el diámetro fueron superiores en la especie *S. tuberosum* g. *andigena* comparado con la especie *S. tuberosum* g. *phureja* en un 58%, 47% y 37%, respectivamente ($P < 0.05$). Con relación a la variable peso específico, se observó que *S. tuberosum* g. *phureja* presentaba un mayor valor, sin encontrar diferencias marcadas en el contenido de MS, materia orgánica (MO) y AT, debido a la variación propia de cada variedad.

Tabla 2-3: Características físicas de las papas por especie

Variable	Especie		EEM
	<i>S. tuberosum</i> g. <i>andigena</i>	<i>S. tuberosum</i> g. <i>phureja</i>	
Peso	108,52 ^a	45,66 ^b	23.84
Longitud	6,28 ^a	3,33 ^b	0.62
Diámetro	5,94 ^a	3,77 ^b	0.53
Relación Long/Diam*	1,06 ^a	0,87 ^b	0.07
Relación Diam/Long*	0,95 ^b	1,19 ^a	0.07
Peso específico	1,079 ^b	1,117 ^a	0.005

*Long, longitud; diam, diámetro. Valores promedios de cada fila con letras diferentes presentan diferencias estadísticas entre especies ($P < 0,05$); EEM, error estándar de la media.

2.3.2 Resistencia al corte y al punzonamiento

En la tabla 2-4 se observan los valores promedios de carga máxima y la carga promedio para las pruebas de resistencia al corte y punzonamiento del tubérculo. En el caso de la resistencia al corte, se encontraron diferencias significativas para los parámetros evaluado entre las diferentes variedades de papa ($P < 0.05$). Una mayor resistencia al corte (75.33 Newton (N)) fue observada para la variedad Única a nivel de carga máxima, mientras que la variedad Latina y Colombia, mostraron los menores valores de resistencia (44.33 y 45.00 N, respectivamente). Las demás variedades mostraron un comportamiento intermedio. Con relación a la carga promedio, la variedad R12 mostró el mayor valor (32.35 N), seguido de la variedad Única (30.24 N), mientras que la variedad Colombia mostró el menor valor (12.37 N), seguida de la variedad Latina (14.58 N), las

demás variedades presentaron un comportamiento intermedio entre los valores extremos.

Con relación a la resistencia al punzonamiento, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las variedades evaluadas. La variedad R12 presentó una mayor carga máxima (73.60 N), seguida de la variedad Tocarreja con 70.38 N, mientras que la variedad Suprema presentó el menor valor (34.58 N), las demás variedades se comportaron de manera intermedia, con excepción de la variedad Pastusa que obtuvo un valor de 42.82 N, ubicándose entre el promedio y la variedad Suprema. Con relación a la carga promedio las variedades R12 y Única mostraron los mayores valores (28.62 y 27.68 N, respectivamente), mientras que en las variedades Suprema, Galeras, Colombia y Pastusa se observaron los menores valores. Las variedades Tocarreja, Mambera, Guaneña y Latina, mostraron un comportamiento intermedio.

Al comparar los parámetros de resistencia al corte y resistencia al punzonamiento entre especies (*S. tuberosum* g. *andigena* vs. *S. tuberosum* g. *phureja*) (Tabla 2-5), se observó que los valores para la carga máxima y la carga promedio fueron mayores ($P < 0.05$) para la especie *S. tuberosum* g. *andigena*, frente a las variedades pertenecientes a *S. tuberosum* g. *phureja*.

Tabla 2-4: Comparación de los valores de resistencia al corte y al punzonamiento entre variedades comerciales de papa evaluadas

Variedad	Resistencia al corte		Resistencia al punzonamiento	
	Carga promedio	Carga máxima	Carga promedio	Carga máxima
R12	71,18 ^{ba}	32,35 ^a	73,60 ^a	28,62 ^a
Suprema	65,97 ^{ba}	22,57 ^{bac}	34,58 ^c	11,37 ^b
Tocarreja	61,53 ^{ba}	21,56 ^{bac}	70,38 ^{ba}	24,57 ^{ba}
Unica	75,33 ^a	30,24 ^{ba}	60,76 ^{bac}	27,68 ^a
Pastusa	58,96 ^{ba}	25,69 ^{bac}	42,82 ^{bc}	14,23 ^b
Mambera	57,87 ^{ba}	23,62 ^{bac}	60,85 ^{bac}	22,10 ^{ba}
Colombia	45,01 ^b	12,37 ^c	46,45 ^{bac}	13,98 ^b
Galeras	50,98 ^{ba}	16,84 ^{bac}	44,31 ^{bac}	12,17 ^b
Guaneña	52,97 ^{ba}	16,67 ^{bac}	52,86 ^{bac}	15,95 ^{ba}
Latina	44,23 ^b	14,58 ^{bc}	46,53 ^{bac}	16,05 ^{ba}
EEM	1,65	0,10	1,82	0,80

Valores promedios de cada fila con letras diferentes presentan diferencias estadísticas entre clones ($P < 0,05$). EEM, error estándar media

Tabla 2-5: Comparación de los valores de resistencia al corte y al punzonamiento entre especies de papa *Solanum tuberosum* g. *andigena* y *Solanum tuberosum* g. *phureja*

Especie	Resistencia al corte		Resistencia al punzonamiento	
	Carga máxima Newton	Carga promedio Newton	Carga máxima Newton	Carga promedio Newton
<i>S. tuberosum</i> g. <i>andigena</i>	65,57 ^a	25,74 ^a	57,78	21,57 ^a
<i>S. tuberosum</i> g. <i>phureja</i>	50,64 ^b	16,98 ^b	50,23	15,80 ^b
EEM	1,74	1,14	2,63	1,22

Valores promedios de cada fila con letras diferentes presentan diferencias estadísticas entre clones (P<0,05). EEM, error estándar media

De acuerdo a Moreira y Garayo, (2002) la dureza definida como la fuerza máxima de compresión es un buen indicador para definir la textura de las papas, además la fuerza máxima de ruptura es el mejor parámetro que se relaciona con la dureza (Lara, 2008). En este caso se encontraron mayores valores (P<0,05) de resistencia al corte y carga promedio en la resistencia al punzonamiento en las variedades de *S. tuberosum* g. *andigena* frente a las variedades de *S. tuberosum* g. *phureja* (+ 14.93 N, + 8.76 N y + 5.77), siendo mayores a los reportados por Buitrago y col. (2004) para las variedades de papa Criolla, Pastusa y R12. Estos resultados sugieren un mayor contenido de celulosa de las paredes celulares y un mayor tamaño del gránulo de almidón para las variedades pertenecientes a *S. tuberosum* g. *andigena*, aun cuando el contenido de almidón total fue similar entre las dos variedades (78.63 vs 78.63%). Otros factores de variación son la variabilidad propia dentro de las especies, el tipo de instrumentos utilizados, la posición del tubérculo (entero vs. corte longitudinal) al momento de realizar las pruebas de corte y punzonamiento, aun cuando en ambos estudio se partió de una posición media sobre el tubérculo. De otra parte, es importante anotar que la mayor influencia sobre la variabilidad en las propiedades mecánicas son los cambios en el contenido de humedad de los tubérculos, donde las condiciones y el tiempo de almacenamiento pueden conducir a cambios en la turgencia del tubérculo por la pérdida de humedad, lo cual conlleva a un aumento en la elasticidad, modificando su capacidad para soportar mayores cargas (Buitrago y col., 2004). Las muestras recolectadas para estos análisis se obtuvieron durante los tres primeros días de la cosecha en campo, realizando su respectivo procesamiento durante los primeros siete días, al tener las muestras en el laboratorio, así mismo para aminorar el efecto sobre los tubérculos, especialmente de los pertenecientes

al grupo *phureja* para iniciar el nacimiento de las radículas, mientras que las muestras eran procesadas se mantuvieron refrigeradas a 3°C.

2.3.3 Granulometría del almidón de papa

En las figuras 2-1 y 2-2 se muestra la distribución del tamaño de los gránulos de almidón para cada una de las muestras de las 10 variedades comerciales de papa analizadas. Para el caso de las variedades pertenecientes a *S. tuberosum* g. *andigena*, el tamaño de los gránulos de almidón se ubicaron en un mayor porcentaje entre 105 y 53 µm, donde la retención en la criba de 105 µm estuvo entre 21.70 a 51.06% para 105 µm, siendo mayor para variedad Unica y menor para la variedad Pastusa. En el caso de la criba de 53 µm, la variedad Pastusa mostro el mayor porcentaje (56.80%), resaltando que en este tamaño de partícula se presentaron los mayores porcentajes de retención para las muestras analizadas (30.84 a 56.80%) (Figura 2-1).

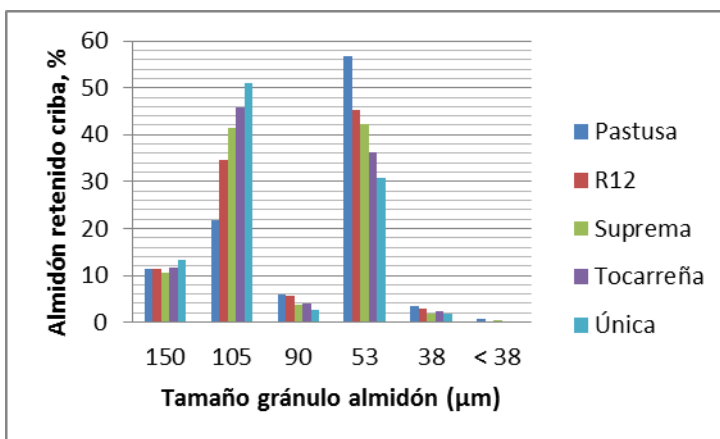


Figura 2-1: Granulometría del almidón extraído en las variedades de papa común

En el caso de las variedades comerciales de papa criolla, el mayor porcentaje para cuatro de las variedades se observó en la criba de 53 µm, variando de 41.64 a 54.18%; sin embargo, la variedad Colombia mostro un tamaño de granulo mayor (105 µm, 43.12%) (Figura 2-2). Comparado con los variedades de papa común, se presentó un mayor porcentaje de gránulos de almidón con mayor tamaño 150 µm (19.86 vs. 11.65%), a excepción de la variedad Mambera (5.66%). De otra parte, se denota un mayor porcentaje de gránulos pequeños (38 µm) para las variedades de papa criolla (7.71 vs 2.49%). Según Hoover (2001), el tamaño de los gránulos de almidón puede variar entre

10 a 110 μm de diámetro. Kaur y col. (2007) indicaron que los gránulos de almidón siguen una distribución normal del tamaño del gránulo, que va desde gránulos que pueden medir desde 5 μm hasta 140 μm , donde la proporción de gránulos pequeños es menor frente a la de gránulos de mayor tamaño.

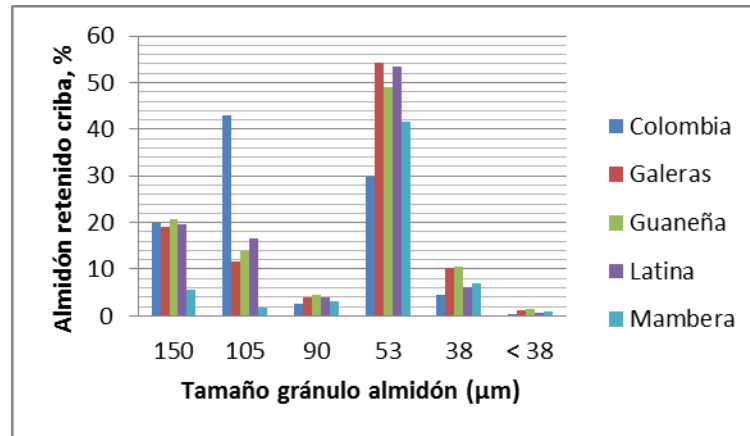


Figura 2-2: Granulometría del almidón extraído de las variedades de papa criolla

Singh y col. (2009) describen dos rangos para delimitar el tamaño de los gránulos de almidón de papa, siendo de 1 a 20 μm para gránulos pequeños y de 20 a 110 μm para los gránulos grandes. A su vez, en el trabajo desarrollado por Lamadrid y col. (2009), los gránulos de almidón fueron clasificados como: pequeño (< 20 μm), mediano (20 a 40 μm), grande (40 a 65 μm) y muy grande (> 60 μm), donde las muestras trabajadas mostraron una amplia distribución dentro de los rangos establecidos, donde cerca del 41% de los gránulos se distribuyeron en grandes y muy grandes, valor promedio que es ampliamente superado en este estudio en el caso de las variedades de papa común y criolla (97.23 y 83.60%, respectivamente), teniendo en cuenta estos mismos rangos de distribución para el tamaño de los gránulos de almidón, donde se presentan variaciones propias para cada muestra. De acuerdo al trabajo de Singh y col. (2006) en el caso de almidón procedente de diferentes variedades de papa de Nueva Zelanda, se observó que para la mayoría de las variedades más del 55.2% de los gránulos de almidón mostraron un tamaño mayor a 25 μm , excepto la variedad Tutaekun (52.8% entre 11 a 25 μm). En estas mismas variedades, menos del 6% de la muestras de almidón fueron catalogadas con un tamaño de gránulo pequeño (1 – 10 μm), valores similares a lo encontrado en este estudio, para las variedades de papa común y criolla (0.39 y 3.99%, respectivamente).

González (2007), observó que el 80.5% de la muestra en la variedad Pastusa fue menor a 105 μm , frente al 66.9% encontrado en el presente estudio. Mientras que para la variedad Suprema, el porcentaje de almidón ubicado entre 105 a 150 μm fue mayor al encontrado en este estudio (63.78 vs 52.01%), con una mayor proporción de almidón por debajo de 105 μm para este estudio (48.15%). En el caso de la variedad Unica y R12, los valores encontrados para los rangos de 150 a 105 μm (68.77 vs 64.39% y 49.00 vs 45.93%) y menor de 105 μm (31.23 vs 35.72% y 51.00 vs 54.53%) fueron similares numéricamente a los reportados por Gonzales (2007), respectivamente. Con respecto a la variedad Colombia, los resultados encontrados en este estudio se diferencian de lo reportado por Mendoza (2009), donde el 64% de los gránulos de almidón mostraron un diámetro entre 10 a 35 μm , con un tamaño promedio de gránulo de $22,60 \pm 15.46 \mu\text{m}$, frente al 95.22% de los gránulos de almidón con un diámetro igual o mayor a 53 μm , encontrado en este estudio.

El tamaño del gránulo de almidón tiene una relación directa con la composición del gránulo y la susceptibilidad a la hidrólisis enzimática de las muestras de almidón obtenidas de las diferentes variedades comerciales. Así, los gránulos de almidón de mayor tamaño presentan menor superficie en relación al volumen, por lo tanto, la capacidad de enlace por parte de las amilasas y en consecuencia su actividad hidrolítica es menor que en los gránulos más pequeños. En el caso de la papa, la digestibilidad del almidón es reducida debido a que los gránulos tiene una estructura predominantemente tipo B y la relación superficie / volumen es menor, debido al gran tamaño de los gránulos de almidón (Martínez Puig, 2006).

2.3.4 Microscopia electrónica de barrido

En la figura 2-3 (2-3A a 2-3F) se pueden observar las micrografías obtenidas en algunas muestras de almidón para algunas variedades comerciales. La forma de los gránulos de almidón vario desde una forma oval a formas irregulares y aún cúbicas en las diferentes variedades y se puede observar una mezcla de gránulos grandes medianos y pequeños, con tamaños que varían entre 10 a 80 μm aprox. De manera general, los almidones pequeños mostraron en su mayoría una forma esférica u ovoide, mientras que los gránulos medianos y grandes fueron de forma elipsoide a cuboide o presentaron formas

irregulares, donde la variación en tamaño y forma dentro de la misma muestra fue mayor, comparado por ejemplo con gránulos de almidón provenientes de cereales como lo muestra Singh y col. (2004) en micrografías de almidón de maíz y algunas variedades de *S. tuberosum* g. *andigena* provenientes de la India. Se puede observar una mayor presencia de gránulos pequeños y medianos en las variedades pertenecientes a *S. tuberosum* g. *phureja*, destacando las variedades Guaneña y Mambera, confirmando de manera visual, lo observado en la granulometría realizada y descrita previamente.

Con referencia a las variedades de *S. tuberosum* g. *andigena* se denota una mayor proporción de gránulos de tamaño grande y mediano frente a las variedades de papa criolla. La superficie de los gránulos se observa lisa y suave, sin la presencia de áreas corrugadas, nódulos, protuberancias o fisuras en los gránulos de almidón de papa. Estas características de la superficie del gránulo pueden afectar la digestión enzimática del mismo (Singh y col., 2010), y en el caso de la papa se relaciona con una mayor resistencia a la hidrólisis enzimática frente a los cereales, como fue observado por Dreher y col. (1984).

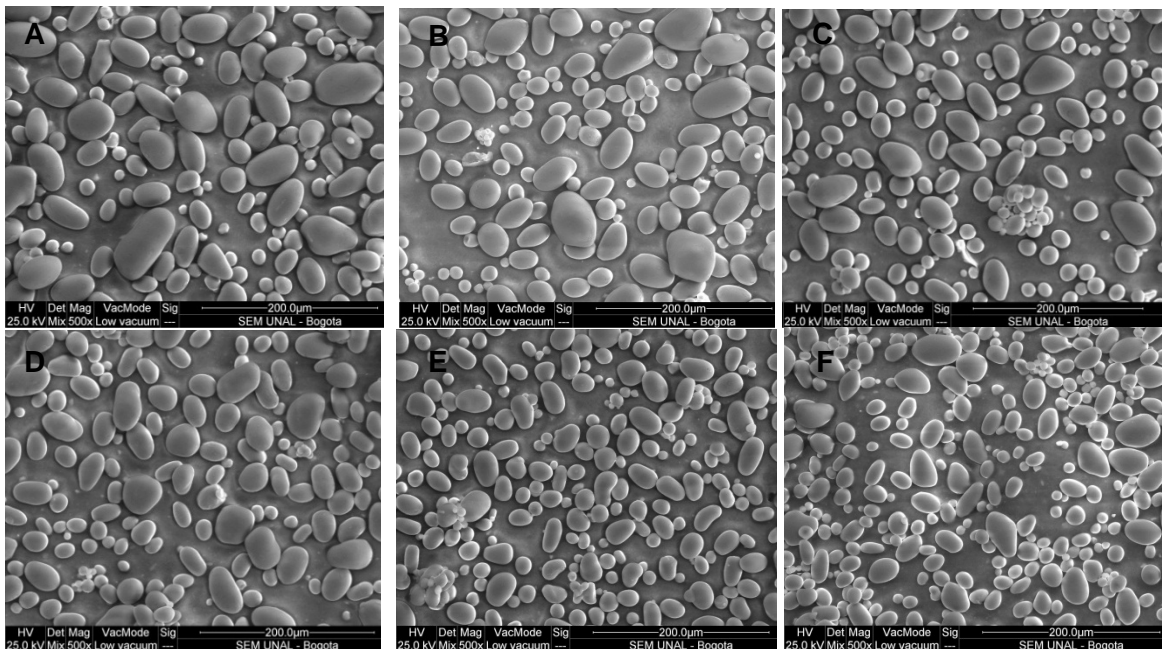


Figura 2-3: Micrografías electrónicas de barrido (SEM) de gránulos de almidón de las variedades: Parda Pastusa (A), R12 (B), Tocarreña (C), Guaneña (D), Colombia (E), Mambera (F).

De acuerdo con Liu y col. (2009) la morfología de los gránulos de almidón varía con el origen biológico las plantas y las prácticas culturales, dependiendo también de la

bioquímica del amiloplasto y la fisiología de la planta (Svegmark y Hermansson, 1993). Por lo tanto, variaciones en la estructura de la amilosa y la amilopectina, así como cantidades relativas de otros polímeros de glucosa que componen el gránulo, participan en el control del tamaño y forma del gránulo. Sumado a cambios en la actividad de enzimas como la almidón sintasa unida al gránulo, que durante el crecimiento del mismo pueden afectar su morfología (Blennow y col. 2002 y Fulton y col. 2002).

2.3.5 Análisis proximal

El análisis proximal de las variedades comerciales y una comparación por especie se muestra en la tabla 2-6. No se encontraron diferencias significativas entre las dos especies, para las variables de materias seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y cenizas. Los valores de MS en las variedades pertenecientes a *S. tuberosum* g. *andigena* se encuentran dentro del rango reportado por Bradshaw y Ramsay en 2009 (15 a 28%). Sin embargo, Burlingame y col. (2009), reportan que en la base de datos desarrollada por la FAO (2009) valores que oscilan entre 13.0 a 37.4% de MS, valores similares (13 a 35%) a los reportados para la Colección Central de Colombia (Moreno, 2003).

En el caso de la variedad Pastusa, Gonzáles (2007) reporto un valor de MS que oscilo entre 22 a 23%, siendo mayor para la muestra del presente estudio, mientras que para la variedad Suprema reporto un valor de 25%, que contrasta con el reportado con Segura y col. (2006) y el Grupo de Investigación en papa (23%), siendo este valor más cercano al encontrado en este estudio. Para la variedad R12, el valor encontrado se ubica dentro de lo reportado por Gonzales (2007) y Segura y col. (2006) (20 a 22% MS), donde Moreno (2003), reporta una menor MS al presentar un menor contenido frente a otras variedades. La variedad Unica, mostro un valor cercano al reportado por Gonzales (2007) entre 21.0 a 21.9%, mientras que Moreno (2003), reporta un menor valor (19%). Para la variedad Tocarreña, el Grupo de Investigación en Papa, reporta un valor mayor ($\geq 23\%$) al reportado en este trabajo.

De manera general, los valores de MS para las variedades de la especie *S. tuberosum* g. *phureja* en este trabajo, se encuentran dentro del rango (20,1 al 21,6%) reportado por Jansen y col. (2001) para *S. phureja*. El Grupo de Investigación en Papa reporto para las variedades Latina, Galeras y Colombia un rango entre 20.2 a 23.0%, valores similares a los encontrados en este trabajo, excepto para la variedad Latina (24.1%), donde Mendoza (2009) reporto 21.0% de MS. Para la variedad Guaneña, el valor observado es cercano al reportado por el mismo grupo (22.56% vs. 23%), pero menor (24.5%) al reportado por Mendoza (2009), que también encontró un valor más alto de MS para la variedad Colombia (24.0%).

Tabla 2-6: Análisis proximal para las variedades comerciales de papas *S. tuberosum* g. *andigena* y *S. tuberosum* g. *phureja* cocidas con cáscara en autoclave

Especie	Variedad	MS	MO	PC	EE	CENIZA
<i>S. tuberosum</i> g. <i>andigena</i>	Pastusa	24,75	21,62	8,36	1,04	3,13
	Tocarreña	21,37	15,64	9,27	0,25	5,73
	Unica	20,29	16,94	6,73	0,17	3,35
	Suprema	22,48	18,55	8,12	0,87	3,93
	R12	20,81	16,01	9,55	0,57	4,8
<i>S. tuberosum</i> g. <i>phureja</i>	Latina	24,12	19,40	7,18	0,78	4,72
	Galeras	22,92	18,47	6,55	0,84	4,45
	Colombia	21,42	16,04	8,94	1,33	5,38
	Guaneña	22,56	17,14	8,13	0,29	5,42
	Mambra	21,37	17,53	8,2	0,18	3,84
Especie						
<i>S. tuberosum</i> g. <i>andigena</i>		21,94	17,75	8,41	0,58	4,19
<i>S. tuberosum</i> g. <i>phureja</i>		22,48	17,71	7,80	0,68	4,76
p-Valor		0,585	0,97	0,379	0,709	0,340
EEM		0,67	0,87	0,46	0,19	0,40

MS: materia seca; PC: proteína cruda; EE: extracto etéreo, Medias con letras diferentes en la misma columna difieren estadísticamente ($P < 0.05$); EEM, error estándar de la media.

De manera general, las variaciones encontradas entre las muestras evaluadas y la literatura pueden estar influenciadas además del método de secado de la muestra (liofilizado vs secado estufa), el cual afecta el valor residual de agua a nivel de partícula en la muestra al final, por los cambios climáticos, tipo de suelo, fertilización, riego, temperaturas diurnas y nocturnas sobre la época del estado de maduración, los cuales pueden modificar los valores de MS encontrados en el tubérculo (Moreno, 2003).

En el caso de la proteína cruda, aun cuando se han reportado a nivel mundial valores entre 2.91 y 19.54% por parte de Lisinska y Leszczynski (1989), las variedades comerciales tanto de *S. tuberosum* g. *andigena* como de *S. tuberosum* g. *phureja* se acercan más a los valores reportados para *S. tuberosum* por Li y col. (2006), los cuales variaron entre 3.37 y 8.34%, aun cuando para las variedades Tocarreña y R12, se observaron valores por encima del 9.0% de proteína cruda, similares a los encontrados por Jiménez y col. (2009) en algunas variedades de papa nativas de Argentina (*S. tuberosum* g. *andigena*, 9.46% de PC). Con referencia al contenido de lípidos, estos son mínimos en la papa, lo cual es común en tubérculos y raíces con altos contenidos de almidón (Hoover, 2001), los valores encontrado para las variedades comerciales se encuentran dentro del rango general (0.08 a 0.84%) reportado por Lisinska y Leszczynski, (1989). Sin embargo, Jiménez y col. (2009) reportaron un valor máximo de 1.89% de extracto etéreo para *S. tuberosum* g. *andigena*, siendo valores por encima del 1.0% a los encontrados para las variedades Pastusa y Colombia en este estudio. El contenido de cenizas mostrado por las variedades comerciales evaluadas, se encuentra dentro de los rangos (1.86 a 7.89%, Lisinska y Leszczynski, 1989), destacando un valor superior al 5.0 % en su orden para las variedades Tocarreña, Guaneña y Colombia, los cuales fueron similares a lo reportado por Casañas y col. (2003) para materiales de *S. tuberosum* g. *andigena* (5.54%). Es importante destacar que a un menor contenido de cenizas, menor será la disponibilidad de minerales (Vasanthan y col. 1999). En términos generales, la información disponible a nivel de análisis proximal para estas variedades comerciales es escasa, donde los referentes de otros países pueden variar por las condiciones propias al cultivo en cadena agroecosistema de producción.

2.3.6 Almidón total, almidón resistente y contenido de fosforo en muestras de papa cocidas

Los valores calculados de almidón total (AT), almidón resistente (AR), almidón resistente como parte del AT (ART), almidón digestible (AD) como parte del AT y el contenido de fósforo (P) para las muestras de papa cocidas con cáscara de las variedades evaluadas y su comparación por especie se observan en la tabla 2-7. No se encontró ninguna diferencia por especie para las variables anteriormente nombradas. El contenido promedio de almidón total fue similar entre las variedades de las especies de *S.*

tuberosum g. *andigena* y *S. tuberosum* g. *phureja*. Las variedades Unica, Suprema y Galeras mostraron valores por encima del 80%, mientras que la variedad Tocarrefia obtuvo el menor valor.

Tabla 2-7: Valores de almidón total, almidón resistente y fósforo en papa con cáscara cocida en autoclave de variedades comerciales de *Solanum tuberosum* g. *andigena* y *Solanum tuberosum* g. *phureja*

Especie	Variedad	AT, %	AR, %	ART,%	AD,%	P, ppm
<i>S. tuberosum</i> g. <i>andigena</i>	Pastusa	78,83	13,21	16.76	83.24	2255
	Tocarrefia	75,91	9,40	12.40	81.60	1671
	Única	81,34	13,25	16.34	83.66	2036
	Suprema	80,77	8,52	10.55	89.45	1253
	R12	76,32	12,91	16.92	83.08	2077
<i>S. tuberosum</i> g. <i>phureja</i>	Latina	77,76	10,84	13.93	86.07	1419
	Galeras	82,31	14,10	17.13	82.87	1306
	Colombia	76,50	12,63	16.51	83.49	1681
	Guanefia	76,68	14,10	18.38	81.62	1677
	Mambera	79,92	13,46	16.85	83.15	1450
Especie						
<i>S. tuberosum</i> g. <i>andigena</i>		78.63	11.46	14.59	85.41	1858
<i>S. tuberosum</i> g. <i>phureja</i>		78.63	13.02	16.56	83.44	1506
p-Valor		0.998	0.227	0,226	0.226	0.107
EEM		1.11	0.85	1.06	1.06	136.87

AT: almidón total; AR: almidón resistente; ART: almidón resistente como % del AT; AD: % Almidón total que es digestible (100-ART); P: fósforo. Medias con letras diferentes en la misma columna difieren estadísticamente ($P < 0.05$); EEM, error estándar de la media.

Con relación al contenido de AT, Bradshaw y Ramsay (2009), reportan valores entre 58.60 a 84.65%, rango en el cual se encuentran las variedades evaluadas. Así mismo, cuatro de las variedades comerciales (Mambera, Galeras, Unica y Suprema) mostraron valores similares a los encontrados en una variedad canadiense analizada por Lu y col en 2011 (79.4%). Con relación a la variedad Colombia, Mendoza (2009) reporto un menor contenido (66.3%) frente al encontrado en este estudio (76.5%). De otra parte, Arguello (2006) encontró un valor de AT de 82.85% para tubérculos frescos de papa criolla (*S. tuberosum* g. *phureja*), valor similar al mostrado por la variedad Galeras (82.31%) en este estudio.

Con relación al contenido de AR, las variedades pertenecientes a *S. tuberosum* g. *phureja*, mostraron numéricamente valores más altos frente a las variedades Tocarrefia y Suprema, siendo el promedio numéricamente mayor frente a *S. tuberosum* g. *andigena* (13.02 vs.11.46%). Cuando se analiza el contenido de AR retrogradado como % del AT,

las variedades Pastusa, Unica y R12 y las variedades pertenecientes a la especie *S. tuberosum* g. *phureja*, a excepción de la variedad Latina mostraron valores por encima del 16%, destacando la variedad Guaneña (18.4%). Los contenidos de almidón resistente (AR) resultan promisorios al compararlos con los resultados de Liu y col. (2007), donde se muestran valores entre 2.5 a 5.9% y los mostrados por Thed y Phillips (1995) que se encuentran entre 2.9 y 9.1%. Igualmente estos valores son dependientes del tratamiento térmico que se utilizó para realizar la cocción de las papas, pero que comparados con los de este estudio (11.5 y 13.0% de AR, para *S. tuberosum* g. *andigena* y *S. tuberosum* g. *phureja*), fueron menores en un 20% y 30%, frente al mayor valor de 9.1%, respectivamente.

Se ha reportado que el almidón de papa crudo es poco digerible, ya que el contenido de almidón rápidamente digerible y lentamente digerible son bajos comparado con el valor de almidón resistente nativo, dado por la estructura granular, la cual es altamente resistente al ataque enzimático (Sajilata y col. 2006). En el caso de este estudio, el efecto de la cocción y el enfriamiento van a disminuir el contenido de almidón rápidamente degradable, incrementando el almidón lentamente degradable (almidón digerido entre 20 a 120 minutos *in vitro*), donde la cantidad de almidón resistente aumenta con el tiempo, dado el proceso de retrogradación (Englyst y col., 1999), lo cual indirectamente se puede ver reflejado en el valor calculado del % de almidón digestible, como parte del almidón total, siendo mayor al 80% en todas las variedades, donde la gelatinización conduce a la destrucción de la estructura proteica y las paredes celulares que encapsulan los gránulos de almidón, llevando a la expansión y destrucción de la estructura nativa, aumentando su susceptibilidad a la degradación enzimática (Holm y Bjorck, 1988).

El rango reportado para el fósforo en la papa oscila entre 1300 y 6000 ppm (Lisinka y Leszczynski, 1989; Randhawa y col., 1984; Sánchez-Castillo y col., 1998). Con relación al contenido de fósforo, se nota una tendencia ($P=0.11$) a presentar un mayor contenido de fósforo las variedades de la especie *S. tuberosum* g. *andigena* frente a las variedades de *S. tuberosum* g. *phureja*, valores que estuvieron entre 1305 y 2225 ppm. Estos valores coinciden con el rango reportado por Bradshaw y Ramsay (2009) en diferentes investigaciones, los cuales variaron entre 1395 y 2778 ppm.

2.3.7 Amilosa, amilopectina y contenido de fósforo en el almidón de papa

Los valores de amilosa, amilopectina y fósforo en las muestras de almidón extraído de las diferentes variedades comerciales fueron significativamente diferentes ($P=0.006$) y se observan en la tabla 8. El valor de amilosa fue mayor ($P<0.05$) para la especie *S. tuberosum* g. *phureja*, frente a *S. tuberosum* g. *andigena*. Estos valores estuvieron dentro del rango señalado por Singh y col. (2003), el cual osciló entre 21.1 a 31.0%, pero menores a los porcentajes reportados por Liu y col. (2007) en variedades de papa Canadienses (29.7 y 33.3%). Por el contrario, Noda y col. (2007), reportaron valores de amilosa más bajos (18.2 a 26.2%) en diferentes muestras de variedades pertenecientes a la especie *S. tuberosum* analizadas en el Japón.

Con relación a la especie *S. tuberosum* g. *phureja*, Jansen y col. (2001) reportan un contenido de amilosa de 32.0% en el almidón. De otra parte, Arguello (2006), encontró un valor de 25.41% para el almidón obtenido de la variedad Colombia a partir de tubérculos frescos y de 27.03% para el almidón obtenido a partir de harina de papa de la misma variedad, valor que se acerca más al resultado encontrado en este estudio; sin embargo, Mendoza (2009), reportó un contenido de amilosa más bajo (23.75%) para esta misma variedad.

Tabla 2-8: Valores de amilosa, amilopectina y fósforo en muestras de almidón provenientes de variedades comerciales de *Solanum tuberosum* g. *andigena* y *Solanum tuberosum* g. *phureja*

Especie	Variedad	Amilosa, %	Amilopectina, %	P, ppm
<i>S. tuberosum</i> g. <i>andigena</i>	Pastusa	23,54	76,46	1500
	Tocarreña	23,03	76,97	1200
	Unica	24,44	75,56	1600
	Suprema	23,03	76,97	1400
	R12	25,25	74,75	1300
<i>S. tuberosum</i> g. <i>phureja</i>	Latina	25,30	74,70	500
	Galeras	29,70	70,30	1200
	Colombia	27,24	72,76	500
	Guaneña	25,39	74,61	1000
	Mambra	29,60	70,40	900
		Especie		
<i>S. tuberosum</i> g. <i>andigena</i>		23.86 ^b	76.14 ^a	1400 ^a
<i>S. tuberosum</i> g. <i>phureja</i>		27.45 ^a	72.55 ^b	820 ^b
p-Valor		0.009	0.009	0.006
EEM		0.75	0.75	110.45

P: Fósforo. Medias con letras diferentes en la misma columna difieren estadísticamente ($P< 0.05$); EEM, error estándar de la media.

Con relación al contenido de amilopectina, este fue mayor para la especie *S. tuberosum* g. *andigena* ($P < 0.05$), frente a la especie *S. tuberosum* g. *phureja* (76.14 vs. 72.55%, respectivamente). Con relación al contenido de Fósforo total, la especie *S. tuberosum* g. *andigena* presenta un mayor contenido frente a la especie *S. tuberosum* g. *phureja* ($P < 0.05$) (1400 vs 820 ppm). En este sentido, Noda y col. (2007) obtuvieron en 535 muestras de almidón procedente de diferentes cultivos de papa (*S. tuberosum* g. *andigena*) procedentes del Japón y otros países, valores en el contenido de fósforo que variaron desde 308 a 1244 ppm, con una media de 766 ppm, donde se ubican los valores obtenidos para las variedades comerciales procedentes de la especie *S. tuberosum* g. *phureja*. De otro lado, menores valores (908 ppm) fueron reportados para el almidón extraído de papa por parte de Singh y col. (2003) y Liu y col. (2007) (460 a 850 ppm) para variedades de papa *S. tuberosum* g. *andigena*

2.3.8 Extracción del almidón de papa

En la tabla 2-9 se muestran los valores obtenidos en la extracción de almidón, los rendimientos obtenidos en el proceso de extracción y el % de recuperación de almidón de acuerdo al almidón esperado por cada una de las variedades dependiendo del % de materia seca (MS) y almidón total (AT) con respecto a la materia inicial (Papa fresca) para cada una de las variedades comerciales pertenecientes a *S. tuberosum* g. *andigena* y *S. tuberosum* g. *phureja* evaluadas.

Comparando los rendimientos obtenidos en esta extracción con resultados reportados por González (2007) se obtuvo numéricamente un mayor rendimiento para las variedades Unica (10.7 vs 8.2%), R12 (11.6 vs 9.0%), Suprema (11.2 vs. 10.7%) y Pastusa (12.4 vs 10.4%). Con relación a la variedad Tocarreña, no se tiene un dato referencia de comparación, siendo la variedad con menor rendimiento dentro de este grupo (10.0%). Con relación a las variedades pertenecientes a *S. tuberosum* g. *phureja*, se observan mayores % de rendimiento en el proceso de extracción frente a las variedades *S. tuberosum* g. *andigena*, encontrándose entre 13.9 a 16.0%, destacándose las variedades Guaneña y Galeras (16.0 y 15.6%, respectivamente), mientras que la variedad Mambra mostro el menor valor dentro de este grupo (11.1%), posiblemente por un mayor tiempo

para el procesamiento de la muestra, ya que el tiempo de llegada al laboratorio fue mayor.

Tabla 2-9: Balance de masas para la obtención de almidón a partir de variedades de papa

Variedad	Papa fresca, g	Piel retirada, g	Papa pelada, g	Almidón seco, g	MS, %	AT, %	Almidón esperado, g	% Recuperación de almidón
<i>S. tuberosum g. andigena</i>								
Única	11800	2800	9000	1257,3	20,3	81,3	1947,5	64,6
%	100	23,7	76,3	10,7				
R12	12400	3286	9115	1436,3	20,8	76,3	1969,4	72,9
%	100	26,5	73,5	11,6				
Pastusa	10200	3000	7200	1264,4	24,8	78,8	1990,1	63,5
%	100	29,4	70,6	12,4				
Tocarreña	10000	1600	8400	996,8	21,4	75,9	1622,2	61,4
%	100	16,0	84,0	10,0				
Suprema	10400	2500	7900	1162,2	22,5	76,3	1784,3	65,1
%	100	24,0	76,0	11,2				
<i>S. tuberosum g. phureja</i>								
Galeras	14144,6	3840,36	10304,24	2210,29	22,9	82,3	2668,4	82,8
%	100	27,2	72,8	15,6				
Colombia	17507,6	5094,6	12413	2496,3	21,4	76,5	2868,8	87,0
%	100	29,1	70,9	14,3				
Latina	26275,1	7794,93	18480,17	3651,2	24,1	77,8	4928,1	74,1
%	100	29,7	70,3	13,9				
Guaneña	20936,8	5069,8	15867	3355,1	22,6	76,7	3621,9	92,6
%	100	24,2	75,8	16,0				
Mambera	3265,3	570,2	2695,1	363,7	21,4	79,9	557,7	65,2
%	100	17,5	82,5	11,1				

MS, materia seca; AT. Almidon total

Con respecto a la variedad Colombia, Mendoza (2009) indica que el máximo rendimiento se acerca a 15.9%, en el caso de este estudio se alcanzó el 89.9% de este valor. De otra parte, los % de recuperación de almidón frente a la cantidad de almidón esperado, fueron mayores para las variedades pertenecientes a *S. tuberosum g. phureja* frente a las variedades *S. tuberosum g. andigena*, destacándose las variedades Guaneña, Colombia y Galeras (92.6, 87.0 y 82.8%, respectivamente), mientras que la variedad R12, fue la única que mostro un valor por encima del 70%.

La literatura reporta que el contenido de almidón varía entre 12.6 a 18.2% en base fresca, tomando un promedio de 21.5% para MS, de tal forma que el valor de AT podría variar entre 58.6 a 84.7% (Singh y Kaur, 2009). En este estudio, los valores de AT estuvieron entre 75.9 y 82.3%, lo cual es dependiente de la variedad, siendo afectado por las condiciones de manejo del cultivo, así como por las condiciones de crecimiento

(Singh y Kaur, 2009); de otro lado, el tiempo que tarda el proceso de extracción desde que el tubérculo es cosechado, afecta la cantidad de almidón a obtener, ya que cuando las condiciones de almacenamiento del tubérculo (temperatura e intensidad lumínica) no son las adecuadas para frenar el rebrote, la degradación del almidón es inminente para sostener energéticamente este proceso.

2.3.9 Retrogradación del almidón de papa

Los valores de almidón resistente (AR) retrogradado, Almidón resistente retrogradado como % del almidón total (ART) y el AR retrogradado generado por el tratamiento térmico para las 10 variedades comerciales de papa se muestra en la tabla 2-10. Con referencia a los valores de AR retrogradado obtenidos mediante el proceso de cocción en autoclave y enfriamiento a 4 °C, los tratamientos térmicos establecidos en términos generales, incrementan numéricamente el porcentaje de AR retrogradado, con excepción de la variedad Mambera, que mostro un valor similar al generado por autoclave. Así, para 6 de los 10 materiales se observa que el tratamiento de 0°C / 32°C, incremento numéricamente más el contenido de almidón AR retrogradado frente al tratamiento 0°C / 100°C.

Tabla 2-10: Valores de almidón resistente (ART) retrogradado como % del almidón total al aplicar dos tratamientos térmicos en variedades comerciales de papa cultivadas en Colombia

Especie	Variedad	AR3, %	AR3, %
		0/32 °C *24h c/u	0/100 °C *24h c/u
<i>S. tuberosum</i> g. <i>andigena</i>	Pastusa	24,82	18,34
	Suprema	22,56	24,16
	Tocarreja	19,95	16,69
	Unica	18,66	----
	R12	21,74	17,70
Promedio		21,55	19,22
<i>S. tuberosum</i> g. <i>phureja</i>	Colombia	23,61	18,63
	Galeras	20,91	21,58
	Guaneña	24,10	19,31
	Latina	23,79	21,25
	Mambera	13,36	19,11
Promedio		21,15	19,98

ART, Almidón resistente retrogradado como % del almidón total

Al comparar el % de AR retrogradado obtenido por el tratamiento térmico por especie, sin tener en cuenta el valor de AR obtenido para la variedad Mambera (13.36%) se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) por efecto de la temperatura sobre la concentración de AR retrogradado en *S. tuberosum* g. *phureja*, siendo mayor para la temperatura de 32 °C, mientras que en el caso de *S. tuberosum* g. *andigena* aun cuando hubo una gran dispersión, la tendencia en la formación de AR retrogradado mostro la misma tendencia. Sin embargo, la interacción especie * temperatura no fue significativa (Figura 2-4).

Los cambios en la digestibilidad del almidón se pueden interpretar como un mejoramiento de las propiedades nutricionales de la papa. El incremento en la concentración de almidón resistente significa que la carga de polisacáridos no-digeribles se incrementa significativamente en el colon, haciendo de este recurso alimenticio una fuente de fibra dietaria con beneficios positivos en humanos y animales. En este estudio, la especie *S. tuberosum* g. *phureja* mostró una mayor relevancia comparada con la *S. tuberosum* g. *andigena* (+ 1.37%) desde el punto de vista de la concentración de AR retrogradado.

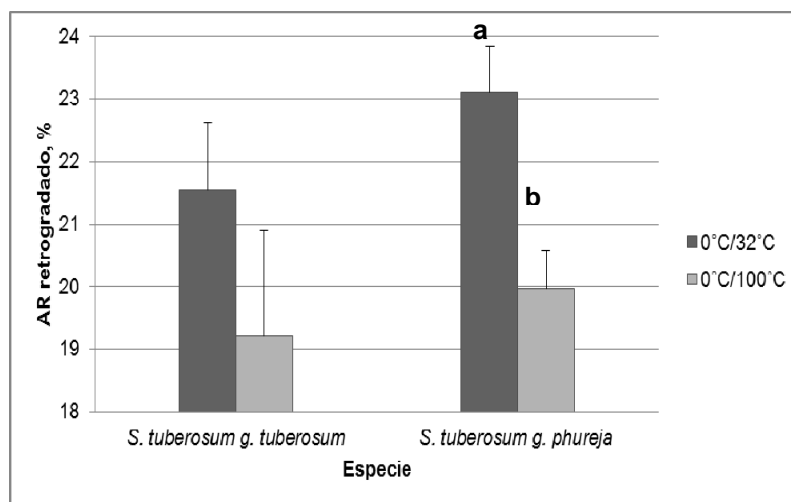


Figura 2-4: Efecto de la temperatura sobre la concentración de AR retrogradado de almidones extraídos de las especies *S. tuberosum* g. *andigena* *S. tuberosum* g. *phureja*.

Toledo (2008) evaluó el efecto de ciclos de enfriamiento -calentamiento sobre el contenido de almidón resistente retrogradado en achira y papa (*S. tuberosum*). Las muestras de almidón en exceso de agua fueron gelatinizadas (91 °C entre 3 a 5 minutos) para luego ser esterilizadas en autoclave (121 °C por 30 minutos) para ser sometidas a ciclos de enfriamiento/calentamiento (3 °C / 37 °C por 24 horas cada uno). En este

estudio se encontró que la muestra gelatinizada y esterilizada en autoclave presentaba un contenido de AR retrogradado de 20.48% y luego de un ciclo de enfriamiento calentamiento, ese valor aumento numéricamente a 22.88%. Con relación a los contenidos de AR retrogradado alcanzados en el presente estudio, para las diferentes variedades comerciales, en ambos tratamientos térmicos, se pueden observar valores similares a los encontrado por Toledo (2008), para las variedades Suprema, R12 y Pastusa en *S. tuberosum* g. *andigena* y todas las variedades de *S. tuberosum* g. *phureja*, a excepción de la variedad Mambera en el tratamiento térmico de 0 / 32 °C, resaltando los valores para las variedades Pastusa (24.82%), Colombia (23.61%), Guaneña (24.10%) y Latina (23.79%).

Los cambios en las digestibilidades de los almidones de papa cocidos señalan nuevas oportunidades para el desarrollo de un rango de productos con amplios atributos funcionales, sobresaliendo en esta caracterización la *S. tuberosum* g. *phureja*, variedad Galeras por su contenido de MS, almidón total, AR retrogradado como porcentaje del almidón total y el almidón digestible. Investigaciones futuras deben ser enfocadas a buscar agregados de los AR retrogradado en estas variedades de papa en términos de polimorfismos tipo B que son más eficientes en el crecimiento de poblaciones benéficas como lo son las bifidobacterias (Lesmes y col., 2008), así como las implicaciones en la prevención del cáncer de colon en humanos y en su uso potencial para su uso en nutrición animal como aditivo funcional.

En las figuras 2-5 (2-5A a 2-5F) y 2-6 (2-6A a 2-6F) se pueden observar las micrografías obtenidas sobre algunas de las muestras de almidón sometidas al proceso de retrogradación en dos diferentes tratamientos térmicos (0°C / 32°C c/u por 24 h.). Todos los almidones retrogradados se asemejan a una masa amorfa de estructura cohesiva, después de haber perdido el aspecto granular propio de almidones nativos que se muestran en la figura 2-3.

Para el caso del tratamiento térmico (0 °C / 100 °C por 24 horas) se observan grandes cambios en esta estructura amorfa en la variedad Colombia comparado con el tratamiento (0 °C / 32 °C por 24 horas), mientras en las variedades Suprema y Pastusa B

se observó una estructura laminar. En general, se observan cambios en la superficie de los gránulos, mostrando en algunos casos protuberancias, lo cual indica un proceso de hidrólisis, conduciendo a una desorganización completa de las regiones cristalinas, llevando al aumento en el contenido de almidón resistente retrogrado en las muestras analizadas como se puede comparar en la tabla 10. Por lo tanto, cuando el almidón es sometido a un tratamiento térmico en exceso de agua, este sufre cambios a nivel estructural, los cuales se relacionan con los procesos de gelatinización y retrogradación, como es el caso de este estudio.

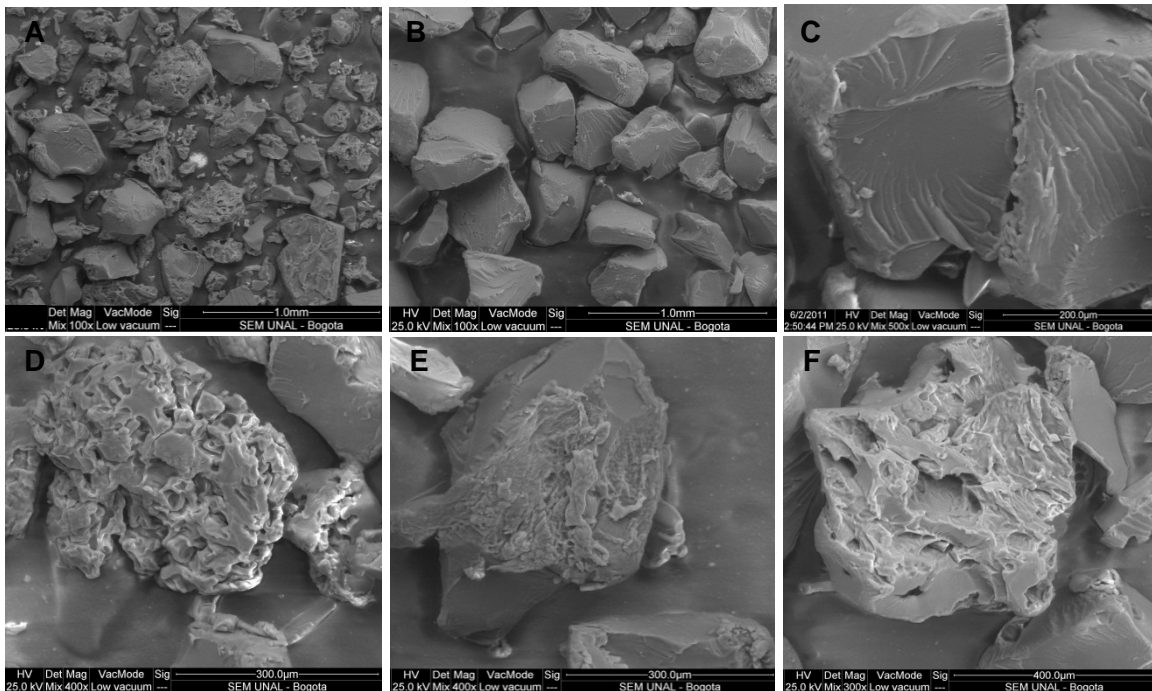


Figura 2-5: Micrografías electrónicas de barrido (SEM) de almidón de las variedades: Suprema (A), Pastusa (B y C), Colombia (D), Guaneña (E) y Mambera (F) sometido a tratamiento térmico (0 °C / 32 °C / u por 24 h)

Las muestras de almidón utilizadas fueron sometidas a un proceso de gelatinización en presencia de agua en una relación de 1:3 (almidón: agua), a una temperatura de 60 °C por 3 minutos y luego a temperatura de ebullición por 15 minutos, simulando la cocción de la papa. Con referencia a la temperatura de gelatinización, Singh y col. (2003) reportaron que la temperatura de gelatinización para el almidón de papa fue de 55.7 °C. Sin embargo, Yusuph y col. (2003) reportaron un intervalo de temperatura entre 59 y 70 °C, aun cuando el valor exacto depende del tipo de muestra y las condiciones experimentales. Bajo las condiciones de este experimento, 60 °C se encuentra dentro del

rango reportado para que las cadenas de polisacáridos pasen a tener una configuración aleatoria, provocando la inflamación y ruptura de los gránulos de almidón (Ziegler y col., 1993 y Singh y col., 2007), generando una transición de fase orden – desorden, asociada con la difusión de agua en el gránulo de almidón, incorporando agua al interior de la región amorfa, hidratando e hinchando el gránulo, llevando a la pérdida de birrefringencia y absorción de calor, para finalmente perder el orden cristalino de la amilopectina, desenrollar y disociar las dobles hélices y promover la solubilización de la amilosa, desplazándola al exterior del gránulo para formar una malla y producir un gel (Atweel y col. 1988; Jenkins y Donald, 1998; Waigh y col., 2000, Singh y col., 2003).

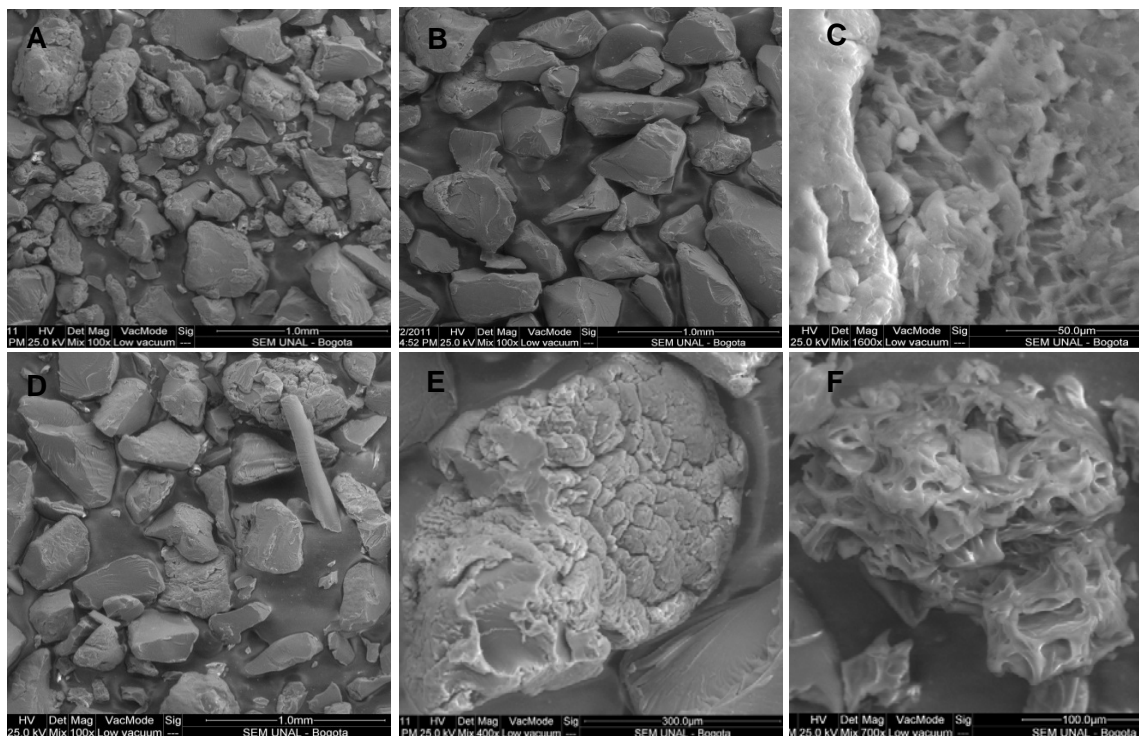


Figura 2-6: Micrografías electrónicas de barrido (SEM) de almidón de las variedades: Suprema (A), Pastusa (B y C), Colombia (D), Guaneña (E) y Mambera (F) sometido a tratamiento térmico (0°C/100°C c/u por 24 h.)

Los tratamientos térmicos empleados (0 °C / 32 °C y 0 °C / 100 °C) en este experimento para la generación de AR retrogradado, junto a los tiempos empleados (24 h, c / u) indican de acuerdo a lo observado en las micrografías, una matriz compacta en la mayoría de las muestras, aun cuando se pueden observar cierto grado de erosión, con la presencia de protuberancias o cavidades sobre la superficie del gránulo como el caso de

la variedades Colombia o Mambera (0 °C / 32 °C) y Guaneña o Tocarreña (0 °C / 100 °C), indicando posiblemente un proceso de hidrólisis sobre la amilosa conducida al exterior del gránulo, con un aumento en la digestibilidad del almidón, similar a lo encontrado por Napaporn y col. (2000) al someter almidón de papa a hidrólisis acida, donde la presencia de una matriz compacta en gran parte de los gránulos, indico el aumento del AR. De acuerdo con Leeman y col. (2006) estos tratamientos térmicos, fueron seleccionados al promover la retrogradación de la amilopectina (4 / 31 0°C) y la amilosa (4 / 100 0°C), llevando a incrementar la cantidad de AR retrogrado, como se observó en este experimento, frente a los valores de AR retrogrado alcanzados al simular la cocción del almidón por medio de autoclave.

Aun cuando no se utilizó la misma temperatura de enfriamiento (4 °C) que Leeman y col. (2006), las micrografías muestran que 0 °C tiene la capacidad de promover la retrogradación de las fracciones de amilopectina y amilosa, para lograr que la amilosa y la amilopectina interactúen en la pasta gelatinizada, para generar una estructura más organizada, dado el aumento en el grado de cristalinidad, la firmeza del gel, la exudación de agua (sinéresis) como se observó en las muestras de almidón utilizadas en el presente estudio, junto a la aparición de acuerdo a la literatura de un patrón tipo B por rayos X (Hoover, 1995; Miles y col., 1985). En el caso Leeman y col. (2006) en almidón de papa y Gonzales-Soto y col. (2004) y Saguilán, (2007), en almidón de plátano, se pudo observar que una temperatura de enfriamiento de 4 °C, sobre gránulos de almidón de papa y plátano sometido a tratamiento térmico o a varios ciclos de autoclave y enfriamiento, muestran una matriz compacta, con algunas protuberancias en el caso del almidón de papa o sin canales ni cavidades en el almidón de plátano, similares a la observadas en las variedades evaluadas del presente estudio utilizando 0 °C como temperatura de enfriamiento, lo cual conlleva en todos los casos al aumento en el contenido de almidón resistente, debido a la reorganización de las cadenas, generadas durante los tratamiento de temperatura-presión y enfriamiento.

Igualmente, la retrogradación es un proceso complejo, que depende de factores como: tipo de almidón, concentración del almidón, régimen de calentamiento y enfriamiento, pH, y presencia de solutos tales como lípidos, sales y azúcares (Swinkels, 1985). Donde la agregación y recristalización de la amilosa puede ser completa dentro de las primeras

horas, frente a la amilopectina, cuya cristalización se produce en etapas posteriores, durante el periodo de almacenamiento refrigerado (Singh y col., 2006 y 2008).

2.3.10 Selección de dos variedades de papa

Con la información referente al contenido de almidón total de cada variedad, el % de AR retrogradado generado por el tratamiento térmico de (0 / 32 °C * 24 h c/u), el rendimiento obtenido en la extracción del almidón y el % de materia seca, utilizando el software libre en la Web Expert Choice ® en el cual se definió como objetivo la selección de la mejor variedad por cada especie para la producción del AR retrogradado, mediante la implementación de un orden jerárquico expresado a través de un árbol de decisiones, donde el objetivo fue el nivel cero y las características enunciadas anteriormente estuvieron el nivel 1 del árbol. Se plantearon dos procedimientos, el primero juzgó la importancia relativa de las características frente al objetivo o nodo superior de la jerarquización, asignando un peso % para cada variable de acuerdo a este grado de relevancia y luego se realizó un juzgamiento de la preferencia relativa de las variedades de papa, con respecto a cada uno de las características en el nivel 1 del árbol de decisiones. En la tabla 2-11 se muestran los puntajes obtenidos para cada una de las variedades comerciales.

Tabla 2-11: Puntaje utilizado para la selección de las variedades comerciales con mayor potencialidad para generación de AR retrogradado

Variedad	Grupo	Características a evaluar, %				Peso variable, %				Ponderante Jerarquización				Valor
		ATHP	ARTT	Rend.	MS	ATHP	ARTT	Rend.	MS	ATHP	ARTT	Rend.	MS	
Pastusa	<i>andigena</i>	78,83	24,82	12,40	24,75	30,0	50,0	15,0	5,0	0,102	0,413	0,445	0,395	0,335
Unica	<i>andigena</i>	81,34	18,66	10,70	20,29	30,0	50,0	15,0	5,0	0,506	0,233	0,132	0,106	0,282
Suprema	<i>andigena</i>	80,77	22,56	11,20	22,48	30,0	50,0	15,0	5,0	0,254	0,074	0,075	0,220	0,130
Tocarreja	<i>andigena</i>	75,91	19,95	10,00	21,37	30,0	50,0	15,0	5,0	0,087	0,040	0,250	0,154	0,090
R12	<i>andigena</i>	76,32	21,74	11,60	20,81	30,0	50,0	15,0	5,0	0,051	0,240	0,098	0,125	0,163
Latina	<i>phureja</i>	77,76	23,79	13,90	24,12	30,0	50,0	15,0	5,0	0,143	0,372	0,250	0,317	0,286
Guaneña	<i>phureja</i>	76,68	24,10	16,00	22,56	30,0	50,0	15,0	5,0	0,074	0,375	0,227	0,213	0,260
Galeras	<i>phureja</i>	82,31	20,91	15,60	22,92	30,0	50,0	15,0	5,0	0,439	0,045	0,218	0,237	0,190
Colombia	<i>phureja</i>	76,50	23,61	14,30	21,42	30,0	50,0	15,0	5,0	0,062	0,054	0,249	0,120	0,102
Mambera	<i>phureja</i>	79,92	13,36	11,10	21,37	30,0	50,0	15,0	5,0	0,282	0,154	0,057	0,113	0,162

ATHP: almidón total harina papa; ARTT: almidón resistente retrogradado tratamiento térmico (0/32°C * 24 h c/u); Rend.: Rendimiento y MS: materia seca

En el caso de la especie *S. tuberosum* g. *andigena*, la variedad Pastusa (0.335) fue la primera opción, siendo la segunda opción la variedad Unica con 0.282. En el caso de la especie *S. tuberosum* g. *phureja*, las variedades Latina (0.286) y Guaneña (0.260), mostraron la mayor potencialidad para la generación de AR retrogradado.

2.4 Conclusiones

Con las características físicas y químicas permiten junto con la valoración de resistencia al corte y al punzonamiento generar indicadores importantes para la selección, manejo y procesamiento de los materiales seleccionados a nivel industrial.

El granulometría observada para los diferentes grupos (*tuberosum* y *phureja*) mostró que una mayor proporción de los gránulos de almidón en *phureja* poseen un menor tamaño (μm) frente a *tuberosum*, lo cual puede afectar el proceso de retrogradación dada la superficie del gránulo que está expuesta durante el proceso

En el caso de *Solanum tuberosum* grupo *tuberosum* y *Solanum tuberosum* grupo *phureja* y específicamente las variedades Guaneña y Pastusa, el tratamiento térmico 0°C / 32°C, mostro los mejores incrementos para aumentar la concentración de AR3.

Los valores de almidón total, almidón resistente retrogradado, rendimiento en la extracción de almidón y el % de materia seca, fueron las bases en este estudio para la selección de la variedad de papa. Sin embargo, otras características como el % de fósforo o algunas condiciones reológicas propias del almidón, pueden junto con esta herramienta informática (Expert Choice ®) permitir una mayor objetividad en la selección.

2.5 Bibliografía

- Andersson, A. Gekas, V. Lind, I. Oliveira, F. Öste, R. 1994. Effect of preheating on potato texture. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 34:229-251.
- Andrade, H. B. 1997. Requerimientos cualitativos para la industrialización de la papa. *Revista INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias-Ecuador)* 9:21-23.
- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.

AOAC.1998. Official Method 996.11: Starch (Total) in Cereal Products - Amyloglucosidase- α -Amylase Method. First Action 1996 AOAC-AACC Method, 32.2.05^a. In Journal of AOAC International, Int. 80, 571(1997).

Arguello, M. P. 2006. Extracción y caracterización del almidón de papa criolla. Tesis Especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, 44p.

Atwell, W. A. Hood, L. Lineback, D. Varriano-Marston, E. and Zohel, H. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch phenomenon. Cereal Foods World, 33, 306–311.

Berry, C. S.1986.Resistant starch: formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amyolytic enzymes during the determination of dietary fibre.Journal of Cereal Science 4:301-314

Blennow, A. Engelsen, S. B. Nielsen, T. H. Baunsgaard, L. and Mikkelsen, R. 2002. Starch phosphorylation: A new front line in starch research. Trends in Plant Science, 17, 445–450.

Bradshaw, J.E. and Ramsay, G. 2009. Potato Origin and Production. In: Singh, J. and Kaur, L. 2009. Advances in potato chemistry and Technology. Academic press, Elsevier, First Edition, pp 509.

Bu-Contreras, R. Rao, M.A. 2002. Review: Dynamic rheological behaviour of heated potatoes. Food Science and Technology International 8:3-10.

Buitrago, G. V. López, A. P. Coronado, A. P. y Osorno, F.L. 2004. Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia. Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.8 no.1.

Burlingame, B. Mouillé, B. and Charrondiére, R. 2009. Review: Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes.Journal of Food Composition and Analysis 22:494–502.

Casañas, R. C. Suárez, H. P. Rodriguez, R. E. M. Darias, M. J. and Díaz, R. C. 2003. Mineral concentrations in cultivars of potatoes. Food Chem., 83, 247–253.

Centro Internacional de la Papa (CIP). 1992. Annual report 1992- Program 6- postharvest management, marketing. Lima, Perú. p. 125-150.

Chrastil, J. 1987. Improver colorimetric determination of amylose in starches or flours. *Carbohydrate Research*. 159:154-158.

Dreher, M. L. Berry, J. W. and Dreher, C. J. 1984. Starch digestibility of foods – A nutritional perspective. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 20, 47–71.

Egusquiza, B.R. 2000. La papa: producción, transformación, comercialización. Cimagraf. SRL. Perú.

Englyst, H. N. Kingman, S. M. and Cummings, J. H. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. European Journal of Clinical Nutrition, 46(Suppl. 2), S33–S50.

Englyst, K. N. Englyst, H. N. Hudson, G. J. Cole, T. J. and Cummings, J. H. 1999. Rapidly available glucose in foods: an in vitro measurement that reflects the glycemic response. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69, 448–454.

Englyst, K. N. Liu, S. Englyst, H. N. 2007. Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. *Eur. J. Clin. Nutr.* 61, 19–39.

Espinal, C. F. Martínez, H. J. Pinzón, N. R y Barrios, C. A. 2005. La cadena de la papa en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005 Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia. Documento de trabajo No. 54.

FAO, 2009. Food composition database of potato varieties (http://www.fao.org/infoods/index_en.stm).

Fedepapa. 1996. Vademécum del cultivo de la papa. Generalidades sobre el cultivo y guía técnica sobre insumos. 1 edición. Ed. Grafemas Ltda.

Freeman, M. Jarvis, M. C. Duncan, H. J. 1992. The textural analysis of cooked potato. 3. Simple methods for determining texture. *Potato Research* 35:103-109.

Fulton, C. D. Edwards, A. Pilling, E. Robinson, H. L. Fahy, B. Seale, R. et al. 2002. Role of granule-bound starch synthase in determination of amylopectin structure and starch granule morphology in potato. *Journal of Biological Chemistry*, 277, 10834–10841.

Gómez, R. 2000. Guía para las Caracterizaciones Morfológicas Básicas en Colecciones de Papas Nativas. Depto. de Mejoramiento y Recursos Genéticos – Centro Internacional de la Papa. En: <http://www.neiker.net/neiker/papasalud/Materials/INIAP%20Caracterizacion%20Morfologica%20PapasOK.pdf>

Goñi, I. Garcia-Diaz, L. Mañas, E. and Saura-Calixto, F. 1996. Analysis of resistant starch: A method for foods and food products. *Food Chem.* 56:445-449.

González, B. W. O. 2007. Determinación de las características físico químicas y funcionales del almidón de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) cultivadas en la Sábana de Bogotá para uso en alimentación humana. Tesis pregrado para optar por el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía,

González-Soto, R. A. Agama-Acevedo, E. Solorza-Feria, J. Rendón-Villalobos, R. Bello-Pérez, L. A. 2004. Resistant Starch Made from Banana Starch by Autoclaving and Debranching. *Starch/Starke*. 56: 495-499.

Grupo de investigación en papa. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. <http://papaunc.com/catalogo.shtml>. Consultado Noviembre de 2011.

Holm, J. Björck, I. 1988. Effects of thermal processing of wheat on starch. II. Enzymic availability. *J. Cereal Sci.* 8, 261–268.

Hoover, R. (1995). Starch retrogradation. *Food Research International*, 11, 331–346.

Hoover, R. 2001. Composition, molecular structure, and physico-chemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydr. Polym.*, 45, 253–267.

IFPRI. 2002. Visión 2020. Raíces y tubérculos para el siglo XXI: tendencias, proyecciones y opciones.

Jansen, G. Flamme, W. Schüller, K. and Vandrey, M. 2001. Tuber and starch quality of wild and cultivated potato species and cultivars. *Potato Research*. 44: 137-146.

Jenkins, P. J. and Donald, A. M. 1998. Gelatinization of starch: A combined SAXS/WAXS/DSC/SANS study. *Carbohydrate Research*, 308, 133–147.

Jiménez, M. E. Rossi, A. M. Sammán, N. C. 2009. Phenotypic, agronomic, nutritional characteristics of seven varieties of Andean potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 22, 613–616.

Kaur, L. Singh, J. McCarthy, O. J. and Singh, H. 2007. Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. *Journal of Food Engineering* 82: 383–394.

Lamadrid, A. L. Bernal, G. L. A. Morales, M. M. G. 2009. Capacidad de adhesión y fermentación a gránulos de almidón de papa por bacterias ácido lácticas silvestres para evaluar su actividad como prebiótico. *Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle*, Vol. 8, Núm. 31, pp. 5-21.

Lara, M. C. C. 2008. Evaluación de las propiedades físico - química y sensoriales de la patata para fritura. Master en seguridad y biotecnología alimentaria. Universidad de Burgos, 25pp. http://dspace.ubu.es:8080/trabajosacademicos/bitstream/10259.1/27/1/Cas_tro_Lara.pdf
Consultado Enero de 2012

Leeman, A. M. Karlsson, M. Eliasson, A. and Björck, I. 2006. Resistant starch formation in temperature treated potato starches varying in amylose/amylopectin ratio. *Carbohydrate Polymers*, v.65, p.306–313.

Lesmes, U. Beards, E. J. Gibson, G. R. Tuohy, K. M, and Shimoni, E. 2008. Effects of resistant starch type III polymorphs on human colon microbiota and short chain fatty acids in human gut models. *J Agric Food Chem* 56:5415–5421

Li, X. Q. Scanlon, M. G. Liu, Q. and Coleman, W. K. 2006. Processing and Value Addition. In: J. Gopal, S. M. P. Khurana (Eds.), *Handbook of Potato Production, Improvement, and Postharvest Management* (pp. 523–555). Food Products Press, New York.

Lisinska, G. and Leszczynski, W. 1989. *Potato Science and Technology*. Elsevier Applied Science, London, UK, pp. 16–43, 166–233.

Liu, Q. Donner, E. Tarn, R. Singh, J. and Chung H. 2009. Chapter 8: Advanced Analytical Techniques to Evaluate the Quality of Potato and Potato Starch. In: Singh, J. and Kaur, L. 2009. *Advances in potato chemistry and technology*. Academic press, Elsevier inc. 508 p.

Liu, Q. Tarn, R. Lynch, D. and Skjodt, N. 2007. Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. *Food Chemistry* 105: 897–907.

Martínez-Puig, D. 2006. Implicaciones digestivas y metabólicas del consumo de almidón resistente en el cerdo. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.

Mendoza, R. M. 2009. PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN A PARTIR DE PAPA CRIOLLA (*Solanum phureja*). Tesis Especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, 51p.

Miles, M. J. Morris, V. J. Orford, P. D. and Ring, S. G. 1985. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrate Research*, 35, 271–278.

Moreira, R. y Garayo, J. 2002. "Vacuum frying of potato chips". *Journal of Food Engineering* 55, 181-191.

Moreno, J. D. 2003. Calidad de la papa para usos industriales. Programa Regional Agrícola. CORPOICA. C.I Tibaitatá. En:<http://www.todopapa.com.ar/pdf/calidadpapa.paparausosindustriales.pdf>

Napaporn, A. Sujin, S. Saiyavit. 2000. Morphological properties of acid modified tapioca starch. *Starch/Starke*. 52, 283-289.

Noda, T. Kottearachchi, N. S. Tsuda, S. Mori, M. Takigawa, S. Matsuura-Endo, C. et al. 2007. Starch phosphorus content in potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars and its effect on other starch properties. *Carbohydrate Polymers*, 68,793–796.

Pritchard, M. K. Adam, L. R. 1994. Relationship between fry color and sugar concentration in stored Russet, Burbank and Shepody potatoes. *American Potato Journal* 71:59-66.

Randhawa, K. S. Sandhu, K. S. Kaur, G. and Singh, D. 1984. Studies of the evaluation of different genotypes of potato (*Solanum tuberosum* L.) for yield and mineral contents. *Qual. Plant.*, 34, 239–242.

Saguilán, A. A. 2007. Obtención de almidón resistente por tratamiento en autoclave a partir de almidón de plátano modificado: caracterización fisicoquímica, morfológica y estructural. Tesis PhD. Departamento de Desarrollo tecnológico, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional. 132 pp.

Sajilata, M. G. Rekha, S. and Pushpa, R. 2006. Resistant starch-A review. *Comprehensive Reviews in food science and food safety*. 5:1-17.

Sánchez-Castillo, C. P. Dewey, P. J. S. Aguirre, A. Lara, J. J. Vaca, R. de la Barra, P. L. Ortiz, M. Escamilla, I. and James, W. P. T. 1998. The minerals of Mexican fruits and vegetables. *J. Food Composition and Analysis*, 11, 340–356.

SAS 9.2. 2007. Statistical Analysis System Institute Inc. SAS/STAT. Version 9. Cary. NC. Users guide statical análisis system. Institute, Inc. Cory, W.C.

Segura, A. Santos, M. C. Núñez, C. E. 2006. Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca). *Fitotecnia Colombiana* 6(2):33-43.

Severini, C. Baiano, A. Pilli T. Carbone, B. and Derossi, A. 2005. Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes. *Journal of Food Engineering* 68:289–296.

Sievert, D. and Pomeranz, Y. 1989. Enzyme-resistant starch. I. Characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical, and microscopic methods. *Cereal Chemistry*, 66, 342–347.

Singh, J. and Kaur, L. 2009. *Advances in potato chemistry and Technology*. Academic press, Elsevier, First Edition, pp 509.

Singh, J. Dartois, A. and Kaur, L. 2010. Starch digestibility in food matrix: a review. *Trends in Food Science & Technology* 21:168-180

Singh, J. Kaur, L. and McCarthy, O. 2009. Chapter 10: Potato Starch and its Modification. In: Singh, J. and Kaur, L. 2009. Advances in potato chemistry and technology. Academic press, Elsevier inc. 508 p.

Singh, J. Kaur, L. and Singh, N. 2004. Effect of Acetylation on Some Properties of Corn and Potato Starches. *Starch/Stärke* 56:586–601.

Singh, J. McCarthy, O. J. and Singh, H. 2006. Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. *Carbohydr. Polym.*, 64, 569–581.

Singh, J. McCarthy, O. J. Singh, H. and Moughan, P. J. 2008. Low temperature post-harvest storage of New Zealand Taewa (Maori potato): Effects on starch physico-chemical and functional characteristics. *Food Chem.*, 106, 583–596.

Singh, J. Kaur, L. and McCarthy, O. J. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications – A review. *Food Hydrocolloids*, 21, 1–22.

Singh, N. Singh, J. Kaur, L. Sodhi, N. S. and Gill, B. S. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources: A Review. *Food Chem.*, 81, 219–231.

Smith, O. 1975. Potato chips. In *Potato Processing* (W.F. Talburt and O. Smith, eds.) pp. 305–402, The AVI Publishing Company, Inc., Westport, CT.

Svegmark, K. and Hermansson, A. M. 1993. Microstructure and rheological properties of composites of potato starch granules and amylose: a comparison of observed and predicted structure. *Food Structure*, 12, 181–193.

Swinkels, J. J. M. 1985. Composition and properties of commercial native starches. *Starch/Starke*. 37, 1-4.

Theed, S. T. Phillips, R.D. 1995. Changes of dietary fiber and starch composition of processed potato products during domestic cooking. *Food Chem* 52: 301–304.

Toledo, K. A. L. 2008. Efecto de varios ciclos de enfriamiento/calentamiento en el contenido de almidón resistente tipo III en almidones de achira (*Canna edulis Ker*) y papa (*Solanum tuberosum*). Tesis pregrado, Universidad San Francisco de Quito Colegio de Agricultura, Alimentos y Nutrición. 39 pp.

Tufvesson, F. Skrabanja, V. Björck, I. Elmståhl, H. L. and Eliasson, A. C. 2001. Digestibility of starch systems containing amylose–glycerol monopalmitin complexes. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie-Food Science and Technology*, 34(3), 131–139.

Vasanthan T, Bergthaller W, Driedger D, Yeung J and Sporns P. 1999. Starch from Alberta potatoes: wet-isolation and some physicochemical properties', *Food Res.Int.*, 32, 355-365.

Waigh, T. A. Gidley, M. J. Komanshek, B. U. & Donald, A. M. 2000. The phase transformations in starch during gelatinization: a liquid crystalline approach. *Carbohydrate Research*, 328, 165–176.

Yusuph, M. Tester, R. F. Ansell, R. and Snape, C. E. 2003. Composition and properties of starches extracted from tubers of different potato varieties grown under the same environmental conditions. *Food Chem.*, 82, 283–289.

Ziegler, G. R. Thompson, D. B. Casasnovas, J. 1993. Dynamic measurement of starch granule swelling during gelatinization. *Cereal Chem.* 70, 247–251.

3. Influencia del AR retrogradado de papa sobre el desempeño productivo, balance nutricional y perfil lipídico de pollos de engorde en etapa de crecimiento

3.1 Introducción

El cultivo de la papa posee una gran relevancia en la seguridad alimentaria mundial al ser el tercer tubérculo más consumido (FAO, 2008). La mayor diversidad de especies de papa se localiza en los Andes Suramericanos (CIP, 2008) y países como Colombia y Perú son privilegiados al poseer una gran proporción de esta biodiversidad. El año 2008 fue declarado como “El año internacional de la papa”, recibiendo un reconocimiento por su papel en la alimentación humana y la seguridad alimentaria, situación que permitió recopilar información valiosa sobre el tubérculo (FAO, 2008a).

El descubrimiento que una pequeña proporción del almidón presente en algunos recursos alimenticios fue resistente a la alfa - amilasa en estudios *in vitro* permitió promocionar una serie de investigaciones relacionadas con la digestibilidad de diferentes formas de almidón *in vivo*. El almidón resistente es un almidón que no es digerido por las enzimas digestivas y que alcanza el colón, actuando de manera similar a la fibra. En la mayoría de las dietas para aves, los contenidos de pared celular de los recursos son la mayor fuente de polisacáridos indigestibles; sin embargo, los recursos alimenticios vegetales contienen otras sustancias que son indigestibles, las cuales incluyen carbohidratos como los almidones que son contenidos dentro de la estructura celular, con especiales características cristalinas, que como se indicó resisten la hidrólisis enzimática.

De otra parte, la mayoría de recursos alimenticios altos en carbohidratos como los cereales, raíces y tubérculos cuando son procesados por tratamientos térmicos en

condiciones de humedad y luego son enfriados contienen amilosa retrogradada, los cuales forman también un material cristalino insoluble. La resistencia de esta tipología de almidones se agrupa bajo la denominación de almidones resistentes, que hace referencia a la resistencia a la hidrólisis bajo condiciones fisiológicas (Englyst y col., 1992). En este sentido, los gránulos de almidón resistente nativo de la papa cruda y el almidón retrogradado a partir de proceso térmico, físico o su combinación fueron clasificados como almidón resistente tipo 2 (AR2) y tipo 3 (AR3), respectivamente (Englyst y col., 1992). Es importante distinguir entre el almidón que es químicamente resistente (hidrólisis *in vitro*) y el almidón fisiológicamente resistente, como aquel que pasa a través del intestino delgado sin degradarse y alcanza el intestino grueso (Martínez-Puig, 2006).

El objetivo de este estudio fue aportar al conocimiento, utilidad y funcionalidad de la papa dentro de la alimentación animal y humana con la evaluación del efecto del almidón resistente (AR) retrogradado de dos variedades comerciales de papa cultivadas en Colombia, Pastusa (*Solanum tuberosum* grupo *andigena*) y Guaneña (*Solanum tuberosum* grupo *phureja*) sobre el desempeño productivo, digestibilidad de nutrientes, balance energético y perfil lipídico de pollos de engorde hasta el día 25 de edad.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Bioensayo con pollos de engorde

Comité de Bioética Animal. El estudio fue sujeto a evaluación y aprobación para su realización por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, Acta No. 002 de 2009.

Localización. Este estudio se realizó en las instalaciones avícolas de la Corporación Agropecuaria Colombiana Corpoica – CI – Tibaitata, ubicado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca). Este centro se localiza a 2650 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 14 °C y humedad relativa promedio de 76%.

Animales y alojamiento. Se utilizaron 600 pollos de un día de edad de la línea Ross provenientes de un mismo lote, asegurando condiciones similares de manejo y ambientales. Se alojaron 12 aves por corral, manejando 5 corrales por tratamiento experimental (5 réplicas) en baterías experimentales de 5 pisos y dos corrales por piso, cada una dotada de un sistema de calefacción, comedero lateral de canal y bebedero automático de nipple. La temperatura inicial de recepción fue de 35 °C y fue disminuyendo gradualmente cada semana hasta alcanzar un promedio de 18 °C. Se manejó iluminación continua durante la primera semana de vida y 16 horas a partir del día ocho de edad. Las aves tuvieron acceso libre al agua de bebida y al alimento durante la totalidad del experimento. Se vacunó al día uno contra Viruela Aviar (vía alar) y a los 10 días de edad contra New Castle (vía ocular).

Tratamientos experimentales. Las aves fueron distribuidas de manera aleatoria en 10 tratamientos, suministrando una dieta de iniciación tipo comercial para todo el periodo experimental de acuerdo a los requerimientos nutricionales definidos para esta fase en las Tablas Brasileñas de Alimentación (Rostagno, 2005). Se realizó un análisis proximal de las materias primas para realizar la formulación acorde a los protocolos propuestos por la AOAC (2000), evaluando los siguientes parámetros: humedad, proteína cruda, cenizas y energía bruta y se determinó el contenido de almidón total (AOAC, 1998) y almidón resistente (Goñi y col., 1996). Las dietas fueron isocalóricas e isoproteicas, manteniendo niveles similares de calcio y fósforo, balance electrolítico y una inclusión de almidón resistente tipo 1 similar para todos los tratamientos experimentales. La obtención de los AR retrogrado de papa común y criolla se describen en el capítulo 2. Los manano oligosacáridos correspondieron al producto comercial Safmannan® (LFA, Francia).

Estas dietas experimentales fueron suministradas a partir del día 5 hasta el 25 de edad, incorporando óxido de cromo como marcador inerte a partir del día 19 de edad (Tabla 3-1). Las aves fueron pesadas con la ayuda de balanza electrónica (exactitud de 0.05 g), los días 5, 12, 19 y 25 de edad, simultáneamente se registró el consumo de alimento cada comedero para calcular por diferencia el consumo de cada corral y se registró la mortalidad diaria para cada tratamiento. Los tratamientos experimentales utilizados fueron:

1. Control sin suplementar
2. Nivel alto de Manano oligosacáridos (MOS)

80 Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (*Solanum tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable, e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde

3. Nivel medio de Manano oligosacáridos (MOS)
4. Nivel bajo de Manano oligosacáridos (MOS)
5. Nivel alto de concentración de AR3 de papa Pastusa (AR3 Pastusa)
6. Nivel medio de concentración de AR3 de papa Pastusa (AR3 Pastusa)
7. Nivel bajo de concentración de AR3 de papa Pastusa (AR3 Pastusa)
8. Nivel alto de concentración de AR3 de papa Guaneña (AR3 Guaneña)
9. Nivel medio de concentración de AR3 de papa Guaneña (AR3 Guaneña)
10. Nivel bajo de concentración de AR3 de papa Guaneña (AR3 Guaneña)

Tabla 3-1: Dietas experimentales utilizadas en el bioensayo del día 5 al 25 de edad

Dietas experimentales										
Ingredientes	Control	MOS0,5	MOS1,0	MOS1,5	AR3G0,5	AR3G1,0	AR3G1,5	AR3P0,5	AR3P1,0	AR3P1,5
Maíz	42,24	42,57	42,52	42,42	42,59	42,50	42,39	0,42,59	42,51	42,40
Glucosa	8,33	8,40	7,73	6,94	6,27	3,36	0,37	6,16	3,14	0,05
Harina arroz	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Salvado trigo	1,49	0,19			0,10			0,11		
Soya extruida			1,76	3,83		2,04	4,26		2,02	4,22
Torta soya-49	31,42	31,82	30,46	28,79	31,85	30,23	28,45	31,84	30,25	28,48
H. pescado	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Aceite soya	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Fosfato mono	1,26	1,27	1,26	1,25	1,27	1,26	1,25	1,27	1,25	1,25
Carbonato de ca	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Sal	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Bicarbo. de Na	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
DL-Metionina	0,18	0,18	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19
L-Lisina HCl	0,18	0,17	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18
L-Treonina	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Cl. Colina 60%	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Premex vit-min	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
MOS		0,50	1,00	1,50						
AR3G					2,67	5,34	8,01			
AR3P								2,78	5,56	8,33
Análisis de nutrientes (calculado)										
EM (Mcal/Kg)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Proteína (%)	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50
AR tipo1	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08
AR3					0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
Calcio	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
P-disponible	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Bal. electrolítico	258,42	257,13	256,70	258,42	257,04	256,76	256,56	257,00	256,70	256,56
Lisina digestible	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20

MOS, Manano oligosacáridos; AR3G, almidón resistente retrogradado de papa Guaneña; AR3P, almidón resistente retrogradado de papa Pastusa; El óxido de cromo se añadió a las dietas como un marcador externo en una concentración de 0.5% a expensas del maíz.

3.2.2 Digestibilidad ileal y fecal de nutrientes y valor de energía metabolizable

Se evaluó el efecto del AR3 de papa Guaneña y Pastusa sobre la digestibilidad de la materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína cruda (PC), igualmente se calculó el valor de energía metabolizable aparente (EMA) y energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno (EMAn), metabolibilidad y balance de nitrógeno a nivel ileal y fecal. Para los análisis a nivel ileal, al día 25 de edad se seleccionaran aleatoriamente 3 aves por corral, sacrificadas por dislocación cervical (Clifford, 1984) y posteriormente diseccionadas. Se extrajo el íleon (Sección del intestino delgado entre el divertículo de Meckel y la unión ileo - cecal), ligando los extremos con un hilo de algodón para ser posteriormente cortadas y vaciado el contenido de tres aves por replica (5 réplicas) en una bolsa de plástico, para luego ser liofilizado. En el caso de los análisis a nivel fecal, del día 23 al 25 de edad se colectaron muestras de excretas de cada corral, las cuales se limpiaron manualmente para eliminar cualquier fuente de contaminación (plumones, plumas, descamaciones, comida). Las muestras fueron posteriormente secadas en una estufa con flujo de aire forzado por 72 horas a una temperatura de 50 °C, molidas a un tamaño de 1 mm Ø y agrupadas por cada réplica, definiendo los coeficientes de digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y el nitrógeno y los valores de energía metabolizable de las dietas experimentales.

Para calcular los coeficientes de digestibilidad aparente ileal de los nutrientes y energía se utilizó la siguiente ecuación (Cuevas y col., 2006):

$$DAn = 100 - (100 * ((n) digesta * (Cr) dieta / (n) dieta * (Cr) digesta))$$

Dónde: DAn es la digestibilidad aparente de cada uno de los nutrientes (%); (n) digesta es la concentración del nutriente en el contenido ileal; (n) dieta es la concentración del nutriente en la dieta; (Cr) dieta es la concentración de cromo en la dieta y (Cr) digesta es la concentración de cromo en el contenido ileal.

Para calcular la digestibilidad de nutrientes y energía a nivel fecal se utilizó la siguiente fórmula:

Digestibilidad de los nutrientes (Dx): $Dx = (\% \text{ nutriente dieta} - (\% \text{ nutriente excreta}) * FI) / \% \text{ nutriente dieta}$

Dónde: Factor de indigestibilidad (FI) es igual al $[Cr] \text{ dieta} / [Cr] \text{ muestra (digesta o excreta)}$

Energía Metabolizable Aparente (EMA) = $EMA \text{ (Kcal / Kg de MS)} = EB \text{ dieta} - (EB \text{ excreta} * FI \text{ excreta})$

Energía Metabolizable Aparente Corregida por Nitrógeno (EMAn) = $EMAn \text{ (Kcal / Kg de MS)} = EB \text{ dieta} - [(EB \text{ excreta} * FI \text{ excreta}) + 8.22 * (BN)]$

Dónde: BN (Balance de Nitrógeno) = $N \text{ dieta} - (N \text{ excreta} * FI \text{ excreta})$

3.2.3 Perfil lipídico

El día 25 de edad, se seleccionó aleatoriamente un ave por réplica (cinco aves por tratamiento) para tomar muestras de sangre, entre 4 y 6 ml de sangre de cada pollo colectada en tubos VACUTAINER® sin anticoagulante para realizar el perfil lipídico, mediante prueba enzimática colorimétrica (Kits HUMAN®: Cholesterol liquicolor, Triglycerides liquicolor^{mono} y HDL Cholesterol), calculando el colesterol LDL como la resta del colesterol HDL y los triglicéridos del colesterol total. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición Animal de CORPOICA. Los valores de colesterol LDL fueron calculados como $\text{colesterol LDL} = \text{colesterol total} - \text{colesterol HDL} - \text{colesterol VLDL}$. El colesterol VLDL fue calculado al dividir los triglicéridos entre 5 (Friedewald y col., 1972).

3.2.4 Análisis estadístico

Para determinar el efecto de los diferentes tratamientos experimentales sobre el peso corporal al día 5 y al día 25 de edad y las variables acumuladas ganancia de peso corporal, consumo de alimento y conversión alimenticia y los parámetros correspondientes a los balances energéticos: EMA ingerida ($\text{Kcal} / \text{PC}^{0.75} / \text{día}$), EMAn ingerida ($\text{Kcal} / \text{PC}^{0.75} / \text{día}$), Metabolizabilidad, coeficiente de digestibilidad (CD) de nitrógeno (%), CD de materia seca (%), CD de materia orgánica, balance de nitrógeno y

los componentes del perfil lipídico al día 25 de edad: colesterol total (mg / dl), triglicéridos (mg / dl), colesterol HDL (mg / dl), colesterol LDL (mg / dl) y colesterol VLDL (mg / dl), se utilizó un diseño completamente al azar (Steel y Torrie, 1992), cuya descripción es:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

μ : Media poblacional

A_i : Efecto del i-ésimo tratamiento

ϵ_{ijk} : Error experimental

i: 10 tratamiento

j: 5 réplicas

Y_{ij} : Valor observado de la variable

Mediante contrastes ortogonales se comparó el tratamiento sin suplementar contra los demás tratamiento, la fuente comercial de manano oligosacáridos frente las fuentes de AR retrogrado proveniente de las dos variedades de papa evaluadas y el AR retrogrado de la variedad Guaneña frente AR retrogrado de la variedad Pastusa. Para analizar el efecto de superficie de respuesta para MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa, se plantaron polinomios ortogonales, respectivamente. Se utilizó la opción CONTRAST, mediante el procedimiento GLM de SAS versión 9.2 (2007).

3.3 Resultados

3.3.1 Parámetros productivos

Los parámetros productivos se observan en la tabla 3-2. No se observaron diferencias significativas para los parámetros: peso corporal al día 5 y al día 25 y la ganancia de peso acumulada (GAP) al analizar los contrastes planeados. Las variables consumo de alimento y conversión de alimento se presentaron diferencias significativas ($P=0.05$). El control sin suplementar mostro un mayor consumo de alimento (42.98 g, $P=0.04$) frente a los demás tratamientos experimentales y AR3 Guaneña obtuvo un consumo mayor en 37.35 g ($P=0.02$) frente al AR3 Pastusa. El control sin suplementar mostro una mayor conversión de alimento en 0.059 ($P=0.03$) frente a los demás tratamientos experimentales.

El nivel de suplementación mostro para el grupo AR3 Pastusa un comportamiento de tipo lineal (P=0.01) ($Y_{\text{Conversión alimento AR3 Pastusa}} = 1.355 + 0.09486 \cdot X$; $R^2: 0.55$; EE: 0.02 y N: 5) cuadrático (P=0.006) ($Y_{\text{Conversión alimento AR3 Pastusa}} = 1.6652 - 0.64914 \cdot X - 0.372 \cdot X^2$; $R^2: 0.83$; EE: 0.019 y N: 5) (Figura 3-2) para la variable conversión de alimento, donde un nivel de inclusión de 0.87% mostro la menor conversión. Se observaron tendencias hacia un comportamiento de tipo cuadrático para las variables peso corporal al día 25 (P=0.08) y GAP (P=0.07) para el grupo AR3 Guaneña, mientras que el grupo AR3 Pastusa mostro un comportamiento tipo lineal para GAP (P=0.07) y cuadrático (P=0.052) para el consumo de alimento (Figura 3-1).

Tabla 3-2: Efecto del AR3 de dos especies de papa con tres niveles de inclusión sobre los parámetros productivos de pollos de engorde al día 25 de edad

Tratamiento	NI (%)	Peso Corporal 5 (g)	Peso Corporal 25 (g)	GAP (g/ave/periodo)	Consumo (g/ave/periodo)	Conversión (g/g)
Control	0	116,6	1030,4	913,6	1406,4	1,51
MOS	0,5	116,7	1055,4	945,5	1370,7	1,44
MOS	1	116,8	1034,1	925,6	1358,6	1,47
MOS	1,5	117,1	1099,4	967,4	1352,2	1,40
AR3 Guaneña	0,5	116,9	1020,9	903,9	1365,6	1,51
AR3 Guaneña	1	116,3	1083,9	967,5	1396,4	1,44
AR3 Guaneña	1,5	116,2	1048,6	932,3	1388,6	1,46
AR3 Pastusa	0,5	116,8	1049,6	932,9	1354,8	1,43
AR3 Pastusa	1	116,2	1064,5	948,3	1314,7	1,39
AR3 Pastusa	1,5	116,6	1022,3	877,6	1369,0	1,53
EEM		0,283	22,33	21,31	19,26	0,026
Contrastes						
Control vs. todos		NS	NS	NS	*	*
MOS vs. AR3 papa		NS	NS	NS	NS	NS
AR3: Guaneña vs. Pastusa		NS	NS	NS	*	NS
Efecto del Nivel						
MOS		NS	NS	NS	NS	NS
AR3 Guaneña		NS	C ^T	C ^T	NS	NS
AR3 Pastusa		NS	NS	L ^T	C ^T	L* y C**

MOS, Manano oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado; NI, Nivel Inclusión; EEM, error estimado de la media; L, lineal; C, cuadrático; Valor-p: *(P<0.05), ** (P<0.001), *** (P<0.0001); ^T Tendencia (P<0.10), NS No significativo.

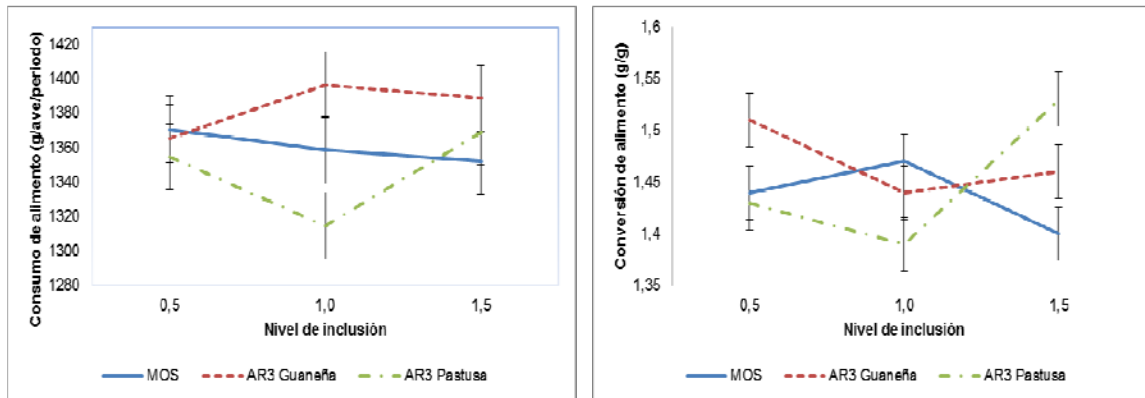


Figura 3-1 y Figura 3-2: Efecto del nivel de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el consumo y la conversión de alimento de pollos de engorde al día 25 de edad

3.3.2 Valor de energía metabolizable aparente (EMA), energía metabolizable aparente corregida por N (EMAn) y coeficientes de digestibilidad a nivel ileal y total

El efecto del MOS y el AR3 de papa Guaneña y Pastusa con tres niveles de inclusión sobre la valoración de energía y los coeficientes de digestibilidad a nivel ileal se muestran en las tablas 3-3 y 3-4. Al comparar los valores hallados para EMA, EMAn y Metabolicidad de la energía bruta no se encontraron diferencias significativas entre las comparaciones propuestas. Con relación al BN, el grupo MOS mostro en 0.062 ($P=0.01$) más su valor, frente a los grupos de AR3 de papa Guaneña y Pastusa.

Con relación al nivel de inclusión, los grupos MOS y AR3 Guaneña no mostraron ningún tipo de superficie para las variables evaluadas ($P>0.05$) (Tabla 3-3). El grupo AR3 Pastusa mostró una comportamiento de tipo cuadrático ($P=0.005$) para las variables EMA ($Y_{EMA\ AR3\ Pastusa} = 2695.04 + 851.19*X - 434.33*X^2$; $R^2: 0.70$; EE: 14.95 y N: 4), EMAn ($Y_{EMAn\ AR3\ Pastusa} = 2637.12 + 848.23*X - 432.81*X^2$; $R^2: 0.69$; EE: 26.76 y N: 4) (Figura 3-3) y Metabolicidad ($Y_{Metabolicidad\ AR3\ Pastusa} = 66.23 + 21.016*X - 10.72*X^2$; $R^2: 0.69$; EE: 0.74 y N: 4) (Figura 3-4). Los niveles de inclusión que mostraron el mayor valor para cada variable fueron 0.97% para EMA y EMAn y 0.98% para metabolicidad.

Tabla 3-3: Efecto del AR retrogradado de papa con tres niveles de inclusión sobre la EMA, EMAn y metabolibilidad a nivel de contenido ileal de pollos de engorde a los 25 días de edad

Tratamiento	NI (%)	EMA (Kcal/kg)	EMAn		Metabolibilidad (%)
			BN	(Kcal/kg)	
Control	0	3022,59	2,82	2999,42	74,32
MOS	0,5	3069,85	2,86	3046,24	75,48
MOS	1,0	3022,69	2,85	2999,23	74,31
MOS	1,5	3080,73	2,85	3057,33	75,75
AR3 Guaneña	0,5	3009,88	2,79	2986,95	74,01
AR3 Guaneña	1,0	3079,21	2,76	3056,38	75,73
AR3 Guaneña	1,5	3052,79	2,79	3029,60	75,06
AR3 Pastusa	0,5	3012,06	2,80	2989,04	74,06
AR3 Pastusa	1,0	3111,91	2,84	3088,55	76,52
AR3 Pastusa	1,5	2994,59	2,76	2971,65	73,63
EEM		29,8	0,03	29,72	0,74
Contrastes					
Control vs. todos		NS	NS	NS	NS
MOS vs. AR3 de papa		NS	*	NS	NS
AR3: Guaneña vs. Pastusa		NS	NS	NS	NS
Efecto del Nivel					
MOS		NS	NS	NS	NS
AR3 Guaneña		NS	NS	NS	NS
AR3 Pastusa		C**	NS	C**	C**

MOS, Manano oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado; NI, Nivel Inclusión; EEM, error estimado de la media; L, lineal; C, cuadrático; Valor-p: *(P<0.05), ** (P<0.001), *** (P<0.0001), [†] Tendencia (P<0.10), NS No significativo.

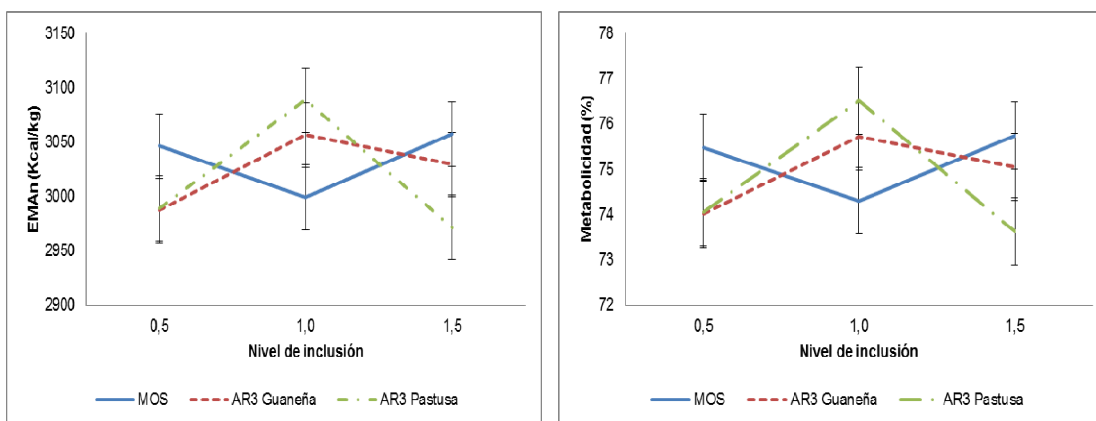


Figura 3-3 y Figura 3-4: Efecto del nivel de inclusión de MOS y AR3 Guaneña y Pastusa sobre la EMAn y la metabolibilidad durante el periodo de balance del día 23 a 25 de edad.

El coeficiente de digestibilidad de la materia seca (MS) no mostró diferencias significativas ($P>0.05$) entre las comparaciones propuestas. Con relación al coeficiente de digestibilidad de la MO, el control sin suplementar fue diferente ($P=0.006$) al promedio de los demás tratamientos, siendo menor en 3.36%. El grupo MOS fue diferente ($P=0.018$) del grupo AR3 de papa Guaneña y Pastusa, con un coeficiente promedio mayor en 1.94%. Con relación al coeficiente de digestibilidad de la proteína, el grupo MOS fue diferente ($P=0.012$) al grupo AR3 de papa Guaneña y Pastusa, siendo mayor para el grupo MOS en 1.68%. Con respecto al nivel de inclusión, no se observaron diferencias significativas ($P>0.05$), en el grupo MOS para ninguno de los coeficientes de digestibilidad analizados a nivel ileal y en el caso de los grupos AR3 Guaneña y AR3 Pastusa, en Proteína. Con relación al coeficiente de digestibilidad de la MO, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa, mostraron un comportamiento de tipo cuadrático ($P=0.016$ y $P=0.009$) (Figura 3-6).

Tabla 3-4: Efecto del AR3 de papa con tres niveles de inclusión sobre los coeficientes de digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y proteína cruda a nivel de contenido ileal de pollos de engorde a los 25 días de edad

Tratamiento	NI (%)	MS (%)	MO (%)	Proteína (%)
Control	0	59,64	61,30	74,71
MOS	0,5	62,25	65,43	76,26
MOS	1	61,02	64,68	73,97
MOS	1,5	64,56	67,74	71,60
AR3 Guaneña	0,5	57,56	62,15	73,68
AR3 Guaneña	1	64,88	66,35	72,98
AR3 Guaneña	1,5	60,95	63,79	72,84
AR3 Pastusa	0,5	59,75	62,90	74,00
AR3 Pastusa	1	64,20	66,45	75,96
AR3 Pastusa	1,5	59,36	62,43	72,97
EEM		1,89	1,24	0,91
Contrastes				
Control vs. todos		NS	**	NS
MOS vs. AR3 de papa		NS	*	*
AR3: Guaneña vs. Pastusa		NS	NS	NS
Efecto del Nivel				
MOS		NS	NS	NS
AR3 Guaneña		C*	C*	NS
AR3 Pastusa		C ^T	C**	NS

MOS, Manano oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado; NI, Nivel Inclusión; EEM, error estimado de la media; L, lineal; C, cuadrático; Valor-p: *($P<0.05$), ** ($P<0.001$), *** ($P<0.0001$), ^T Tendencia ($P<0.10$), NS No significativo.

Para el coeficiente de digestibilidad de la MS, el grupo AR3 Guaneña mostro un comportamiento de tipo cuadrático ($P=0.018$) ($Y_{MS\ AR3\ Guaneña} = 41.087 + 42.90 * X - 19.49 * X^2$; $R^2: 0.65$; $EE: 0.1.63$ y $N: 5$) (Figura 3-5), mientras que en el grupo AR3 Pastusa se observó una tendencia ($P=0.054$), siendo en ambos casos el nivel de suplementación de 1.0%, el que mostró los mayores valores. Con relación al coeficiente de digestibilidad de la MO, se observó un comportamiento de tipo cuadrático para los AR3 Guaneña ($P=0.016$) ($Y_{MO\ AR3\ Guaneña} = 51.20 + 28.65 * X - 13.508 * X^2$; $R^2: 0.70$; $EE: 0.87$ y $N: 5$) y AR3 Pastusa ($P=0.009$) ($Y_{Mo\ AR3\ Pastusa} = 51.77 + 29.83 * X - 15.156 * X^2$; $R^2: 0.68$; $EE: 1.08$ y $N: 4$) (Figura 3-6), siendo los niveles de 1.06% y 0.98% mostraron el mayor coeficiente de digestibilidad para MO.

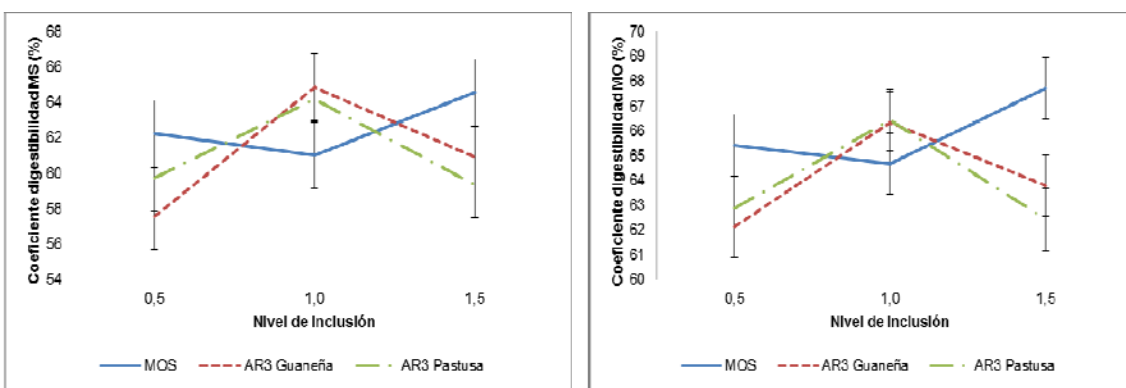


Figura 3-5 y Figura 3-6: Efecto del nivel de inclusión de MOS y AR3 Guaneña y Pastusa sobre el coeficiente de digestibilidad de la MS y MO durante el periodo de balance del día 23 a 25 de edad.

El efecto de la suplementación de MOS y AR3 de dos variedades de papa sobre la valoración de energía metabolizable y los coeficientes de digestibilidad para cada uno de los tratamientos experimentales a nivel de recolección total de excretas se muestra en las tablas 3-5 y 3-6. En el caso de la energía metabolizable aparente (EMA), la energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno (EMAn), balance de nitrógeno (BN) y la metabolibilidad de la energía bruta (Metabolicidad), no se encontraron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre las comparaciones planeadas.

Tabla 3-5: Efecto del AR3 de papa con tres niveles de inclusión sobre la EMA, EMAn y metabolibilidad a nivel de excretas de pollos de engorde durante el balance del día 23 al 25 de edad

Tratamiento	NI (%)	EMA (Kcal/kg)	EMAn		Metabolibilidad (%)
			BN	(Kcal/kg)	
Control	0	3094,5	2,07	3077,5	76,2
MOS	0,5	3163,5	2.14	3145,9	78,0
MOS	1,0	2970,7	1.95	2954,7	73,2
MOS	1,5	2885,8	1.81	2870,9	71,1
AR3 Guaneña	0,5	3000,6	1,86	2985,3	74,0
AR3 Guaneña	1,0	3023,5	2,08	3006,4	74,5
AR3 Guaneña	1,5	3021,0	1.96	3004,9	74,5
AR3 Pastusa	0,5	2934,0	1,82	2919,1	72,3
AR3 Pastusa	1,0	3131,3	2,10	3114,0	77,2
AR3 Pastusa	1,5	3037,1	1,88	3021,6	74,9
EEM		70,21	0,09	69,60	1,72
Contrastes					
Control vs. todos		NS	NS	NS	NS
MOS vs. AR3 de papa		NS	NS	NS	NS
AR3: Guaneña vs. Pastusa		NS	NS	NS	NS
Efecto del Nivel					
MOS		L **	L *	L **	L **
AR3 Guaneña		NS	NS	NS	NS
AR3 Pastusa		C ^T	C *	C ^T	C ^T

MOS, Manano oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado; NI, Nivel Inclusión; EEM, error estimado de la media; L, lineal; C, cuadrático; Valor-p: *(P<0.05), ** (P<0.001), *** (P<0.0001), ^T Tendencia (P<0.10), NS No significativo.

Con referencia al nivel de inclusión, el grupo MOS mostro un comportamiento de tipo lineal para la EMA (P=0.007) ($Y_{EMA\ MOS} = 3284.41 - 277.72 * X$; $R^2: 0.64$; EE: 64.52 y N: 5), EMAn (P=0.007) ($Y_{EMAn\ MOS} = 3265.56 - 275.04 * X$; $R^2: 0.64$; EE: 64.05 y N: 5)(figura 3-7), el BN (P=0.01) ($Y_{Balance\ nitrógeno\ MOS} = 2.29 - 0.325 * X$; $R^2: 0.70$; EE: 0.06 y N: 5) (figura 9) y la Metabolibilidad de la EB (P=0.007) ($Y_{Metabolibilidad\ MOS} = 80.90 - 6.81 * X$; $R^2: 0.64$; EE: 1.58 y N: 5) (figura 3-8). Para estas tres variables, el nivel de inclusión de 0.5% fue el que obtuvo los mayores valores frente a MOS 1.5%.

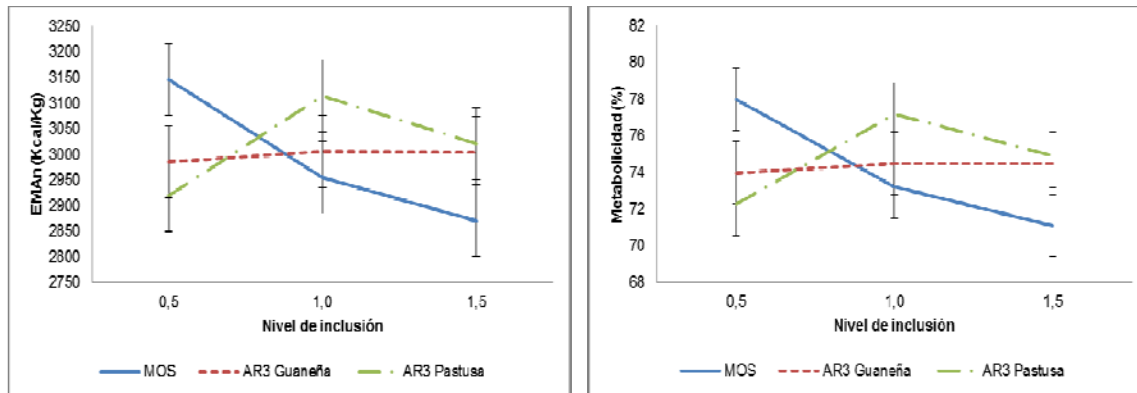


Figura 3-7 y Figura 3-8: Efecto del nivel de inclusión de MOS y AR3 Guaneña y Pastusa sobre la EMAn y metabolizabilidad a nivel total de pollos de engorde durante el período de balance del día 23 al 25 de edad.

Para el grupo AR3 Pastusa, se encontró un comportamiento de tipo cuadrático ($P=0.027$) ($Y_{\text{Balance nitrógeno AR3 Pastusa}} = 1.033 + 2.0806 * X - 1.009 * X^2$; $R^2: 0.51$; $EE: 0.10$ y $N: 5$) para el balance de nitrógeno, siendo el nivel de 1.0% el que obtuvo el mayor valor frente a 0.5 y 1.5% (Figura 3-9). Para este mismo grupo, se observó una tendencia de comportamiento tipo cuadrático para la EMA ($P=0.09$), EMAn ($P=0.09$) y metabolizabilidad ($P=0.09$), respectivamente.

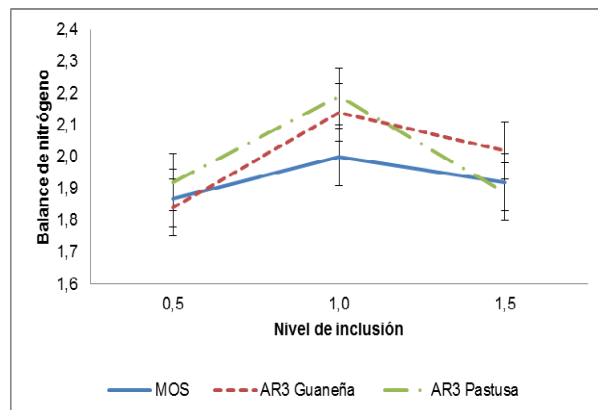


Figura 3-9: Efecto del nivel de inclusión de MOS y AR3 Guaneña y Pastusa sobre el balance de nitrógeno a nivel total de pollos de engorde durante el período de balance del día 23 al 25 de edad.

Tabla 3-6: Efecto del AR3 de papa con tres niveles de inclusión sobre los coeficientes de digestibilidad de la materia seca, materia orgánica, proteína cruda y balance de nitrógeno a nivel de excretas de pollos de engorde durante el balance del día 23 al 25 de edad

Tratamiento	NI (%)	MS (%)	MO (%)	Proteína (%)
Control	0	60,2	65,4	56,0
MOS	0,5	63,1	67,5	57,7
MOS	1,0	58,6	63,5	52,5
MOS	1,5	58,3	62,7	48,9
AR3 Guaneña	0,5	58,9	63,7	50,1
AR3 Guaneña	1,0	60,3	64,4	56,1
AR3 Guaneña	1,5	60,3	64,2	52,8
AR3 Pastusa	0,5	58,0	62,5	49,1
AR3 Pastusa	1,0	62,9	66,9	56,8
AR3 Pastusa	1,5	60,1	64,2	50,8
EEM		1,56	1,43	2,43
Contrastes				
Control vs. todos		NS	NS	NS
MOS vs. AR3 de papa		NS	NS	NS
AR3: Guaneña vs. Pastusa		NS	NS	NS
Efecto del Nivel				
MOS		L *	L *	L *
AR3 Guaneña		NS	NS	NS
AR3 Pastusa		C *	C *	C *

MOS, Manano oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado; NI, Nivel Inclusión; EEM, error estimado de la media; L, lineal; C, cuadrático; Valor-p: *(P<0.05), ** (P<0.001), *** (P<0.0001); ^T Tendencia (P<0.10), NS No significativo.

No se encontraron diferencias significativas entre las comparaciones propuestas para los coeficientes de digestibilidad de la materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína cruda (Proteína) (Tabla 3-6). Con respecto al nivel de inclusión, el grupo MOS presentó un comportamiento de tipo lineal para los coeficientes de digestibilidad de MS, MO y proteína cruda (P=0.03, P=0.02 y P=0.01, respectivamente) ($Y_{\text{Coefdig MS MOS}} = 64.82 - 4.808 * X$; $R^2: 0.58$; EE: 1.31 y N: 5), MO (P=0.02) ($Y_{\text{Coefdig MO MOS}} = 69.40 - 4.819 * X$; $R^2: 0.58$; EE: 1.31 y N: 5) y proteína (P=0.01) ($Y_{\text{Coefdig Proteína MOS}} = 61.81 - 8.78 * X$; $R^2: 0.70$; EE: 1.71 y N: 5), siendo el nivel de 0.5% el que mostró los mayores valores frente al nivel de 1.5% en el caso de MOS (Figuras 3-10, 3-11 y 3-12).

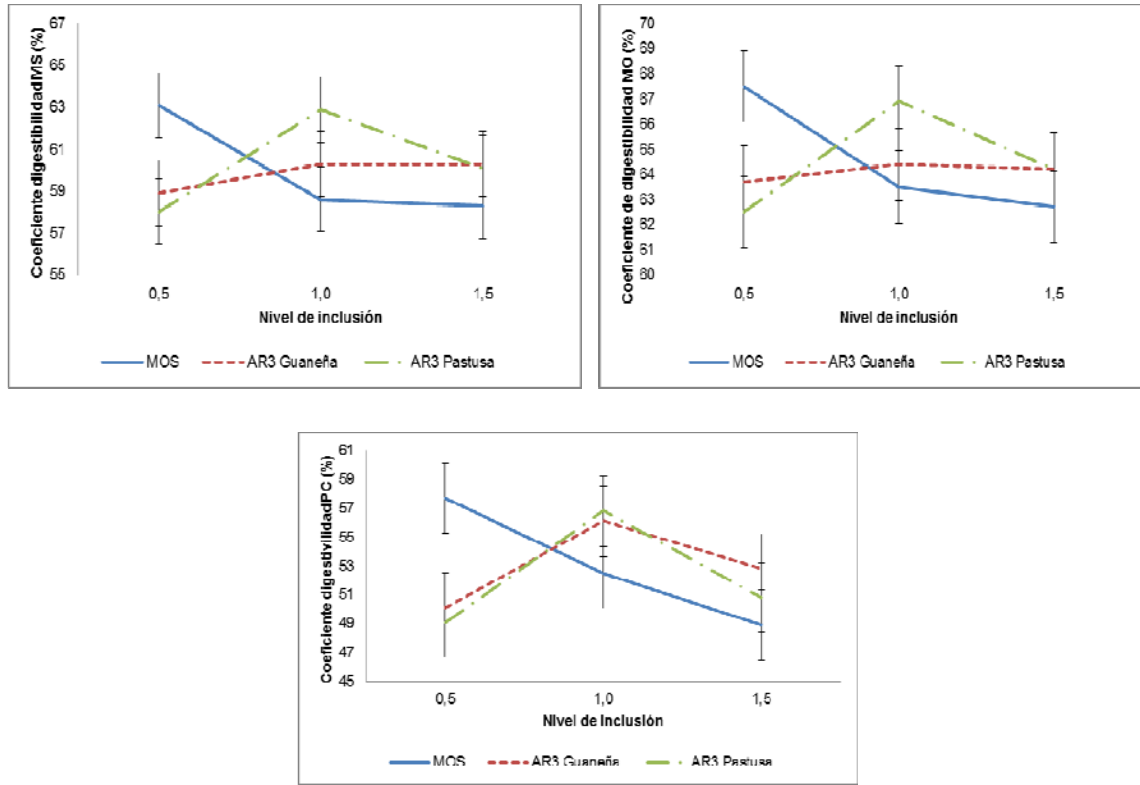


Figura 3-10, Figura 3-11 y Figura 3-12: Efecto del nivel de inclusión de MOS y AR3 de Guaneña y Pastusa sobre los coeficientes de digestibilidad de la MS, MO y Proteína cruda de pollos de engorde durante el período de balance del día 23 al 25 de edad.

3.3.3 Perfil lipídico

Los valores del perfil lipídico obtenido de las muestras de sangre tomadas el día 25 de edad se observan en la tabla 3-7 para cada uno de los tratamientos experimentales. La variable colesterol total presentó una diferencia significativa ($P=0.002$), entre el grupo MOS y el conjunto de AR3 de papa Guaneña y Pastusa, donde el Grupo MOS obtuvo 16.37 mg / dl menos frente al AR3 de papa.

Para las variables triglicéridos y colesterol VLDL se observó una tendencia ($P=0.075$ y $P=0.075$, respectivamente) entre el control sin suplementar y los demás tratamientos, donde numéricamente este mostro un mayor valor (13.50 mg / dl y 2.70 mg / dl, respectivamente) frente al promedio de los demás tratamientos. Una diferencia altamente significativa ($P=0.0001$) se observó entre el grupo MOS y el grupos AR3 Guaneña y

Pastusa para la variable colesterol HDL, siendo MOS menor en 3.15 mg / dl. De igual manera para colesterol LDL (P=0.013), siendo menor en 12.54 mg / dl frente al valor promedio para el grupo AR3 Guaneña y Pastusa.

Tabla 3-7: Efecto del AR retrogradado de dos variedades de papa sobre el perfil lipídico en plasma de pollos de engorde a los 25 días de edad.

Tratamiento	NI (%)	Colesterol Total	Triglicéridos (mg/dl)	Colesterol		
				HDL	LDL	VLDL
Control	0	123,41	111,48	19,80	81,31	22,30
MOS	0,5	101,13	116,26	17,45	60,43	23,25
MOS	1,0	109,12	89,27	20,11	71,05	17,85
MOS	1,5	93,98	54,73	15,99	66,41	16,94
AR3 Guaneña	0,5	114,09	81,63	22,33	61,80	16,33
AR3 Guaneña	1,0	115,66	89,34	19,55	78,25	17,87
AR3 Guaneña	1,5	110,65	100,99	19,50	70,95	20,20
AR3 Pastusa	0,5	126,94	89,15	20,72	88,39	17,83
AR3 Pastusa	1,0	122,72	101,15	20,96	81,53	20,23
AR3 Pastusa	1,5	116,61	109,04	22,91	71,90	21,81
EEM		6,94	6,94	0,96	6,75	1,39
Contrastes						
Control vs. todos		NS	T	NS	NS	T
MOS vs. AR3 de papa		**	NS	***	*	NS
AR3: Guaneña vs. Pastusa		NS	NS	NS	NS	NS
Efecto del Nivel						
MOS		NS	L **	C **	NS	L *
AR3 Guaneña		NS	NS	L *	NS	NS
AR3 Pastusa		NS	L ^T	NS	L ^T	L ^T

MOS, Manano oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado; NI, Nivel Inclusión; EEM, error estimado de la media; L, lineal; C, cuadrático; Valor-p: *(P<0.05), ** (P<0.001), *** (P<0.0001), ^T Tendencia (P<0.10), NS No significativo.

Con referencia a los niveles de inclusión no se observaron diferencias significativas (P>0.05) para los diferentes grupos para la variable colesterol total. El grupo MOS mostro un comportamiento de tipo lineal para las variables triglicéridos (P=0.001) ($Y_{\text{Triglicéridos MOS}} = 130.353 - 34.633 * X$; $R^2: 0.74$; EE: 6.09 y N: 4) y colesterol VLDL (P=0.001) ($Y_{\text{Colesterol VLDL MOS}} = 26.07 - 6.926 * X$; $R^2: 0.74$; EE: 1.38 y N: 4), observando el mayor valor para el nivel de 0.5%. De otro parte, para colesterol HDL se observó un comportamiento de tipo cuadrático (P=0.005) ($Y_{\text{Colesterol HDL MOS}} = 7.53 + 26.98 * X - 14.294 * X^2$; $R^2: 0.77$; EE: 0.84 y N: 4), siendo el nivel de 0.94% el que mostrara el mayor valor. Para esta última variable el grupo AR3 Guaneña mostro un comportamiento de tipo lineal (P=0.04) ($Y_{\text{Colesterol HDL AR3 Guaneña}} = 23.295 - 2.834 * X$; $R^2: 0.60$; EE: 0.82 y N: 4) observando el mayor

valor para el nivel de 0.5%. El grupo AR3 Pastusa presentó tendencias de comportamiento de tipo lineal para la variable triglicéridos ($P=0.051$), colesterol VLDL ($P=0.051$) y colesterol LDL ($P=0.09$), observando numéricamente un mayor valor para el nivel de 1.5% en el caso de las dos primeras variables y de 0.5% para colesterol HDL (Figuras 3-13, 3-14 y 3-15).

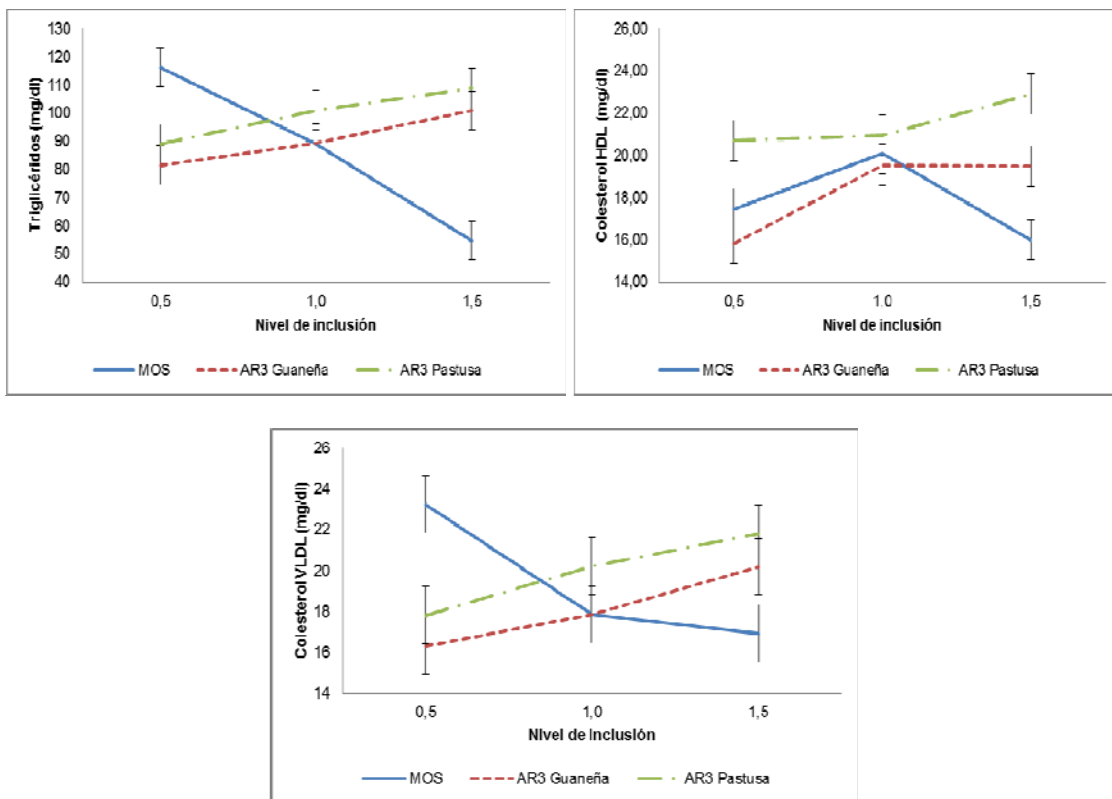


Figura 3-13, Figura 3-14 y Figura 3-15: Efecto del nivel de inclusión de MOS y AR3 de Guaneña y Pastusa sobre la concentración de triglicéridos, colesterol HDL y colesterol VLDL de pollos de engorde al día 25 de edad.

3.4 Discusión

Varios de los recursos alimenticios utilizados en la formulación de dietas para las aves, presentan contenidos de AR, el cual no es hidrolizado en el intestino delgado y puede ser fermentado por la microflora presente en el colon y posiblemente en el segmento del ileon en el intestino delgado, como ha sido demostrado en el modelo canino (Bednar y col., 2001). Sin embargo, la cantidad de AR3 que es fermentado en cada región del intestino puede incrementarse con el aumento de la dieta de AR3, pero este incremento

varia para cada región del tracto intestinal (Bullock y Norton, 1999). En este estudio, las variedades comerciales de papa Guaneña y Pastusa mostraron un contenido importante de almidón total (76.68 y 78.83%) y almidón resistente retrogradado (24.10 y 24.82%) obtenidos mediante un proceso de cocción y enfriamiento (32°C y 0°C por 24 horas cada uno en presencia de agua. La digestión del almidón puede darse mediante la acción de las enzimas digestivas endógenas y por la fermentación producto de las poblaciones bacterias presentes en el tracto intestinal, siendo sus productos finales muy diferentes (glucosa y ácidos grasos volátiles, respectivamente) (Knudsen y col., 2006). Se considera desde el punto de vista nutricional que el almidón retrogradado es resistente a la digestión en animales monogástricos (Eerlingen y col., 1994) y que tiene propiedades funcionales similares a las fibras dietarias fermentables (Noda y col., 2008).

La cantidad de AR de un alimento puede ser influenciada por el procesamiento, la accesibilidad física de la arquitectura del gránulo de almidón y el grado de gelatinización y retrogradación a la cual es sometido (Brown y col., 1995 y Englyst y Cummings, 1987). Así, las propiedades moleculares y estructurales de los almidones son también importantes factores determinantes primarios de su resistencia a las enzimas amilolíticas (Zhou y col., 2010). En este estudio, para el almidón obtenido de las variedades de papa Guaneña y Pastusa, se registró un contenido de amilosa de 25.39% y 23.54%, respectivamente, valores que se encuentran dentro de límites normales reportados en literatura para el modelo papa (Singh y col., 2003).

La amilosa juega un papel importante en la formación de AR retrogradado, ya que un alto contenido de amilosa conduce generalmente a que el almidón sea más lento en la gelatinización durante la cocción y más rápido para retrogradarse (mayor resistencia a amilólisis) en el enfriamiento posterior, comparado con los almidones convencionales (Pomeranz, 1992 y Zhou y col., 2010). Lo anterior ha sido demostrado en papas genéticamente modificadas, donde a mayor contenido de amilosa, mayor AR (Leeman y col., 2006). Otros factores importantes son el número de ciclos que se realicen en el proceso de obtención (calentamiento y enfriamiento) (Berry, 1986) y el contenido de agua presente en la mezcla (Zeleznek y Hosney, 1986).

En este estudio, por medio de microscopía electrónica de barrido (datos no mostrados), se pudo observar que los almidones retrogradados de papa Guaneña y Pastusa,

presentaron una masa amorfa de estructura cohesiva, indicando un proceso de hidrólisis y la desorganización completa de las regiones cristalinas, lo cual condujo a ese aumento en el contenido de AR3. Además se observó cierto grado de erosión, con presencia de protuberancias y / o cavidades sobre la superficie del gránulo de almidón retrogradado, sugiriendo un posible aumento en la digestibilidad del almidón, como ha sido reportado por Napaporn y col. (2000) en el caso del almidón de yuca.

En este estudio, aun cuando no se encontraron diferencias significativas en el peso o la ganancia de peso corporal acumulada al día 25 de edad entre los diferentes tratamientos experimentales, se observó numéricamente valores más altos para los niveles de MOS 0.5%, MOS 1.5%, AR3 Guaneña 1.0% y AR3 Pastusa 1.0% con respecto al grupo control. Un producto comercial de similares características (Biolex-MB®) incremento significativamente la tasa específica de crecimiento y la eficiencia de crecimiento cuando fue comparado con el control y los tratamientos suplementados con este tipo de fibras durante la fase de crecimiento de pollos de engorde, sin afectar el consumo de energía o proteína en la fase de crecimiento (día 1 al 21 de edad) y el periodo total (42 días), (Ashayerizadeh y col., 2011).

Estos valores se vieron reflejados en el consumo de alimento acumulado y la conversión alimenticia, variables que fueron significativamente mayores para el control sin suplementar frente a los tratamientos descritos previamente. El consumo de alimento en el grupo AR3 Guaneña fue mayor frente al grupo AR3 Pastusa, comportamiento que puede ser atribuido a diferencias entre las variedades y condiciones físico químicas del almidón, como del tamaño del gránulo, que es más pequeño en la variedad Guaneña, pudiendo afectar las propiedades nutricionales y funcionales del AR retrogradado. Al respecto, Rideout y col. (2008) señalan que la literatura no destaca la importancia del tipo de almidón resistente (AR) en su contribución a las respuestas fisiológicas y no es claro cómo las características de digestión de nutrientes y la fermentación se ven afectadas por diferentes variedades de AR. Por lo tanto, antes de destacar los beneficios potenciales para la salud, se necesita aclarar cómo determinadas variedades de AR pueden influir en la función intestinal y la salud sistémica de los animales.

Los diferentes estudios realizados con MOS han mostrado mejoras en la ganancia de peso corporal y la conversión alimenticia, como lo reportaron Pelicano y col. (2004) suplementando 1.7 g de MOS / kg durante los primeros 21 días de edad. Sin embargo, el mismo estudio reporta que los efectos no fueron significativos a los 42 días de edad. De manera similar, Gunal y col. (2006) y Zhang y col. (2005) reportaron que el uso de estos aditivos suplementados en la dieta de pollos de engorde no tuvo efectos significativos sobre el crecimiento. Cepero, (2006) indica que las dosis de suplementación de MOS en pollos de engorde para la fase inicial debe ser entre 0.1 – 0.2% y en crecimiento de 0.05 a 0.2%. Hooge y Sefton (2004) mostraron en 10 años de pruebas de campo con MOS, que las mejoras obtenidas fueron de 2.2% para crecimiento, 2% para conversión de alimento y 24% en el índice de mortalidad, pero que estos resultados variaron de un ensayo a otro (Ao y col., 2004), debido a una gran variabilidad en las respuestas individuales de las aves (Simon y Jadamus, 2002). En el presente estudio, las mejoras numéricas al día 25 de edad en peso corporal y ganancia de peso corporal frente al control fueron de 2.3% y 3.4% para MOS 0.5%; 6.3% y 5.6% para MOS 1.5%, mientras que para AR3 Guaneña 1.0% y AR3 Pastusa 1.0% fueron de 4.9% y 5.6% y 3.2% y 3.7%, respectivamente.

Con relación a la eficiencia alimenticia, Van der Aar (2003) observó una interacción entre la tasa de digestión del almidón y el nivel de aminoácidos. La eficiencia alimenticia mejoró cuando aminoácidos adicionales fueron incluidos en la dieta que contenía almidón fácilmente digerible, pero no cuando la dieta contenía niveles altos de almidón lentamente digerible. Lo anterior sugiere que dietas con altos niveles de almidón lentamente digerible conducen a un menor requerimiento de aminoácidos. Igualmente, este mismo autor probó cinco diferentes niveles de aminoácidos incorporados a dietas con almidón lentamente digerible (guisante / maíz) o almidón rápidamente digerible (yuca / trigo) y observó que en todos los niveles de aminoácidos, la ganancia de peso corporal fue mayor y una menor conversión alimenticia fue registrada para las aves alimentadas con la dieta de almidón lentamente digerible frente a los tratamientos de almidón rápidamente digerible, siendo estas diferencias más relevantes en las dietas con el nivel de suplementación de aminoácidos más bajo (Van der Aar, 2003). Lo anterior podría explicar parcialmente los resultados observados en el presente estudio, al no encontrar diferencias entre MOS y los AR3 de Guañena y Pastusa.

Es conocido que las tasas de degradación del almidón proveniente de los diferentes recursos alimenticios que componen la formulación, pueden afectar la disposición de energía para los pollos de engorde (Van der Aar, 2003). La degradación más lenta del almidón asegura un suministro parcial de glucosa en el tiempo, lo que conduce a una liberación lenta y prolongada de insulina, la cual está relacionada con el transporte y absorción de los aminoácidos para la formación de proteína tisular (Truswell, 1992 y Fox, 1996). La necesidad de proveer glucosa a las células del epitelio intestinal para evitar así la utilización de aminoácidos (vía gluconeogénesis) para suplir esta demanda energética (Fleming y col., 1997), puede lograrse por medio de la digestión gradual del almidón que se hace en la parte posterior del intestino delgado, lo cual no ocurre en dietas que contienen un alto contenido de almidones rápidamente degradables (Van der Aar, 2003). Los resultados del presente estudio sugerirían que el AR3 de Guaneña y Pastura presentan una degradación lenta, permitiendo la disposición de energía más efectiva para las aves y su tracto intestinal, con lo cual se destinaria este excedente de aminoácidos para crecimiento. En este sentido, no se encontraron diferencias entre los grupos experimentales de MOS y de AR3 de Guaneña y Pastusa en el peso corporal y las ganancias de peso corporal.

Los valores de proteína encontrados en el análisis químico realizado a las excretas mostraron un valor promedio menor al mencionado por Sakomura y Rostagno (2007) de 35.96 ± 4.61 (CV. 12.83) frente a 25.14 ± 3.34 (CV.13.28); el valor de energía bruta de las excretas fue menor (3580.9 ± 72.51) en términos absolutos al reporte de 3683 ± 320.9 Kcal / Kg, (CV. 8.71), pero el coeficiente de variación fue menor (2.02), indicando una mayor homogeneidad del estudio, garantizando una mayor confiabilidad de la información desde el punto de vista estadístico. Igualmente se considera que los datos estuvieron dentro de un rango considerado como normal en términos de dispersión, al provenir de muestras obtenidas de campo. En este trabajo no se encontraron diferencias significativas entre los valores de EMA, EMAn, balance de nitrógeno y metabolibilidad de la energía bruta para las comparaciones planeadas. Sin embargo, para los tratamientos MOS 0.5% y AR3 Pastusa 1.0% los valores de EMAn fueron mayores numéricamente en 69.1 kcal y 36.8 kcal, obteniendo una metabolibilidad de la energía bruta de 1.8% y 1.0% mayor frente al grupo control.

En general se sugiere que los gránulos de almidón con un alto contenido de amilosa mayor al 40% tienden a ser más resistentes (Carrér, 2004), los valores reportados para las variedades Guaneña y Pastusa fueron 25.39% y 23.54%, respectivamente. Aun cuando la variedad Guaneña presenta un valor mayor, los valores de EMAn no disminuyen significativamente al aumentar el nivel de inclusión de AR3. Posiblemente características físicas descritas para el almidón de la variedad Guaneña afectan el proceso de retrogradación, ya que al poseer una mayor porcentaje de gránulos pequeños, estos son más susceptibles a aumentar su digestibilidad por tener una mayor área de exposición durante el tratamiento térmico, lo cual se reflejaría en un mayor valor de energía al aumentar el nivel de inclusión en la dieta. En el caso de MOS a medida que aumenta el nivel de suplementación numéricamente se disminuye la EMAn. Se conoce que la fermentación de estos tipos de carbohidratos en el ciego por parte de los microorganismos conduce a la producción de AGVs, los cuales pueden ser utilizados como fuente de energía por el ave. Sin embargo, con la fermentación microbiana se obtiene menos energía que con la digestión enzimática del almidón en el intestino delgado (Weurding y col., 2001). De otro lado, el grado de digestión del almidón en el intestino delgado de pollos de engorde determina la cantidad de energía que es proporcionada por el almidón de la dieta y esto se correlaciona positivamente con su contenido de EMA (Rogel y col., 1987 y Wiseman y col., 2000). Además, Carrér (2004) reporta que a medida que la viscosidad es menor, el grado de digestibilidad para proteína, almidón y lípidos disminuye.

Los valores encontrados a nivel de digestibilidad ileal, no mostraron diferencias estadísticas para EMA, EMAn y metabolibilidad de la energía bruta entre las comparaciones propuestas. El balance de nitrógeno fue significativamente mayor para el grupo MOS en 0.062 frente a los grupos AR3 Guaneña y Pastusa. Los valores de EMAn fueron mayores numéricamente para los tratamientos MOS 0.5%, MOS 1.5%, AR3 Guaneña 1.0%. Con relación al grupo AR3 Pastusa, se observó un comportamiento de tipo cuadrático, siendo el nivel de inclusión de 1.0%, el que mostro los mayores valores para EMA, EMAn y metabolibilidad. Las diferencias en las fracciones de almidón no digerido entre dietas pueden ser explicadas en parte por las características de almidón de los ingredientes utilizados. Por ejemplo, el almidón de los cereales tiene una estructura de tipo A, mientras que los granos de leguminosas tienen una estructura de tipo C y el almidón de papa presenta una estructura de tipo B (Zobel, 1988), siendo las

proporciones amilosa / amilopectina más altos en los granos de leguminosas (± 0.33), seguida de los granos de cereales (± 0.25) y la más baja para yuca, papa y arroz (± 0.20) (Eliasson y Gudmundsson, 1996). Para el presente estudio, se manejó un nivel de suplementación similar de AR tipo 1 (8.08%), con el fin de controlar esta variación entre las materias primas utilizadas, registrando así el efecto del aditivo adicionado (MOS y AR3 de Guaneña o Pastusa), el cual ingreso dentro de la formulación mediante reemplazo en la matriz con glucosa, cubriendo el objetivo de formular dietas isoenergéticas e isoproteicas.

Los coeficientes de digestión de los diferentes nutrientes genera información acerca de las cantidades de nutrientes disponibles para el animal, pero no sobre las tasas o sitios de absorción. Una digestión gradual de los almidones puede tener un efecto de ahorro en los aminoácidos y por consiguiente mejorar la eficiencia de crecimiento en pollos de engorde, lo anterior ha sido demostrado en el caso del aminoácido lisina, ya que el suministro de almidones tipo SDS, mejoran la utilización de proteína y energía en pollos de engorde (Weurding y col., 2003). En este estudio no se encontró diferencias para los coeficientes de digestibilidad de la MS, (CDMS), MO (CDMO) y proteína (CDPC) a nivel de excretas. Con referencia al grupo MOS, el nivel de suplementación de 0.5% mostro los mayores valores para cada uno de los coeficientes, mientras que el caso de AR3 Pastusa mostró una respuesta de tipo cuadrática, siendo el nivel de 1.0%, el que presentara los mayores niveles para cada uno de los coeficientes. Para AR3 Guaneña no se observó ninguna tendencia entre los niveles de suplementación; sin embargo, numéricamente el nivel de 1.0% mostro los valores más altos. A nivel ileal, se observaron diferencias significativas para CDMO y CDPC, donde se determinó un menor coeficiente (3.36%) para el control sin suplementar frente a los demás tratamientos. Así mismo, el grupo MOS mostro un mayor valor de CDMO (+ 1.94%) y CDPC (+ 1.68%), comparado con los grupos AR3 Guaneña y AR3 Pastusa. Con relación al nivel de inclusión el grupo AR3 Guaneña mostró un comportamiento de tipo cuadrático para CDMS y CDMO, siendo el nivel de 1.0% el que mostrara los mayores valores. El AR3 Pastusa mostro un comportamiento de tipo cuadrático para CDMO y una tendencia de tipo cuadrático para CDMS. La digestibilidad aparente de la materia seca puede relacionarse inversamente de manera lineal con el nivel de inclusión del AR3 ($r^2 0.99$) (Bullock y Norton, 1999). En este

estudio, no se observó un efecto negativo sobre el CDMS al incrementar el nivel de suplementación de AR3 Guaneña o AR3 Pastusa, en este último, el mayor valor fue para el nivel de inclusión de 1.0%.

En el presente estudio, los valores de colesterol total no presentaron diferencias significativas entre el control sin suplementar y los demás tratamientos. Sin embargo, numéricamente los grupos experimentales MOS y AR3 Guaneña mostraron valores en promedio 14.6% y 8.1% para esta variable. A su vez, el valor promedio de todos los tratamientos se encontró dentro del rango reportado por Osorio y Col. (2012) de 136.8 ± 21.4 mg / dl (mín. 92.1 y máx. 188.6) para la estirpe de pollos Ross 308, pero cuyo promedio fue menor al reportado por este autor (113.43 ± 10.22). Igualmente se observó una diferencia entre el grupo MOS y AR3 de Guaneña y Pastusa, donde el primero presentó 16.37 mg / dl menos. En pollos de engorde, el tipo de dieta o los aditivos como los prebióticos, pueden alterar el peso corporal (Kim y col., 2011), así como también influir en la acumulación de grasa corporal, la cual es afectada por los ácidos grasos sintetizados en el hígado, ya que en las aves hay una limitada lipogénesis en el tejido adiposo (Griffin y col., 1992).

El efecto del MOS sobre la disminución de los niveles de colesterol sérico no están totalmente documentados (Kannan y col., 2005). Kannan y col. (2005) reportaron que la concentración sérica de colesterol total fue menor ($P < 0,01$) en pollos alimentados con 0.5% MOS frente a la dieta control a las cinco semanas de edad. Resultados similares con fibras dietarias han sido reportados por Mohan y col. (1996) y Kalavathy y col. (2003). En contraste, Yalcinkaya y col. (2008) reportó que la inclusión de MOS en dietas para pollos de engorde no redujo significativamente el colesterol sérico y los niveles de triglicéridos comparados con el control sin suplementar.

Con relación al contenido de triglicéridos y colesterol VLDL, se observó una tendencia, donde el control sin suplementar mostró numéricamente un valor más alto frente a los demás tratamientos (111.48 mg / dl vs. 92.40 mg / dl para triglicéridos y 22.30 mg / dl vs 19.15 mg / dl para colesterol VLDL). Con relación al grupo MOS se observó una disminución significativa a medida que el nivel de suplementación aumentaba para ambas variables. En el caso de AR3 de Pastusa se observó una tendencia contraria al MOS, donde el tratamiento de 0.5% mostró el menor valor. Los valores reportados en

este estudio, difirieron ampliamente en todos los grupos experimentales comparados con los reportados por Osorio y Col. (2012) con un promedio de 24.9 ± 7.0 mg / dl (mín. 45.3 máx. 45.5 mg / dl) y 5 ± 1.4 mg / dl (mín. 3.1 máx. 9.1 mg / dl) para triglicéridos y colesterol VLDL, frente a 94.30 ± 17.92 mg / dl y 19.42 ± 2.43 mg / dl, respectivamente. Se ha demostrado que algunas fibras dietarias pueden tener efecto sobre el metabolismo de los triglicéridos, afectando sus niveles hepáticos o séricos (Ortiz y col., 2011).

Con relación al colesterol HDL y LDL, no se observaron diferencias entre el control sin suplementar y los demás tratamientos, al igual que entre los grupos AR3 Guaneña y AR3 Pastusa. Cuando se comparó el valor promedio del grupo MOS frente al promedio de los grupos AR3 Guaneña y Pastusa, se observó un menor valor en ambas variables para el grupo MOS (17.85 mg / dl y 65.95 mg / dl vs 19.92 mg / dl y 75.47 mg / dl, respectivamente). Los valores de este estudio, difirieron de los reportados por Osorio y Col. (2012) para la línea Ross 308, siendo el valor promedio para colesterol HDL de 101.5 ± 12.9 mg / dl (mín. 73.8 máx. 131.0 mg / dl) y para colesterol LDL 30.3 ± 11.7 mg / dl (mín. 7.3 máx. 55.5 mg / dl). Igualmente estos resultados son contrastantes con los reportados por Ashayerizadeh y col. (2011) quienes obtuvieron un valor más bajo para triglicéridos y valores más altos para colesterol HDL, siendo mayores los valores obtenidos para colesterol LDL en este estudio, utilizando un producto comercial (Biolex-MB®) con base en *Saccharomyces cerevisiae*. Sin embargo, este mismo autor hasta el día 21 de edad, no reportó diferencias significativas entre los grupos experimentales para los valores de triglicéridos, Colesterol HDL, LDL y VLDL.

3.5 Conclusiones

La suplementación de AR retrogrado de las variedades Guaneña y Pastusa en dietas para pollos de engorde hasta los 25 días de edad no afectó la digestibilidad de nutrientes ni el valor de energía metabolizable de la dieta, pero no produjo un efecto negativo sobre los parámetros productivos evaluados, frente a un control sin suplementar y un control positivo como fue MOS.

Los grupos experimentales AR3 Guaneña 1.0% y AR3 Pastusa 1.0%, mostraron de manera general los mejores valores para las diferentes variables evaluadas hasta los 25

días de edad, los cuales se recomienda sean probados a una mayor escala y durante un ciclo completo de producción de pollos de engorde.

Existen otras variables como la motilidad intestinal, la tasa de pasaje de la digesta, las enzimas digestivas y otros aspectos propios de la funcionalidad del intestino que pueden afectar la digestión y que serían necesarios tener en cuenta para obtener resultados más precisos y ponderables de los almidones resistentes de papa en el tracto gastrointestinal de las aves.

Lo observado a nivel del perfil lipídico, indica un comportamiento similar entre MOS y AR3 de Guaneña y Pastusa, dando un soporte inicial al uso de estos almidones en el diseño y formulación de un aditivo alimenticio caracterizado por sus efectos benéficos a nivel del colon y por ende en el estatus productivo durante el ciclo de vida de los pollos de engorde.

3.6 Bibliografía

Ao, Z. Kocher, S. Tucker, L. A. Choct, M. 2004. The use of oligosaccharides to improve broiler performance. Proc. XXII World's Poultry Congress, Istanbul, CD-Rom.

AOAC, 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Arlington,VA.

AOAC. 1998. Official Method 996.11: Starch (Total) in Cereal Products - Amyloglucosidase- α -Amylase Method. First Action 1996 AOAC-AACC Method, 32.2.05^a. In *Journal of AOAC International*, Int. 80, 571(1997).

Ashayerizadeh, A. Dabiri, N. Mirzadeh, K. H. and Ghorbani, M. R. 2011. Effect of dietary supplementation of probiotic and prebiotic on growth indices and serum biochemical parameters of broiler chickens *Journal of Cell and Animal Biology* Vol. 5(8), pp. 152-156.

Bednar, G. E. Patil, A. R. Murray, S. M. Grieshop, C. M. Merchen, N. R. and Fahey, Jr G. C. 2001. Starch and fiber fractions in selected food and feed ingredients affect their small intestinal digestibility and fermentability and their large bowel fermentability in vitro in a canine model. *The journal of nutrition* 131: 276–286.

Berry, C. J. 1986. Resistant starch: formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amyolytic enzymes during the determination of dietary fibre. *Journal of Cereal Science*, 4, 301–314.

Brown, I. L. McNaught, K. J. and Moloney, E. 1995. *Hi-maize*TM: New directions in starch technology and nutrition. *Food Aust.* 47, 272–275

Bullock, N. R. and Norton, G. 1999. Biotechniques to assess the fermentation of resistant starch in the mammalian gastrointestinal tract. *Carbohydrate Polymers* 38; pp. 225–230

Carré, B. 2004. Causes for variation in digestibility of starch among Feedstuffs World's Poultry Science Journal, Volume 60; Issue 01, pp 76-89

Cepero, R. 2006. Retirada de los antibióticos promotores de crecimiento en la Unión Europea: causas y consecuencias. Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Facultad de Veterinaria., Universidad de Zaragoza.

CIP. 2008. About potatoes. <<http://www.cipotato.org/potato>> Accessed 15.03.13

Clifford, D. H. 1984. Preanesthesia, anesthesia, analgesia and euthanasia. In: Fox, J.G., Cohen, B.J. and Loew, F.M. (Eds). Laboratory animal medicine. New York, NY: Academic Press, pg 528 - 563.

Cuevas, A. C. Martínez, B. F. Tinoco, S. F. Enriquez, M. C. M. and Gonzales, E. A. 2007. Evaluation of the presence of a microbial phytase (*Peniophora lycii*) in sorghum-soybean deficient meal diets for broilers, on ileal protein, and amino acid digestibility and metabolizable energy. *Vet. Mex*, 31:21-30

Eerlingen, R. C. Jacobs, H. and Delcour, J. A. 1994. Enzyme-resistant starch. 5. Effect of retrogradation of waxy maize starch on enzyme susceptibility. *Cereal Chemistry* 71: 351-355.

Eliasson, A. C. and Gudmundsson, M. 1996. Starch: physicochemical and functional aspects. In: Carbohydrates in Food (Eliasson, A. C., ed.), pp. 431-503. Marcel Dekker, New York, NY.

Englyst, H. N. and Cummings, J. H. 1987. Digestion of polysaccharides of potato in the small intestine of man. *Am. J. Clin. Nutr.* 45:423-431.

Englyst, H. N. Kingman, S. M. and Cummings, J. H. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46, S33-50.

FAO. 2008. FAOSTAT. <<http://faostat.fao.org>> Accessed 15.03.13

FAO. 2008a. The International Year of the Potato. <http://www.potato2008.org> Accessed 19.07.10.

Fleming, S. E. Zambell, K. L. Fitch, M. D. 1997. Glucose and glutamine provide similar proportions of energy to mucosal cells of rat small intestine. *Am. J. Physiol.* 273, G968-G978.

Fox, S. I. 1996. Human Physiology, p. 588. Wm. C. Brown. Publishers, Chicago, United States of America.

Friedewald, W. Levy, R. Fredrickson, D. 1972. Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Clin. Chem.* 18:499-502.

Gofi, I. García-Díaz, L. Mañas, E. and Saura-Calixto, F. 1996. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*, Vol. 56, No. 4 pp. 445 - 449.

Griffin, H. D. Guo, K. Windsor, D. Butterwith, S. C. 1992. Adipose tissue lipogenesis and fat deposition in leaner broiler chickens. *J. Nutr.* 122:363-368.

Gunal, M. Yayli, G. Kaya, O. Karahan, N. Sulak, O. 2006. The effects of antibiotic growth promoter, probiotic or organic acid supplementation on performance, intestinal microflora and tissue of broiler. *Int. J. Poultry Sci.*, 5: 149-155.

Hooge, D. M. Sefton, A. E. 2004. Performance evaluation of dietary manann oligosaccharide for broiler chickens: Ten years of field trials analysed. Proc. XXII World's Poultry Congress, Istanbul, CD-Rom.

Kalavathy, R. Abdullah, N. Jalaludin, S. and Ho, Y. W. 2003. Effect of *Lactobacillus* cultures on growth performance, abdominal fat deposition, serum lipids and weight of organs of broiler chickens. Br. Poult. Sci., 44: 139-144.

Kannan, M. Karunakaran, R. Balakrishnan, V. and Prabhakar, T. G. 2005. Influence of Prebiotics Supplementation on Lipid Profile of Broilers International Journal of Poultry Science 4 (12): 994-997

Kim, G. B. Seo, Y. M. Kim, C. H. and Paik, I. K. 2011. Effect of dietary prebiotic supplementation on the performance, intestinal microflora, and immune response of broilers. Poult. Sci. 90:75-82.

Knudsen, K. E. B. Lærke, H. N. Steinfeldt, S. Hedemann, M. S. and Jørgensen H. 2006. *In vivo* methods to study the digestion of starch in pigs and poultry Animal. Feed Science and Technology 130:114–135

Leeman, A. M. Karlsson, M. E. Eliasson, A. C. and Bjork, I. M. E. 2006. Resistant starch formation in temperatura treated potato starches varying in amylose/amylopectin ratio. *Carbohydrate Polymers*, 65, 306–313.

Martínez-Puig, D. 2006. Implicaciones digestivas y metabólicas del consumo de almidón resistente en el cerdo. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Pp.197.

Mohan, B. Kadirvel, R. Natarajan, A. and Bhaskaran, M. 1996. Effect of probiotic supplementation on growth, nitrogen utilization and serum cholesterol in broilers. Br. Poult. Sci., 37: 395-401.

Napaporn, A. Sujin, S. and Saiyavit. 2000. Morphological properties of acidmodified tapioca starch. *Starch/Starke*. 52, 283-289.

Noda, T. Takigawa, S. Matsuura-Endo, C. Suzuki, T. Hashimoto, N. Kottarachchi, N.S. Yamauchi, H. and Zaidul, I. S. M. 2008. Factors affecting the digestibility of raw and gelatinized potato starches *Food Chemistry* 110: 465–470

Ortiz, L. T. Velasco, S. Rodríguez, M. L. Rebolé, A. y Alzueta, C. 2011. Los prebióticos tipo inulina en alimentación aviar II: efectos sistémicos. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 5(1):103 – 119.

Osorio, J. H. Flórez-Ochoa, J. D. and Uribe-Velásquez, L. F. 2012. Comparación del perfil lipídico en dos líneas de pollos de engorde. *Revista Científica*, vol. XXII, núm. 6, pp. 553-559.

Pelicano, E. R. L. de Souza, P. A. de Souza, H. B. A. Leonel, F. R. Zeola, N. M. B. L. and Boiago, M. M. 2004. Productive traits of broiler chickens fed diets containing different growth promoters. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 6:177–182.

Pomeranz, Y. 1992. Research and development regarding enzyme resistant starch (RS) in the USA - a review. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46, S63–S68.

Rideout, T. C. Liu, Q. Wood, P. and Fan, M. Z. 2008. Nutrient utilisation and intestinal fermentation are differentially affected by the consumption of resistant starch varieties and conventional fibres in pigs. *British Journal of Nutrition*, Vol. 99; Issue 05, pp 984-992.

Rogel, A. M. Annison, E. F. Bryden, W. L. Balnave, D. 1987. The digestion of wheat starch in broiler chickens. *Aust. J. Agric. Res.* 38, 639–649.

Rostagno, H. 2005. *Tabelas brasileiras para aves e suínos*. Viçosa (MG), Universidade Federal de Viçosa.

Sakomura, N. K. Rostagno, H. S. 2007. *Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos*. Jaboticabal: FUNEP; 283 p.

SAS, 2007. *Statistical Analysis System Institute Inc. SAS/STAT. Version 9. Cary. NC. Users guide statistical analysis system*. Institute, Inc. Cary, W.C.

Simon, O. and Jadamus, A. 2002. Probiotics and prebiotics. Proc. 11th Eur. Poultry Conf., Bremen (Germany) July 2002, CD-Rom.

Singh, N. Singh, J. Kaur, L. Sodhi, N. S. and Gill, B. S. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources: A Review. *Food Chem.*, 81, 219–231.

Steel R. G. D. y Torrie J. H. 1992. *Bioestadística. Principios y Procedimientos*. Editorial Graf América. México. 622 p.

Truswell, A. S. 1992. Glycaemic index in foods. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46 (suppl. 2): S91–S101.

Van der Aar. 2003. Getting to know starch better. *Feed mix*, vol. 11; Num.2, En: www.AgriWorld.nl

Weurding, R. E. Enting, H. and Verstegen, M. W. A. 2003 The effect of site of starch digestion on performance of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 110: 175–184

Weurding, R. E. Veldman, A. Veen, W. A. G. van der Aar, P. J. and Verstegen, M. W. A. 2001. *In vitro* starch digestion correlates well with rate and extent of starch digestion in broiler chickens. *J. Nutr.* 131: 2336–2342.

Wiseman, J. Nicol, N. T. and Norton, G. 2000. Relationship between apparent metabolisable (AME) values and *in vivo/in vitro* starch digestibility of wheat for broilers. *World's Poult. Sci. J.* 56, 305–318.

Yalcinkaya, H. Gungori, T. Bafialani, M. and Erdem, E. 2008. Mannan oligosaccharides (MOS) from *Saccharomyces cerevisiae* in broilers: effects on performance and blood biochemistry. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 32(1): 43-48.

Zeleznač, K. J. and Hosney, R. C. 1986. The role of water in the retrogradation of wheat starch gels and bread crumb. *Cereal Chemistry* 63: 407-411.

Zhang, A. W. Lee B. D. Lee, S. K. Lee, K. W. An, G. H. Song, K. B. and Lee, C. H. 2005. Effects of yeast (*saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality, and ileal mucosa development of broiler chicks. *Poult. Sci.*, 84: 1015-1021.

Zhou, Z. Topping, D. L. Morell, M. K. and Bird, A. R. 2010. Changes in starch physical characteristics following digestion of foods in the human small intestine *British Journal of Nutrition*, 104, pp 573-581

Zobel, H. F. 1988. Molecules to granules: a comprehensive starch review. *Starch* 40: 44–50.

4. Influencia del AR retrogradado de papa sobre el desarrollo macro y microestructural del TGI y la producción de AGV de pollos de engorde en etapa de crecimiento

4.1 Introducción

Los progresos genéticos alcanzados en las últimas décadas y el diseño y formulación de sistemas de alimentación más eficientes han conducido a optimizar la función de producción de carne de pollo, lo cual se traduce en que el ave alcanza fisiológicamente más temprano, el peso corporal al mercado (Nitsan y col., 1991a). Este desarrollo se encuentra enmarcado en un rápido crecimiento durante la primera semana de edad, relacionado con el desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI) que involucra grandes cambios, tanto en los órganos asociados a este, como en la microestructura de los segmentos del intestino delgado (Murakami y col., 1992 y Jin y col., 1998).

La salud intestinal de las aves es el factor más determinante de su desempeño productivo. Este equilibrio depende de la preservación armoniosa de la relación entre los microorganismos que colonizan el tracto gastrointestinal (TGI) y el huésped (Neish, 2002), donde los enterocitos están estrechamente unidos formando un cito esqueleto que separa el ecosistema de la luz intestinal y el huésped (Collier y col., 2003). En consecuencia, cualquier microorganismo o agente que pueda causar una perturbación, va a conducir a la presentación de enfermedad, el cual se caracteriza inicialmente por una respuesta inflamatoria, afectando la homeostasis del TGI (Kelly, 2004). Lo anterior causa pérdidas productivas, incrementa la mortalidad y el decomiso de los productos finales (Baurhoo y col., 2009).

El almidón es un polímero ampliamente distribuido y es el principal componente de los cereales, tubérculos, leguminosas y frutos inmaduros (Bello-Pérez y Paredes-López, 2009), siendo uno de los principales componentes energéticos en la dieta del hombre y los animales. De otra parte, es conocido que una parte de este almidón escapa a la digestión y absorción del intestino delgado, siendo fermentado en el intestino grueso, con la consecuente producción de AGV (Asp, 1992). De otra parte, la fibra dietaria está constituida por los polisacáridos no amiláceos (PNA), oligosacáridos resistentes y carbohidratos análogos, incluyendo el almidón resistente (AR) (Sharma y col., 2008). Este se divide en cuatro grupos: el almidón de difícil acceso físico (AR1), los gránulos de almidón no gelatinizados (AR2), el almidón retrogradado (AR3) y el almidón modificado químicamente (AR4) (Fuentes-Zaragoza y col., 2010). Se ha señalado que el AR3 posee dos subtipos, AR3a cuyo mayor contenido es amilopectina cristalina y AR3b que contiene una red de amilosa parcialmente cristalinizada (Thiemeier y col., 2005).

Se ha señalado que el AR3 tiene un efecto más marcado en la producción de AGV, siendo el ácido butírico el principal producto de esta fermentación microbiana (Sharp y Macfarlane, 2000). Así, se establecen patrones de fermentación y perfiles de AGV característicos, incluyendo una tasa relativa más lenta de fermentación, donde la producción de butirato es más alta para AR frente a la mayoría de las fibras dietarias, siendo este el principal nutriente para los colonocitos (Bello-Pérez y Paredes-López, 2009). Otro efecto positivo es la influencia potencial positiva sobre la función inmune mediada por los productos metabólicos de la flora microbiana (Brouns y col., 2002). Sin embargo, el tiempo de permanencia del almidón en el lumen del intestino delgado, es el determinante principal de la cantidad que llega finalmente al íleon terminal. Por lo tanto, el tiempo de exposición del almidón ingerido a las amilasas salival y pancreática y las hidrolasas de las células de borde de cepillo, pueden alterar la cantidad de almidón resistente que puede llegar a la microflora del colon; sin embargo, es importante señalar que el almidón resistente no es estrictamente indigestible e incluye materiales que pueden ser potencialmente digeridos (Bird y col., 2009).

Recientemente el almidón resistente ha recibido mucha atención tanto por los beneficios potenciales para la salud (similar a una fibra soluble) y propiedades funcionales, al

influenciar positivamente en el funcionamiento del tracto digestivo y la microflora (Fuentes-Zaragoza y col., 2010). Por lo tanto, el AR sería una forma inusual de fibra dietaria, cuya concentración puede cambiar durante el procesamiento y consumo del alimento (Bello-Pérez y Paredes-López, 2009). Sin embargo, las respuestas entre especies pueden ser diferenciales (Bird y Topping, 2001).

La potencialidad del almidón resistente retrogradado de papa y sus efectos sobre el tracto gastrointestinal en pollos de engorde no han sido estudiados. Por lo tanto, este capítulo de la tesis busca evaluar la influencia del almidón resistente retrogradado (AR3) de las variedades de papa Guaneña y Pastusa sobre el desarrollo alométrico del TGI, la morfometría del intestino delgado y la producción de AVG, para ser utilizado como una fuente de fibra dietaria en sistemas de alimentación de pollos de engorde.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Bioensayo con pollos de engorde

Comité de Bioética Animal. El estudio fue sujeto a evaluación y aprobación para su realización por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, Acta No. 002 de 2009.

Localización. Este estudio se realizó en las instalaciones avícolas de la Corporación Agropecuaria Colombiana Corpoica – CI – Tibaitata, ubicado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca). Este centro se localiza a 2650 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 14°C y humedad relativa promedio de 76%.

Animales y alojamiento. Se utilizaron 600 pollos de un día de edad de la línea Ross provenientes de un mismo lote, asegurando condiciones similares de manejo y ambientales. Se alojaron 12 aves por corral, en baterías experimentales de 5 pisos y dos corrales por piso, cada una dotada de un sistema de calefacción, comedero lateral de canal y bebedero automático de nipple. La temperatura inicial de recepción fue de 35 °C y fue disminuyendo gradualmente cada semana hasta alcanzar un promedio de 18 °C. Se manejó iluminación continua durante la primera semana y 16 horas a partir del día ocho de edad. Las aves tuvieron acceso libre al agua de bebida y al alimento durante la

110 Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (*Solanum tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable, e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde

totalidad del experimento. Se vacunó al día uno contra Viruela Aviar (vía alar) y a los 10 días de edad contra New Castle (vía ocular).

Tratamientos experimentales. Las aves fueron distribuidas de manera aleatoria en 10 tratamientos, suministrando una dieta de iniciación tipo comercial para todo el periodo experimental de acuerdo a los requerimientos nutricionales definidos para esta fase de acuerdo a las Tablas Brasileñas de Alimentación (Rostagno, 2005).

Tabla 4-1: Dietas experimentales utilizadas en el bioensayo del día 5 al 25 de edad

Dietas experimentales										
Ingredientes	Control	MOS0,5	MOS1,0	MOS1,5	AR3G0,5	AR3G1,0	AR3G1,5	AR3P0,5	AR3P1,0	AR3P1,5
Maíz	42,24	42,57	42,52	42,42	42,59	42,50	42,39	0,42,59	42,51	42,40
Glucosa	8,33	8,40	7,73	6,94	6,27	3,36	0,37	6,16	3,14	0,05
Harina arroz	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Salvado trigo	1,49	0,19			0,10			0,11		
Soya extruida			1,76	3,83		2,04	4,26		2,02	4,22
Torta soya-49	31,42	31,82	30,46	28,79	31,85	30,23	28,45	31,84	30,25	28,48
H. pescado	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Aceite soya	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Fosfato mono	1,26	1,27	1,26	1,25	1,27	1,26	1,25	1,27	1,25	1,25
Carbonato de ca	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Sal	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Bicarbo. de Na	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
DL-Metionina	0,18	0,18	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19
L-Lisina HCl	0,18	0,17	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18
L-Treonina	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Cl. Colina 60%	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Premex vit-min	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
MOS		0,50	1,00	1,50						
AR3G					2,67	5,34	8,01			
AR3P								2,78	5,56	8,33
Análisis de nutrientes (calculado)										
EM (Mcal/Kg)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Proteína (%)	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50
AR tipo1	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08
AR3					0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
Calcio	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
P-disponible	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Bal. electrolítico	258,42	257,13	256,70	258,42	257,04	256,76	256,56	257,00	256,70	256,56
Lisina digestible	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20

MOS, Manano oligosacáridos; AR3G, almidón resistente retrogradado de papa Guaneña; AR3P, almidón resistente retrogradado de papa Pastusa. El óxido de cromo se añadió a las dietas como un marcador externo en una concentración de 0.5% a expensas del maíz.

Se realizó un análisis proximal a las materias primas acorde a los protocolos propuestos por la AOAC (2000) evaluando los siguientes parámetros: humedad, proteína cruda, cenizas y energía bruta y se determinó el contenido de almidón total (AOAC, 1998) y almidón resistente (Goñi y col., 1996). Las dietas fueron isocalóricas e isoproteicas,

manteniendo niveles similares de calcio y fósforo, balance electrolítico e inclusión de almidón resistente tipo 1 similar. Las dietas se suministraron a partir del día 5 hasta el día 25 de edad. Las aves fueron pesadas con la ayuda de balanza electrónica (exactitud de 0.05 g), los días 5, 12, 19 y 25 de edad. Los 10 tratamientos experimentales utilizados fueron: 1. Control sin suplementar; 2 al 4. Niveles alto, medio y bajo de Manano oligosacáridos (MOS); 5 al 7. Niveles alto, medio y bajo de concentración de AR3 de papa Guaneña y 8 al 10. Niveles alto, medio y bajo de concentración de AR3 de papa Pastusa (Tabla 4-1).

4.2.2 Dinámica de desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI)

Para describir la dinámica de desarrollo del TGI, se utilizó el protocolo descrito por Stringhini y col. (2006), donde cinco aves por tratamiento fueron sacrificadas por dislocación cervical los días 5, 12, 19 y 25 de edad. Posteriormente se realizó la disección del área abdominal, la extracción completa del TGI, para obtener el peso relativo de los órganos con respecto al peso corporal. Los componentes que se pesaron individualmente fueron: proventrículo, molleja, intestino delgado (duodeno, identificado desde unión de la molleja hasta el punto de entrada del ducto de la bilis, yeyuno desde esta última zona hasta el divertículo de Meckel e íleon, desde el divertículo de Meckel hasta la unión ileocecal), ciegos y colón. Estos componentes fueron lavados en su interior con solución salina para la evacuación de su contenido intestinal. También se pesaron los órganos adyacentes del TGI como el hígado y el páncreas. Los componentes fueron pesados en una balanza electrónica (0.01 g de exactitud). Adicionalmente se midió la longitud (cm) del duodeno, yeyuno e íleon del intestino delgado.

4.2.3 Morfometría del tracto intestinal

Para definir la morfometría del tracto intestinal se utilizó el protocolo descrito por Maiorka y col. (2000), donde al día 25 de edad, cinco aves seleccionadas al azar de cada tratamiento sin ayuno, fueron sacrificadas por dislocación cervical, se les removió el TGI completamente, buscando la menor manipulación del mismo y se colectaron muestras de 2 cm² de los diferentes segmentos del intestino delgado. Los sitios de muestra fueron: 1) el ápice del duodeno, 2) la mitad entre el punto de entrada del ducto de la bilis y el divertículo de Meckel (yeyuno) y 3) 10 cm proximales de la unión del ileocecal (íleon). Las muestras se fijaron en una solución de formalina bufferada neutra por 72 horas. El

procesamiento de las muestras se realizó por parte de un técnico especialista certificado, tomando cortes de 1 mm para la deshidratación de las muestras en alcohol, las cuales posteriormente se incluyeron en bloques de parafina para hacer cortes transversales de 2 μm con un micrótomo. Se prepararon láminas que se tiñeron con una coloración de hematoxilina-eosina. Las vellosidades fueron digitalizadas por medio de una cámara acoplada a un microscopio de contraste de fases Nikon® Eclipse 600 una y analizadas por medio del programa para análisis de imágenes NIS-Elements BR 3.2®. Se seleccionaron diez vellosidades adyacentes, sobre las cuales se les tomaron las siguientes dimensiones: Altura de la vellosidad (desde el ápice hasta la base de la vellosidad), profundidad de la cripta (desde la base de la vellosidad hasta la lámina basal) y la amplitud (tomando medición a la altura del ápice y la base de la vellosidad). El área de la superficie de la vellosidad fue calculado usando la siguiente fórmula = $((AV \text{ ápice} + AV \text{ base}) / 2) \times (LV)$ en la cual AV = ancho de la vellosidad y LV = largo de la vellosidad.

4.2.4 Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) y determinación de pH en el contenido cecal

Al día 25 de edad, a las mismas cinco aves seleccionadas al azar para describir la dinámica de desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI), se les extrajo el contenido cecal de cada ave por separado, siendo cada ave una réplica. De este contenido asépticamente homogenizado se tomaron las muestras para posteriormente determinar el pH y la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) (acético, propiónico y butírico) en el Laboratorio de Nutrición Animal de CORPOICA. Para determinar el pH, dentro de los 45 minutos subsiguientes al sacrificio de las aves, se tomaron 0.2 g de cada muestra de contenido cecal y suspendieron en 2.4 ml de agua destilada desionizada. Esta mezcla se agitó con ayuda de un asa bacteriológica desechable, insertando luego un electrodo de pH, para obtener la lectura en un potenciómetro (Orion 611 pH meter, Orion Research, Cambridge, MA) (Corrier y col., 1990). Para determinar la concentración de AGV, se recolectaron 0.4 g de cada réplica en tubos eppendorfs con 1.6 ml de agua destilada estéril, agitando vigorosamente con la ayuda de un asa bacteriológica desechable, luego se adicionó ácido sulfúrico puro (2 μl) para estabilizar la muestra por acidificación, conservándolas a -20 °C (Hinton y col., 1990 y van Der Wielen y col., 2000 y van Der Wielen, 2002). Posteriormente, las muestras se centrifugaron dos veces a

13000 rpm por 15 minutos, se tomaron 800 µl de muestra, adicionándole 200 µl de estándar interno (2 ácido 2 etil butírico 25 mM en ácido metafosfórico), mezclando en vortex para luego filtrar (\varnothing 0.45 µm). El contenido de AGVs se determinó por cromatografía de gases (Cromatógrafo PERKIN - ELMER Auto System XL con detector FID, columna ZebroL ZB – FFAP 30 m de largo por 0.32 mm diámetro interno por 0.25 µm de tamaño de partícula), inyectando 5 µl para cada una de las muestras de acuerdo a la técnica descrita por Leedle y Paulissen (1989).

4.2.5 Análisis estadístico

Para determinar el efecto de los diferentes tratamientos experimentales sobre la dinámica de desarrollo y la morfometría del TGI, durante el periodo total experimental, la concentración de AGV (acetato, propionato y butirato) y el valor de pH ileal y cecal, al día 25 de edad, se utilizó un diseño completamente al azar (Steel y Torrie, 1992), cuya descripción es:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

μ : Media poblacional

A_i : Efecto del i-enésimo tratamiento

ϵ_{ijk} : Error experimental

i: 10 tratamiento

j: 5 réplicas

Y_{ij} : Valor observado de la variable

Mediante contrastes ortogonales se comparó el control sin suplementar contra el grupo suplementado, el grupo MOS frente al grupo de AR3 de papa (Guaneña y Pastusa) y el grupo AR3 Guaneña frente al grupo AR3 Pastusa. Para analizar el efecto de superficie de respuesta para MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa, se planearon polinomios ortogonales (lineal y cuadrático). Se utilizó la opción CONTRAST, mediante el procedimiento GLM de SAS versión 9.2 (2007). Se analizaron los supuestos normalidad del error y homogeneidad de la varianza para cada variable, siendo necesario hacer transformación (raíz cuadrada) para las variables morfométricas: área aparente de la velloidad del duodeno, yeyuno y del íleon.

4.3 Resultados

4.3.1 Dinámica de desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI)

Todos los componentes del TGI aumentaron su peso o longitud a través del tiempo. Un mayor coeficiente de variación fue observado a lo largo del periodo experimental para los componentes: páncreas (CV. 13.40 – 18.40), colon (CV. 15.83 – 22.13), ciego lleno (CV. 20.04 – 121.99), proventrículo (CV.13.47 – 88.44). Al día 19 de edad el peso del duodeno (CV. 17.15) y al día 25 de edad el peso del íleon (CV. 35.57) y el peso del duodeno (CV. 25.71). Con relación a la dinámica del desarrollo de TGI, en la tabla 4-2 se pueden observar los componentes en sus valores relativos para el día 12 de edad.

Tabla 4-2: Efecto del MOS y AR3 de papa Guaneña y Pastusa sobre el peso y medición relativa de los componentes del TGI de pollos de engorde a los 12 días de edad

Tratamiento	NI (%)	Componente																
		(g/100g PV)												(cm/100g PV)				
		TGI	Pan	Hig	Pro	Ven	Col	Ciell	Ciev	Duo	Yey	Ile	IDP	IGCV	Duo1	Yey1	Ile1	IDL
Control	0	18,08	0,47	3,64	1,00	4,76	0,36	0,97	0,65	1,83	2,47	2,10	6,22	1,03	7,92	15,51	14,25	38,38
MOS	0,5	17,80	0,47	3,58	0,87	4,50	0,39	1,04	0,63	1,68	2,85	2,01	6,59	1,02	6,97	14,97	13,57	35,51
MOS	1,0	17,36	0,42	3,46	0,91	4,24	0,30	0,80	0,55	1,70	2,74	2,04	6,68	0,89	7,17	14,34	13,66	35,16
MOS	1,5	17,37	0,43	3,68	0,91	4,21	0,35	0,92	0,55	1,58	2,82	1,71	6,12	0,90	6,57	14,79	12,40	33,76
AR3 Guaneña	0,5	16,91	0,44	3,48	0,81	3,86	0,33	0,96	0,58	1,62	2,88	1,81	6,14	0,91	6,66	14,88	13,51	35,05
AR3 Guaneña	1,0	17,91	0,43	3,55	0,87	4,43	0,38	0,98	0,53	1,75	2,77	1,92	6,44	0,91	6,96	13,60	12,68	33,23
AR3 Guaneña	1,5	18,09	0,47	3,60	0,87	4,65	0,37	0,86	0,57	1,73	2,73	1,79	6,24	0,89	7,12	14,53	13,46	35,11
AR3 Pastusa	0,5	18,16	0,49	3,58	0,93	4,52	0,37	0,85	0,59	1,61	2,92	1,89	6,50	0,96	6,89	14,90	14,67	35,62
AR3 Pastusa	1,0	17,93	0,48	3,42	0,90	4,52	0,35	1,01	0,53	1,72	3,01	1,99	6,72	0,91	6,84	14,32	12,87	34,02
AR3 Pastusa	1,5	18,17	0,43	3,66	0,83	4,13	0,37	0,90	0,55	1,63	2,55	2,09	6,27	0,91	7,22	16,03	14,79	38,04
EEM		0,4	0,03	0,15	0,05	0,23	0,02	0,06	0,04	0,07	0,16	0,11	0,21	0,05	0,24	0,67	0,73	1,39
Contrastes																		
Control vs. todos		NS	NS	NS	*	T	NS	NS	*	*	*	NS	NS	*	**	NS	NS	*
MOS vs. AR3 de papa		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
AR3: Guaneña vs. Pastusa		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	T	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Efecto del nivel																		
MOS		NS	NS	NS	NS	NS	C*	C*	NS	NS	NS	L ^T	NS	NS	NS	NS	NS	NS
AR3 Guaneña		L*	NS	NS	NS	L*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
AR3 Pastusa		NS	L ^T	NS	NS	NS	NS	C ^T	NS	NS	L ^T	NS	NS	NS	NS	NS	C*	NS

MOS, Manano-oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado. Componentes: TGI tracto gastrointestinal; Pan, páncreas; Hig, hígado; Pro, proventrículo; Col, colon; Ciel, ciegos llenos; Ciev, ciegos vacíos; Duo, duodeno; Yey, yeyuno; Ile, ileon; IDP, peso intestino delgado; IGVC, peso intestino grueso (ciegos vacíos); Duo1, longitud duodeno; Yey1, longitud yeyuno; Ile1, longitud ileon; IDL, longitud intestino delgado. NI, Nivel Inclusión; Valor-p: *(P<0.05), ** (P<0.001), *** (P<0.0001); ^T Tendencia (P<0.10), NS No significativo

El control sin suplementar comparado con el grupo suplementado mostró un mayor peso relativo para los componentes proventrículo (0.13 g, P=0.02), ciego vacío (0.89 g, P=0.03), duodeno (0.16 g, P=0.04), siendo este más largo en 0.99 cm (P=0.0003), mostrando una mayor longitud total del intestino delgado (3.33 cm, P=0.02) y un mayor peso del intestino grueso (0.11 g, P=0.04), aun cuando se observó un menor peso del yeyuno (-0.34 g, P=0.04). El peso del íleon mostró una tendencia (P=0.09), siendo menor para el grupo AR3 Guaneña comparado con el grupo AR3 Pastusa.

Con relación a los niveles de inclusión, el grupo MOS mostró un comportamiento de tipo cuadrático para los componentes colon (P=0.02) ($Y_{\text{Peso Colon MOS}} = 0.621 - 0.610*X + 0.287*X^2$; $R^2: 0.64$; EE: 0.021 y N: 5) y ciegos llenos (P=0.01) ($Y_{\text{Peso Ciegos Llenos MOS}} = 1.618 - 1.519*X + 0.704*X^2$; $R^2: 0.71$; EE: 0.045 y N: 5), donde el menor valor se alcanzó para los niveles de inclusión de 1.06% y 1.07%, respectivamente.

Se observó una tendencia para el peso del íleon (P=0.06), siendo menor numéricamente para el nivel de 1.5%. El grupo AR3 Guaneña mostró un comportamiento de tipo lineal positivo para el peso del TGI (P=0.04) ($Y_{\text{Peso TGI}} = 16.45 + 1.182*X$; $R^2: 0.56$; EE: 0.33 y N: 5) y proventrículo (P=0.01) ($Y_{\text{Peso proventrículo AR3 Guaneña}} = 3.52 + 0.788*X$; $R^2: 0.48$; EE: 0.28 y N: 5), donde el nivel de 1.5% mostró el mayor peso. El grupo AR3 Pastusa mostró un comportamiento de tipo cuadrático para la longitud del íleon (P=0.04) ($Y_{\text{Longitud Ileon AR3 Pastusa}} = 20.19 - 14.79*X + 7.45*X^2$; $R^2: 0.52$; EE: 0.72 y N: 5), siendo mayor para la inclusión de 1.04%. Se observaron tendencias de tipo lineal negativa para el peso del páncreas (P=0.06) y el yeyuno (P=0.09), siendo mayor para el nivel de 0.5% así como una tendencia cuadrático (P=0.059) para el peso de los ciegos llenos, donde el nivel de 1.0% fue mayor.

En la tabla 4-3 se observan los componentes del TGI en valores relativos al día 19 de edad para cada tratamiento experimental. No se observaron diferencias (P>0.05) entre los componentes del TGI para las comparaciones propuestas entre el grupo MOS y AR3 de papa y AR3 Guaneña y AR3 Pastusa.

Tabla 4-3: Efecto del MOS y AR3 de papa Guaneña y Pastusa sobre el peso y medición relativa de los componentes del TGI de pollos de engorde a los 19 días de edad.

Tratamiento	NI (%)	Componente																
		(g/100g PV)												(cm/100g PV)				
		TGI	Pan	Hig	Pro	Ven	Col	Ciel	Ciev	Duo	Yey	Ile	IDP	IGCV	Duo1	Yey1	Ile1	IDL
Control	0	14,32	0,46	3,28	0,76	2,72	0,29	0,71	0,56	1,37	2,33	1,71	5,41	0,86	4,04	9,91	10,07	24,02
MOS	0,5	12,76	0,36	2,95	0,65	2,83	0,23	0,57	0,42	1,04	1,91	1,44	4,39	0,65	3,76	8,75	8,90	21,41
MOS	1,0	13,51	0,40	3,13	0,73	2,88	0,25	0,61	0,46	1,17	2,07	1,62	4,86	0,71	4,11	9,78	9,57	23,46
MOS	1,5	13,15	0,36	3,22	0,65	2,53	0,24	0,66	0,47	1,14	2,02	1,67	4,83	0,71	3,58	8,74	8,90	21,22
AR3 Guaneña	0,5	13,96	0,44	3,31	0,69	2,82	0,27	0,63	0,45	1,27	2,21	1,61	5,08	0,72	4,41	10,09	10,20	24,71
AR3 Guaneña	1,0	12,99	0,37	3,13	0,73	2,69	0,30	0,58	0,45	1,08	1,81	1,40	4,29	0,74	3,90	9,07	9,31	22,28
AR3 Guaneña	1,5	12,46	0,42	3,06	0,69	2,60	0,22	0,61	0,45	0,99	1,77	1,46	4,23	0,67	3,85	8,86	9,25	21,96
AR3 Pastusa	0,5	12,66	0,41	3,01	0,63	2,65	0,23	0,52	0,42	1,15	1,92	1,57	4,65	0,65	4,05	9,04	9,65	22,73
AR3 Pastusa	1,0	13,59	0,44	3,35	0,66	3,01	0,25	0,70	0,48	1,13	1,96	1,66	4,75	0,73	4,03	9,49	9,43	22,95
AR3 Pastusa	1,5	12,82	0,40	2,96	0,65	2,73	0,25	0,63	0,44	1,12	2,01	1,49	4,63	0,69	3,78	8,85	8,36	20,99
EEM		0,39	0,03	0,13	0,04	0,04	0,02	0,05	0,03	0,08	0,10	0,08	0,22	0,04	0,19	0,40	0,44	0,92
Contrastes																		
Control vs. todos		**	NS	NS	T	NS	T	T	**	**	**	T	**	**	NS	T	NS	NS
MOS vs. AR3 de papa		NS	T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
AR3: Guaneña vs. Pastusa		NS	NS	NS	T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Efecto del nivel																		
MOS		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	L ^T	NS	NS	C ^T	C*	NS	C ^T
AR3 Guaneña		L**	NS	NS	NS	NS	C ^T	NS	NS	L*	L**	NS	L**	NS	L*	L*	NS	L*
AR3 Pastusa		C ^T	NS	C*	NS	C ^T	NS	C ^T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	L*	NS

MOS, Manano-oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado. Componentes: TGI tracto gastrointestinal; Pan, páncreas; Hig, hígado; Pro, proventrículo; Col, colon; Ciel, ciegos llenos; Ciev, ciegos vacíos; Duo, duodeno; Yey, yeyuno; Ile, ileon; IDP, peso intestino delgado; IGVC, peso intestino grueso (ciegos vacíos); Duo1, longitud duodeno; Yey1, longitud yeyuno; Ile1, longitud ileon; IDL, longitud intestino delgado. NI, Nivel Inclusión; Valor-p: *(P<0.05), ** (P<0.001), *** (P<0.0001); ^T Tendencia (P<0.10), NS No significativo

En el páncreas se presentó una tendencia (P=0.08) al ser más liviano (-0.04g) para el grupo MOS frente al grupo AR3 de papa, mientras que el proventrículo presentó una tendencia (P=0.07) siendo más pesado en el grupo AR3 Guaneña en 0.05 g frente al grupo AR3 Pastusa. El control sin suplementar mostró mayores pesos frente al grupo suplementado para los componentes TGI (1.22 g, P=0.005), ciego vacío (0.12 g, P=0.001), duodeno (0.25 g, P=0.006), yeyuno (0.36 g, P=0.001), el peso del intestino delgado (0.77 g, P=0.001) y el peso del intestino grueso (0.16 g, P=0.001). El control sin suplementar mostró una tendencia para los componentes proventrículo (P=0.052), colon (P=0.09), ciego lleno (P=0.09), ileon (P=0.054) y para la longitud del yeyuno (P=0.08), presentando mayores valores.

Con relación a los niveles de inclusión, el grupo MOS mostró un comportamiento de tipo cuadrático para la longitud del yeyuno ($P=0.03$) ($Y_{\text{Longitud Yeyuno MOS}} = 5.65 + 8.25 * X - 4.13 * X^2$; $R^2: 0.58$; $EE: 0.33$ y $N: 5$), observando la mayor longitud a un nivel de inclusión 0.99%. A su vez, presentó una tendencia de tipo cuadrático para las longitudes del duodeno ($P=0.06$) y del intestino delgado ($P=0.06$) y de tipo lineal para el peso del íleon ($P=0.05$), siendo mayor en los dos primeros componentes para el nivel de 1.0% y para el nivel de 1.5% en el caso del íleon. En el caso del grupo AR3 Guaneña se observó un comportamiento de tipo lineal negativa para los componentes TGI ($P=0.009$) ($Y_{\text{Peso TGI AR3 Guaneña}} = 14.64 - 1.504 * X$; $R^2: 0.68$; $EE: 0.31$ y $N: 5$), duodeno ($P=0.01$) ($Y_{\text{Peso Duodeno AR3 Guaneña}} = 1.39 - 0.282 * X$; $R^2: 0.51$; $EE: 0.09$ y $N: 5$), yeyuno ($P=0.003$) ($Y_{\text{Peso Yeyuno AR3 Guaneña}} = 2.36 - 0.434 * X$; $R^2: 0.66$; $EE: 0.09$ y $N: 5$), peso intestino delgado ($P=0.007$) ($Y_{\text{Peso intestino delgado AR3 Guaneña}} = 5.38 - 0.857 * X$; $R^2: 0.64$; $EE: 0.20$ y $N: 5$), así como para la longitud del duodeno ($P=0.04$) ($Y_{\text{Longitud duodeno AR3 Guaneña}} = 4.61 - 0.563 * X$; $R^2: 0.54$; $EE: 0.17$ y $N: 5$), yeyuno ($P=0.03$) ($Y_{\text{Longitud yeyuno AR3 Guaneña}} = 10.57 - 1.235 * X$; $R^2: 0.52$; $EE: 0.39$ y $N: 5$) y la longitud total del intestino delgado ($P=0.04$) ($Y_{\text{Longitud intestino delgado AR3 Guaneña}} = 25.73 - 2.74 * X$; $R^2: 0.47$; $EE: 1.0$ y $N: 5$), siendo mayores los valores para el nivel de inclusión 0.5%. Se observó una tendencia de tipo cuadrático para el colon ($P=0.08$), donde numéricamente el mayor valor fue para el nivel de 1.0%. Para el grupo AR3 Pastusa se observó una comportamiento de tipo cuadrático para el hígado ($P=0.02$) ($Y_{\text{Peso Hígado AR3 Pastusa}} = 1.92 + 2.90 * X - 1.47 * X^2$; $R^2: 0.57$; $EE: 0.12$ y $N: 5$) 0.98% y de tipo lineal para la longitud del íleon ($P=0.04$) ($Y_{\text{Longitud íleon AR3 Pastusa}} = 10.43 - 1.287 * X$; $R^2: 0.74$; $EE: 0.22$ y $N: 5$), donde a nivel del hígado el nivel de inclusión de 0.98% mostró el mayor valor, mientras que para longitud del íleon fue el nivel de 0.5%. Se observaron tendencias de tipo cuadrático para los componentes TGI ($P=0.08$), ventrículo ($P=0.05$) y ciego lleno ($P=0.05$), donde los mayores valores fueron para el nivel de 1.0%.

En la tabla 4-4 se observan los componentes de TGI en valores relativos para los diferentes tratamientos experimentales al día 25 de edad. No se observaron diferencias significativas en ninguno de los componentes para el día 25 de edad entre el control sin suplementar y el grupo suplementado. Al comparar el grupo MOS frente al grupo AR3 de papa, se observaron diferencias significativas para los componentes TGI ($P=0.02$), duodeno ($P=0.04$), íleon ($P=0.03$) y peso del intestino delgado ($P=0.01$), donde el grupo MOS mostró una mayor peso para cada uno de los componentes (0.49 g, 0.07 g, 0.09 g y 0.22 g, respectivamente). Se observó una tendencia para el componente hígado

118 Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (*Solanum tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable, e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde

(P=0.08), siendo más pesado (+ 0.13g) frente al grupo AR3 de papa. Con relación a la comparación entre el grupo AR3 Guaneña y AR3 Pastusa se observaron diferencias para los componentes ventrículo (P=0.03) y la longitud del duodeno (P=0.04), donde el grupo AR3 Guaneña mostró el mayor valor (- 0.15 g y 0.17 cm) para ambas variables.

Tabla 4-4: Efecto del MOS y AR3 de papa Guaneña y Pastusa sobre el peso y medición relativa de los componentes del TGI de pollos de engorde a los 25 días de edad.

Tratamiento	NI (%)	Componente																
		(g/100g PV)												(cm/100g PV)				
		TGI	Pan	Hig	Pro	Ven	Col	Ciell	Ciev	Duo	Yey	Ile	IDP	IGCV	Duo1	Yey1	Ile1	IDL
Control	0,0	10,42	0,29	2,64	0,53	2,22	0,22	0,68	0,43	0,85	1,44	1,11	3,40	0,65	2,72	5,67	5,76	14,15
MOS	0,5	10,96	0,30	2,81	0,54	2,26	0,21	0,79	0,47	0,94	1,50	1,20	3,70	0,68	2,66	6,17	6,04	14,88
MOS	1,0	11,44	0,34	2,69	0,55	2,19	0,21	0,69	0,36	0,96	1,65	1,43	4,05	0,54	2,79	6,36	7,00	16,25
MOS	1,5	10,34	0,29	2,56	0,53	2,13	0,22	0,80	0,41	0,87	1,45	1,16	3,47	0,64	2,51	5,37	5,16	13,04
AR3 Guaneña	0,5	11,23	0,32	2,72	0,58	2,28	0,23	0,86	0,49	0,92	1,59	1,25	3,81	0,71	2,64	6,33	6,40	15,37
AR3 Guaneña	1,0	10,29	0,27	2,35	0,47	2,08	0,18	0,81	0,39	0,78	1,48	1,15	3,42	0,59	2,54	6,26	6,47	15,28
AR3 Guaneña	1,5	9,69	0,28	2,47	0,50	1,99	0,19	0,64	0,37	0,85	1,39	1,14	3,33	0,56	2,47	5,73	5,91	14,10
AR3 Pastusa	0,5	10,41	0,29	2,52	0,55	2,20	0,23	0,67	0,42	0,86	1,52	1,21	3,59	0,65	2,60	5,83	5,87	14,30
AR3 Pastusa	1,0	10,65	0,32	2,69	0,55	2,25	0,23	0,90	0,42	0,89	1,52	1,14	3,55	0,65	2,86	6,83	6,17	15,86
AR3 Pastusa	1,5	10,26	0,29	2,56	0,49	2,35	0,19	0,75	0,39	0,81	1,48	1,13	3,41	0,59	2,72	6,22	6,41	15,35
EEM		0,29	0,01	0,11	0,03	0,08	0,01	0,08	0,03	0,05	0,06	0,06	0,12	0,04	0,11	0,29	0,30	0,54
Contrastes																		
Control vs. todos		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MOS vs. AR3 de papa		*	NS	T	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	NS
AR3: Guaneña vs. Pastusa		NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
Efecto del nivel																		
MOS		C *	C **	NS	NS	NS	NS	NS	C ^T	NS	C *	C **	C **	C *	NS	L ^T	L* C**	L* C**
AR3 Guaneña		L **	L ^T C ^T	C ^T	C ^T	L *	L ^T	L ^T	L *	NS	L *	NS	L **	L **	NS	NS	NS	NS
AR3 Pastusa		NS	NS	NS	NS	NS	L ^T	C ^T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	C *	NS	NS

MOS, Manano-oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado. Componentes: TGI tracto gastrointestinal; Pan, páncreas; Hig, hígado; Pro, proventrículo; Col, colon; Ciel, ciegos llenos; Ciev, ciegos vacíos; Duo, duodeno; Yey, yeyuno; Ile, ileon; IDP, peso intestino delgado; IGVC, peso intestino grueso (ciegos vacíos); Duo1, longitud duodeno; Yey1, longitud yeyuno; Ile1, longitud ileon; IDL, longitud intestino delgado. NI, Nivel Inclusión; Valor-p: * (P<0.05), ** (P<0.001), *** (P<0.0001); ^T Tendencia (P<0.10), NS No significativo

Con relación a los niveles de inclusión, el grupo MOS mostró un comportamiento de tipo cuadrático para los componentes TGI (P=0.03) ($Y_{\text{Peso TGI MOS}} = 8.92 + 5.65 * X - 3.34 * X^2$; R²: 0.61; EE: 0.31 y N: 5), páncreas (P=0.006) ($Y_{\text{Peso Páncreas MOS}} = 0.152 + 0.391 * X - 0.201 * X^2$; R²: 0.57; EE: 0.01 y N: 5), yeyuno (P=0.01) ($Y_{\text{Peso Yeyuno MOS}} = 0.992 + 1.37 * X - 0.717 * X^2$; R²: 0.67; EE: 0.04 y N: 5), ileon (P=0.001) ($Y_{\text{Peso ileon MOS}} = 4.53 + 2.00 * X - 1.02 * X^2$; R²: 0.67; EE: 0.06 y N: 5), peso del intestino delgado (P=0.004) ($Y_{\text{Peso intestino}}$

delgado MOS = $2.41 + 3.49 * X - 1.85 * X^2$; R^2 : 0.70; EE: 0.11 y N: 5), donde el valor máximo para cada componente se observó para los niveles de inclusión 0.84%, 0.97%, 0.95%, 0.98% y 0.94%, respectivamente. En el caso del peso del intestino grueso ($P=0.02$) ($Y_{\text{Peso intestino grueso MOS}} = 1.036 - 0.944 * X - 0.452 * X^2$; R^2 : 0.62; EE: 0.03 y N: 5), siendo el nivel de inclusión de 1.05% el que mostró el menor valor. Con relación a la longitud del íleon y del intestino delgado se observó un comportamiento de tipo lineal ($P=0.04$ y $P=0.02$) cuadrático ($P=0.0004$ y $P=0.001$) ($Y_{\text{Longitud del íleon MOS}} = 0.453 - 2.00 * X - 1.02 * X^2$; R^2 : 0.67; EE: 0.06 y N: 5) ($Y_{\text{Longitud intestino delgado MOS}} = 8.91 + 16.49 * X - 9.16 * X^2$; R^2 : 0.67; EE: 0.06 y N: 5), donde los niveles de inclusión de 0.98% y 0.89% mostraron los mayores valores frente a los niveles de 0.5 y 1.5%, los cuales fueron diferentes entre sí, siendo el menor valor para el nivel de 1.5%. Se observaron tendencias de tipo cuadrático para el peso ciego vacío ($P=0.06$) y lineal negativa para la longitud del yeyuno ($P=0.07$), donde los niveles de 1.0% y 1.5% mostraron los menores valores.

El grupo AR3 Guaneña mostró un comportamiento de tipo lineal negativo para los componentes peso del TGI ($P=0.0006$) ($Y_{\text{Peso TGI AR3 Guaneña}} = 11.94 - 1.54 * X$; R^2 : 0.75; EE: 0.02 y N: 5), proventrículo ($P=0.02$) ($Y_{\text{Peso proventrículo AR3 Guaneña}} = 2.40 - 0.290 * X$; R^2 : 0.74; EE: 0.004 y N: 5), ciego vacío ($P=0.01$) ($Y_{\text{Peso Ciego vacío AR3 Guaneña}} = 0.534 - 0.017 * X$; R^2 : 0.61; EE: 0.002 y N: 5), yeyuno ($P=0.04$) ($Y_{\text{Peso Yeyuno AR3 Guaneña}} = 1.68 - 0.198 * X$; R^2 : 0.67; EE: 0.004 y N: 5), peso del intestino delgado ($P=0.008$) ($Y_{\text{Peso intestino delgado AR3 Guaneña}} = 4.00 - 0.483 * X$; R^2 : 0.56; EE: 0.013 y N: 5) y peso del intestino grueso ($P=0.007$) ($Y_{\text{Peso intestino grueso AR3 Guaneña}} = 0.775 - 0.154 * X$; R^2 : 0.59; EE: 0.004 y N: 5), donde el nivel de 0.5% mostró el mayor valor frente al nivel de inclusión de 1.5%, sin encontrar diferencias ($P>0.05$) en la longitud de los componentes del intestino delgado. Se observaron tendencias de tipo lineal negativa para los componentes colon ($P=0.05$) y ciego lleno ($P=0.05$), donde numéricamente el nivel de 0.5% mostró los mayores valores. Una tendencia de tipo cuadrático para hígado ($P=0.07$) y proventrículo ($P=0.06$) y lineal ($P=0.09$) cuadrático ($P=0.09$) para páncreas, indicaron un menor valor para el nivel de 1.0%. Con relación al grupo AR3 Pastusa se observó un comportamiento de tipo cuadrático para la longitud del yeyuno ($P=0.02$) ($Y_{\text{Longitud yeyuno AR3 Pastusa}} = 1.49 + 0.0928 * X - 0.0683 * X^2$; R^2 : 0.16; EE: 0.005 y N: 5), donde la mayor longitud se encontró a un nivel de 0.67%. Se observaron tendencias de tipo lineal positiva ($P=0.05$) para colon y cuadrático ($P=0.05$) para el ciego lleno, donde los niveles de 0.5 y 1.0% mostraron numéricamente los mayores valores.

4.3.2 Morfometría del intestino delgado

El efecto de la suplementación de AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la morfometría del intestino delgado de pollos de engorde se muestra en las tablas 4-5, 4-10 y 4-15.

Tabla 4-5: Efecto del AR retrogradado de dos variedades papa suplementadas sobre la microestructura del duodeno de pollos de engorde a los 25 días de edad

Tratamiento	NI (%)	Altura vellosidad (µm)	Profundidad cripta (µm)	Área aparente vellosidad µm ²	Relación vellosidad/cripta (µm/µm)
Control	0	1026,2	143,8	99168,5	7,3
MOS	0,5	1465,1	119,4	178151,3	12,4
MOS	1,0	1138,3	160,6	133671,0	7,2
MOS	1,5	1232,1	108,7	131765,1	11,4
AR3 Guaneña	0,5	1046,3	112,8	104975,1	9,3
AR3 Guaneña	1,0	984,9	100,9	96172,7	10,0
AR3 Guaneña	1,5	1125,7	156,4	133837,6	7,3
AR3 Pastusa	0,5	1063,3	117,5	111213,2	9,3
AR3 Pastusa	1,0	1453,2	113,5	130757,4	13,0
AR3 Pastusa	1,5	1166,8	144,4	140126,4	8,2
EEM		28,29	5,41	6121,84	0,40
Contrastes					
Control vs. todos		***	**	***	***
MOS vs. AR3 de papa		***	NS	***	**
AR3: Guaneña vs. Pastusa		***	NS	**	**
Efecto del Nivel					
MOS		L *** C ***	C ***	L *** C **	C ***
AR3 Guaneña		C *	L *** C ***	L ** C **	L ** C **
AR3 Pastusa		L* C ***	L ** C *	L **	L* C ***

MOS, Manano oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado; NI, Nivel Inclusión; EEM, error estimado de la media; L, lineal; C, cuadrático; Valor-p: *(P<0.05), ** (P<0.001), *** (P<0.0001), ^TTendencia (P<0.10), NS No significativo.

A nivel del duodeno (tabla 4-5), el control sin suplementar mostró una menor altura (160 µm, P=.0001) y área aparente (-29794.79 µm², P=.0001) de la vellosidad, con una cripta más profunda (17.80 µm, P=0.0024), donde la relación vellosidad / cripta fue menor en 2.52 (P=.0001) frente al grupo suplementado. El grupo MOS obtuvo una mayor altura de la vellosidad (138.52 µm, P=0.0001) y área aparente (28348.75 µm², P=.0001), mostrando una relación altura vellosidad / profundidad cripta mayor en 0.80 frente al grupo AR3 de papa. El grupo AR3 Guaneña mostró una altura de la vellosidad (-175.43 µm, P<.0001), un área aparente (-15703 µm², P<0.0023) y relación vellosidad / cripta (-1.31, P<0.0001) menor frente AR3 Pastusa.

En la figura 4-1 y la tabla 4-6, se puede observar el comportamiento de los niveles de inclusión y la respectiva ecuación que la describe para cada uno de los grupos. Para la

altura de la vellosidad, el nivel de 0.5% para MOS mostró el mayor valor (P=.0001), donde un nivel de 1.13% mostró el menor altura de vellosidad. Con relación a AR3 Guaneña, un nivel de 0.90% mostró la menor altura de la vellosidad (P=0.0045), mientras que para AR3 Pastusa, un nivel de 1.03% mostró la mayor altura de la vellosidad (P=.0001).

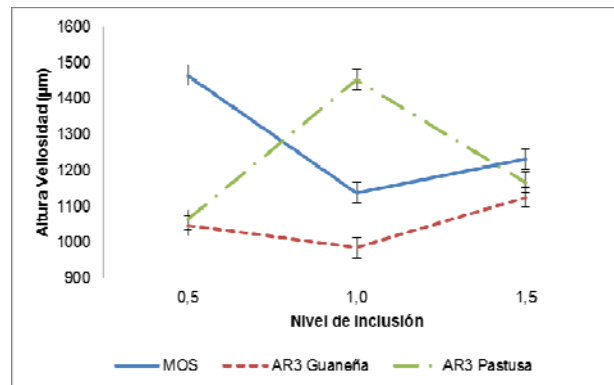


Figura 4-1: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la altura de la vellosidad a nivel de duodeno de pollos de engorde al día 25 de edad

Tabla 4-6: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la altura de la vellosidad a nivel del duodeno.

Grupo	Tendencia	Ecuación	R ² ; EE; N
MOS	lineal	$Y = 1511,5 - 232,98 * X$	0,62; 5,42; 5
	cuadrático	$Y = 2212,6 - 1915,5 * X + 841,25 * X^2$	0,90; 3,06; 5
AR3 Guaneña	cuadrático	$Y = 1309,8 - 729,17 * X + 404,3 * X^2$	0,46; 5,11; 5
AR3 Pastusa	cuadrático	$Y = -2,9088 + 2808,6 * X - 1352,6 * X^2$	0,92; 3,07; 5

Respecto a la profundidad de la cripta, en la figura 4-2 y la tabla 4-7 se muestra la tendencia y la ecuación correspondiente a cada grupo. Para el grupo MOS, un nivel de 0.97% mostró la mayor profundidad de cripta comparado con los niveles de 0.5 y 1.0% (P=.0001). De otra parte, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa mostraron un comportamiento lineal cuadrático, donde un nivel de inclusión de 0.85% y 0.80% mostraron la menor profundidad de cripta (P=.0001 y P=0.01, respectivamente), mientras que el nivel de 1.5% mostró el mayor valor (P=.0001 y P=0.0007, respectivamente).

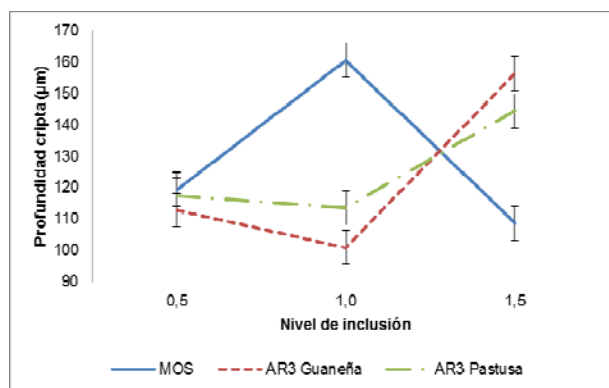


Figura 4-2: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la profundidad de la cripta a nivel de duodeno de pollos de engorde al día 25 de edad

Tabla 4-7: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la profundidad de la cripta de la vellosidad a nivel del duodeno.

Grupo	Tendencia	Ecuación	R ² ; EE; N
MOS	cuadrático	$Y = 14,926 + 361,79 * X - 186,25 * X^2$	0,88; 0,54; 5
AR3 Guaneña	lineal	$Y = 81,464 - 42,314 * X$	0,62; 1,02; 5
AR3 Pastusa	cuadrático	$Y = 199,62 - 238,45 * X + 139,75 * X^2$	0,83; 0,73; 5
	lineal	$Y = 98,233 + 26,894 * X$	0,48; 0,90; 5
	cuadrático	$Y = 156,2 - 112,22 * X + 69,556 * X^2$	0,60; 0,83; 5

Con relación al área aparente de la vellosidad, en la figura 4-3 y en la tabla 4-8 se muestra la tendencia y la ecuación correspondiente a cada grupo. El grupo MOS mostró un comportamiento tipo lineal ($P=0.001$), siendo el nivel de 1.5% el que mostró una menor área aparente frente a 0.5%, mientras que un nivel de 1.13% mostró un valor intermedio al observar un comportamiento cuadrático ($P=0.002$). El grupo AR3 Guaneña, mostró un comportamiento de tipo lineal positiva ($P=0.001$), donde el nivel de 1.5% mostró el valor más alto y un tendencia de tipo cuadrático ($P=0.002$), donde un nivel de 0.84% mostró el valor más bajo. Para el grupo AR3 Pastusa, se observó una tendencia de tipo lineal positiva ($P=0.001$), siendo el nivel de 1.5% el que presentara la mayor área aparente de la vellosidad.

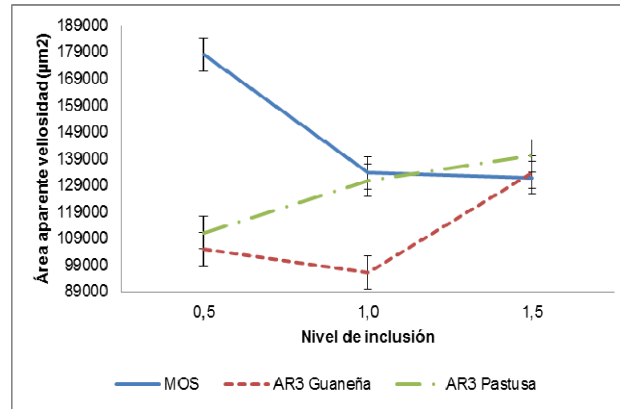


Figura 4-3: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el área de la vellosidad a nivel de duodeno de pollos de engorde al día 25 de edad

Tabla 4-8: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el área aparente de la vellosidad a nivel del duodeno.

Grupo	Tendencia	Ecuación	R ² ; EE; N
MOS	lineal	$Y = 194249 - 46386 * X$	0,61; 1105.98; 5
	cuadrático	$Y = 2212,6 - 1915,5 * X + 841,25 * X^2$	0,69; 1025.53; 5
AR3 Guaneña	lineal	$Y = 82799 + 28863 * X$	0,48; 964.69; 5
	cuadrático	$Y = 160245 - 157006 * X + 92934 * X^2$	0,66; 840.75; 5
AR3 Pastusa	lineal	$Y = 98452 + 28913 * X$	0,58; 746.13; 5

En la figura 4-4 y la tabla 4-9 se pueden observar la tendencia y la ecuación que describe tal comportamiento para cada grupo de tratamiento de acuerdo al nivel de inclusión en la dieta. Para la variable relación altura vellosidad / profundidad cripta, el grupo MOS mostró un comportamiento de tipo cuadrático, siendo un nivel de 1.02% el que obtuviera la menor relación (P=.0001) frente a los niveles 0.5 y 1.5%. Para el grupo AR3 Guaneña, se observó una tendencia de tipo cuadrático (P=0.0006), donde un nivel de 0.85% mostró la mayor relación vellosidad / cripta frente a los niveles de inclusión de 0.5% y 1.5% y un comportamiento lineal negativo (P=0.0004), siendo el menor valor para el nivel de 1.5%, debido a una mayor profundidad de cripta. En el caso del grupo AR3 Pastusa, se observó una ecuación de tipo cuadrático (P=.0001), donde un nivel de 0.96% mostró la mayor relación altura vellosidad / profundidad cripta, al observar una mayor altura vellosidad y la menor profundidad de cripta.

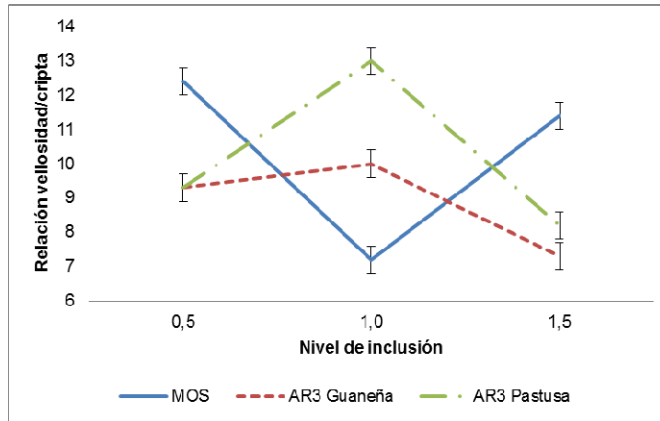


Figura 4-4: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la relación vellosidad/cripta a nivel de duodeno de pollos de engorde al día 25 de edad

Tabla 4-9: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la relación vellosidad / cripta a nivel del duodeno.

Grupo	Tendencia	Ecuación	R ² ; EE; N
MOS	cuadrático	Y = 27,116 - 38,946 * X + 18,983 * X ²	0,90; 0.04; 5
AR3 Guaneña	lineal	Y = 10,915 - 2,0539 * X	0,52; 0.06; 5
	cuadrático	Y = 5,1556 + 11,769 * X + 6,9114 * X ²	0,72; 0.05; 5
AR3 Pastusa	cuadrático	Y = 2,6329 + 32,312 * X + 16,718 * X ²	0,81; 0.06; 5

En la tabla 4-10 se muestran las variables evaluadas a nivel de la microestructura del yeyuno. No se encontraron diferencias significativas al comparar el control sin suplementar y el grupo suplementado para ninguna de las variables o entre las comparaciones propuestas para la variable profundidad de cripta. El grupo MOS mostró una menor altura de vellosidad (-48.53 μm, P=0.0002) y una menor relación altura vellosidad / profundidad cripta (-0.92, P=.0001) comparado con el grupo AR3 de papa. Así mismo, al comparar el grupo AR3 Pastusa contra AR3 Guaneña, se encontró que este último mostró mayores valores para la altura de la vellosidad (95.01 μm, P=.0001), área aparente de la misma (8014.64 μm², P=0.005), mostrando mayor relación altura vellosidad/profundidad cripta (1.61, P=.0001).

Tabla 4-10: Efecto del AR retrogradado de dos variedades papa suplementadas sobre la microestructura del yeyuno de pollos de engorde a los 25 días de edad

Tratamiento	NI (%)	Altura vellosidad (µm)	Profundidad cripta (µm)	Área aparente vellosidad µm ²	Relación vellosidad/cripta (µm/µm)
Control	0	671,9	84,1	69060,2	8,0
MOS	0,5	711,3	89,3	73231,5	8,0
MOS	1,0	704,7	85,0	75676,0	8,3
MOS	1,5	512,9	72,6	57730,0	7,1
AR3 Guaneña	0,5	717,0	70,1	73449,1	10,3
AR3 Guaneña	1,0	703,2	75,3	62985,1	9,4
AR3 Guaneña	1,5	796,8	90,3	90222,3	8,9
AR3 Pastusa	0,5	584,3	82,6	63631,3	7,1
AR3 Pastusa	1,0	627,4	73,5	58737,5	8,6
AR3 Pastusa	1,5	720,3	89,0	80243,9	8,1
EEM		17,55	2,35	3451,69	0,27
Contrastes					
Control vs. todos		NS	NS	NS	NS
MOS vs. AR3 de papa		**	NS	NS	***
AR3: Guaneña vs. Pastusa		***	NS	**	***
Efecto del Nivel					
MOS		L *** C ***	L ***	L ** C **	L * C *
AR3 Guaneña		L ** C *	L ***	L ** C ***	L **
AR3 Pastusa		L **	C ***	L ** C **	L * C **

MOS, Manano oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado; NI, Nivel Inclusión; EEM, error estimado de la media; L, lineal; C, cuadrático; Valor-p: *(P<0.05), ** (P<0.001), *** (P<0.0001), ^T Tendencia (P<0.10), NS No significativo.

Con relación a efecto de los niveles de inclusión sobre la altura de la vellosidad, en la figura 4-5 y la tabla 4-11 se muestra el comportamiento y la ecuación que lo describe para cada grupo.

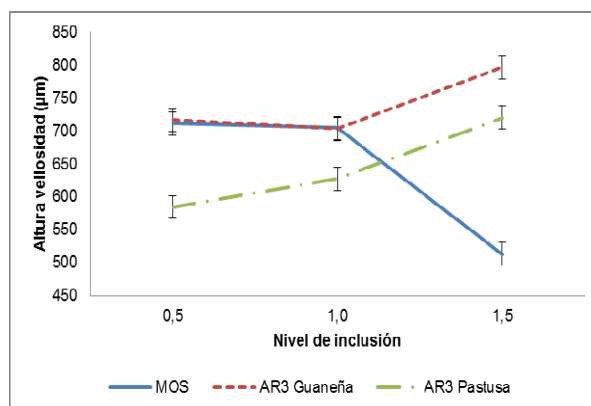


Figura 4-5: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la altura de la vellosidad a nivel de yeyuno de pollos de engorde al día 25 de edad

El grupo MOS mostró un comportamiento de tipo lineal negativo (P=.0001) y cuadrático (P=.0001), siendo el nivel de 0.5% el que mostró un mayor valor, mientras que un nivel

de 0.73% mostró un comportamiento intermedio. Para el grupo AR3 Guaneña, se observó un comportamiento similar al grupo MOS para los niveles de 0.5 y 1.0%, mientras que el nivel de 1.5% mostró el mayor valor (comportamiento lineal positiva, $P=0.0018$) y un nivel de 0.81% mostró un comportamiento intermedio (comportamiento cuadrático, $P=0.014$). En el caso del grupo AR3 Pastusa, se encontró una tendencia de tipo lineal positiva ($P=.0001$), siendo el nivel de 1.5% el que mostrara la mayor altura de la vellosidad frente al nivel de 0.5%.

Tabla 4-11: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la altura de la vellosidad a nivel del yeyuno.

Grupo	Tendencia	Ecuación	R ² ; EE; N
MOS	lineal	$Y = 841,33 - 198,38 * X$	0,78; 2.90; 5
	cuadrático	$Y = 532,53 + 542,74 * X - 370,56 * X^2$	0,89; 2.15; 5
AR3 Guaneña	lineal	$Y = 659,25 + 79,744 * X$	0,51; 2.50; 5
	cuadrático	$Y = 838,34 - 350,07 * X + 214,91 * X^2$	0,64; 2.25; 5
AR3 Pastusa	lineal	$Y = 508 + 135,98 * X$	0,65; 2.95; 5

En la variable profundidad de cripta (tabla 4-12 y figura 4-6), se observo para los grupo MOS y AR3 Guaneña, una tendencia de tipo lineal positiva y negativa, siendo los nivel de 0.5% ($P=.0001$) y 1.5% ($P=.0001$), los que mostraron el mayor valor, respectivamente. En el caso de AR3 Pastusa, se observó un comportamiento de tipo cuadrático, donde un nivel de 0.93% mostró el menor valor para esta variable ($P=.0001$).

Tabla 4-12: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la profundidad cripta a nivel del yeyuno.

Grupo	Tendencia	Ecuación	R ² ; EE; N
MOS	lineal	$Y = 99,008 - 16,682 * X$	0,69; 0.32; 5
AR3 Guaneña	lineal	$Y = 58,361 + 20,172 * X$	0,73; 0.34; 5
AR3 Pastusa	cuadrático	$Y = 116,42 - 92,357 * X + 49,386 * X^2$	0,66; 0.33; 5

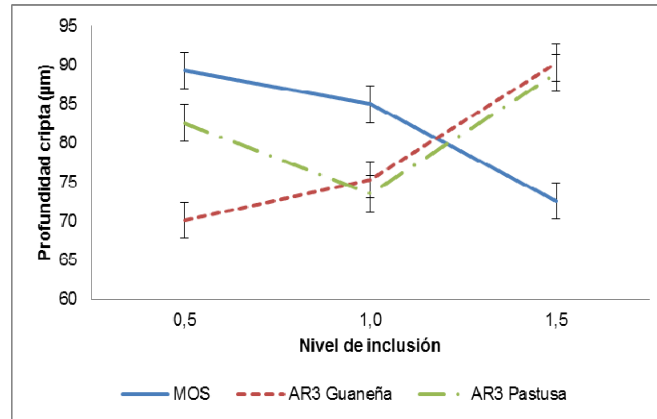


Figura 4-6: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la profundidad de la cripta a nivel de yeyuno de pollos de engorde al día 25 de edad

Con relación al área aparente de la vellosidad (figura 4-7 y tabla 4-13), los tres grupos mostraron un comportamiento lineal cuadrático. Para el grupo MOS, el nivel de 1.5% mostró la menor área aparente (comportamiento lineal negativa, $P=0.002$), comparado con el nivel de 0.5%, mientras que un nivel de 0.80% mostró el mayor valor en un comportamiento cuadrático ($P=0.017$). Para el grupo AR3 Guaneña y AR3 Pastusa, el nivel de 1.5% mostró el mayor valor para un comportamiento lineal positivo ($P=0.0009$ y $P=0.001$), comparado con el nivel de 0.5% y el nivel de 0.88% y 0.84% mostraron la menor área aparente (comportamiento cuadrático, $P=.0001$ y $P=0.0024$).

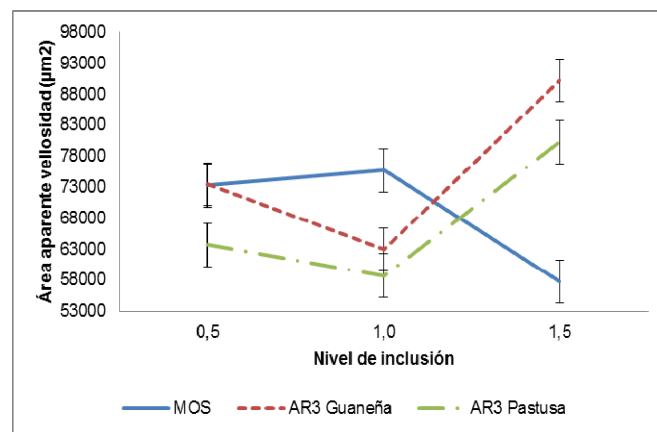


Figura 4-7: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el área aparente de la vellosidad a nivel de yeyuno de pollos de engorde al día 25 de edad

Tabla 4-13: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el área aparente de la vellosidad a nivel del yeyuno.

Grupo	Tendencia	Ecuación	R ² ; EE; N
MOS	lineal	$Y = 84381 - 15501 * X$	0,57; 407.40; 5
	cuadrático	$Y = 50397 + 66060 * X - 40781 * X^2$	0,72; 349.85; 5
AR3 Guaneña	lineal	$Y = 58779 + 16773 * X$	0,48; 560.20; 5
	cuadrático	$Y = 121614 - 134031 * X + 75402 * X^2$	0,79; 349.28; 5
AR3 Pastusa	lineal	$Y = 50925 + 16613 * X$	0,40; 703.33; 5
	cuadrático	$Y = 94925 - 88988 * X + 52800 * X^2$	0,54; 655.47; 5

En la figura 4-8 y la tabla 4-14 se observa la tendencia y las ecuaciones que describen el comportamiento para la relación altura vellosidad / profundidad cripta a nivel del yeyuno. Los grupos MOS y AR3 Pastusa, mostraron una tendencia de tipo lineal cuadrático, donde el grupo 0.5% mostró el menor valor comparado con el nivel de 1.5% (tendencia lineal negativa y positiva, P=0.024 y P=0.012) y un nivel de 0.85% y 1.12% mostraron el mayor valor (P=0.026 y P=0.005) en cada grupo, respectivamente. Con relación al grupo AR3 Guaneña, la tendencia observada fue de tipo lineal negativa, siendo el nivel de 0.5%, el que mostró una mayor relación altura vellosidad / profundidad cripta frente al nivel de 1.5%.

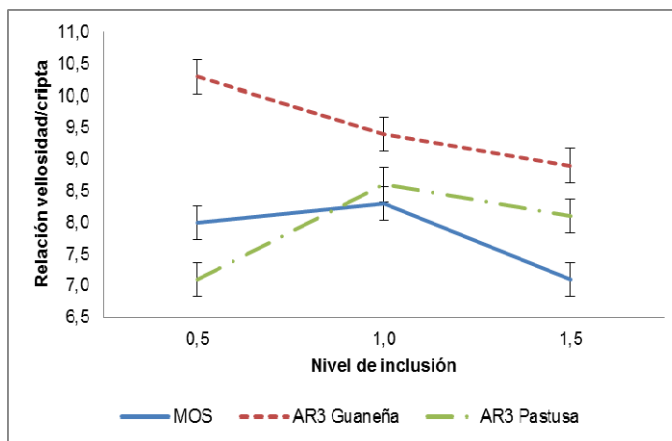


Figura 4-8: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre relación vellosidad/cripta a nivel de yeyuno de pollos de engorde al día 25 de edad

Tabla 4-14: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre relación vellosidad / cripta a nivel del yeyuno.

Grupo	Tendencia	Ecuación	R ² ; EE; N
MOS	lineal	$Y = 8,7015 - 0,8899 * X$	0,41; 0.03; 5
	cuadrático	$Y = 6,1774 + 5,1679 * X - 3,0289 * X^2$	0,58; 0.03; 5
AR3 Guaneña	lineal	$Y = 11,027 - 1,4822 * X$	0,50; 0.04; 5
AR3 Pastusa	lineal	$Y = 6,9438 + 0,9897 * X$	0,41; 0.04; 5
	cuadrático	$Y = 3,7305 + 8,7017 - 3,856 * X^2$	0,61; 0.03; 5

En la tabla 4-15 se muestran las variables evaluadas a nivel de la microestructura del íleon. No se encontraron diferencias significativas entre el grupo MOS y el grupo AR3 Papa para las variables altura y área aparente de la vellosidad y entre el control sin suplementar y el grupo suplementado para esta última variable.

Tabla 4-15: Efecto del AR retrogradado de dos variedades papa suplementadas sobre la microestructura del íleon de pollos de engorde a los 25 días de edad

Tratamiento	NI (%)	Altura vellosidad (µm)	Profundidad cripta (µm)	Área aparente vellosidad µm ²	Relación vellosidad/cripta (µm/µm)
Control	0	314,0	61,6	34895,3	5,2
MOS	0,5	332,0	69,2	32744,1	4,8
MOS	1,0	339,5	67,7	37130,5	5,1
MOS	1,5	333,7	61,9	31548,7	5,4
AR3 Guaneña	0,5	335,9	70,1	35661,8	4,8
AR3 Guaneña	1,0	459,7	78,9	45574,4	5,9
AR3 Guaneña	1,5	285,9	68,3	32831,8	4,2
AR3 Pastusa	0,5	249,8	65,9	32506,0	3,9
AR3 Pastusa	1,0	311,3	70,9	32364,0	4,4
AR3 Pastusa	1,5	322,5	70,0	35589,3	4,6
EEM		8,74	2,42	1734,62	0,19
Contrastes					
Control vs. todos		T	**	NS	T
MOS vs. AR3 de papa		NS	*	NS	**
AR3: Guaneña vs. Pastusa		***	T	**	***
Efecto del Nivel					
MOS		NS	L *	C *	L *
AR3 Guaneña		L ** C ***	C **	C ***	L * C ***
AR3 Pastusa		L *** C *	NS	NS	L **

MOS, Manano oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado; NI, Nivel Inclusión; EEM, error estimado de la media; L, lineal; C, cuadrático; Valor-p: *(P<0.05), ** (P<0.001), *** (P<0.0001), ^T Tendencia (P<0.10), NS No significativo.

El grupo AR3 Guaneña mostró una mayor altura (65.95 µm) frente al grupo AR3 Pastusa (P=.0001), de manera similar se observó una tendencia para la comparación entre el control sin suplementar y los demás tratamientos (P=0.084), siendo menor la altura del

control (-16.05 μm). Con relación a la profundidad de cripta, el control sin suplementar fue menor en 7.61 μm frente al grupo suplementado ($P=0.036$), mientras que el grupo MOS mostró una profundidad menor en 4.41 μm comparado con el grupo AR3 de papa ($P=0.011$) y se observó una tendencia entre el grupos AR3 Guaneña y AR3 Pastusa para esta misma variable ($P=0.080$), siendo mayor para AR3 Guaneña (3.48 μm). El grupo AR3 Guaneña mostró un área de la vellosidad mayor en 4536.23 μm^2 frente al grupo AR3 Pastusa ($P=0.0019$). Finalmente, el grupo MOS obtuvo una relación altura vellosidad / profundidad cripta mayor en 0.47 frente al grupo de AR3 de papa ($P=0.0007$), mientras que el grupo AR3 Guaneña mostró un mayor valor en 0.67 frente al grupo AR3 Pastusa ($P=.0001$). Se observó una tendencia entre el control sin suplementar y el grupo suplementado ($P=0.073$) para esta misma variable, siendo mayor en 0.36 la relación altura vellosidad/profundidad cripta para el control sin suplementar.

En el grupo MOS los niveles de inclusión no afectaron ($P>0.05$) la altura de la vellosidad (tabla 4-16 y figura 4-9), mientras que para el grupo AR3 Guaneña se observó un comportamiento de tipo cuadrático ($P=.0001$), siendo un nivel de 0.95% el que alcanza la mayor altura. Con relación al grupo AR3 Pastusa, se observó un comportamiento de tipo lineal positivo ($P=.0001$) y cuadrático ($P=0.021$), siendo el nivel de 1.5% el que mostrara la mayor altura frente a 0.5% y un nivel de 1.36% un comportamiento intermedio.

Tabla 4-16: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la altura de la vellosidad a nivel de íleon.

Grupo	Tendencia	Ecuación	R ² ; EE; N
AR3 Guaneña	cuadrático	$Y = 85,574 + 1140,5 * X - 595,24 * X^2$	0,92; 1.42; 5
AR3 Pastusa	lineal	$Y = 221,78 + 72,727 * X$	0,73; 1.24; 5
	cuadrático	$Y = 137,96 + 273,89 * X - 100,58 * X^2$	0,79; 1.14; 5

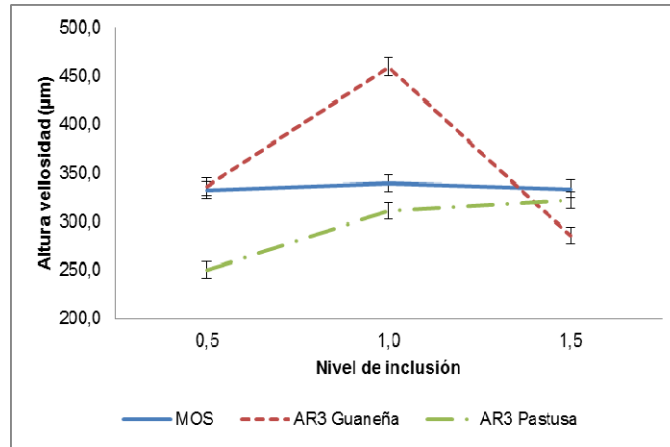


Figura 4-9: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la altura de la vellosidad a nivel de íleon de pollos de engorde al día 25 de edad

Con relación a la profundidad de la cripta, se observó una tendencia de tipo lineal negativa para el grupo MOS ($P=0.036$), donde el nivel de 0.5% mostró el mayor valor. Con relación al grupo AR3 Guaneña, se encontró un comportamiento de tipo cuadrático ($P=0.001$), donde la mayor profundidad fue para el nivel de 0.97%. El grupo AR3 Pastusa no mostró ninguna tendencia entre sus niveles de inclusión (figura 4-10 y tabla 4-17).

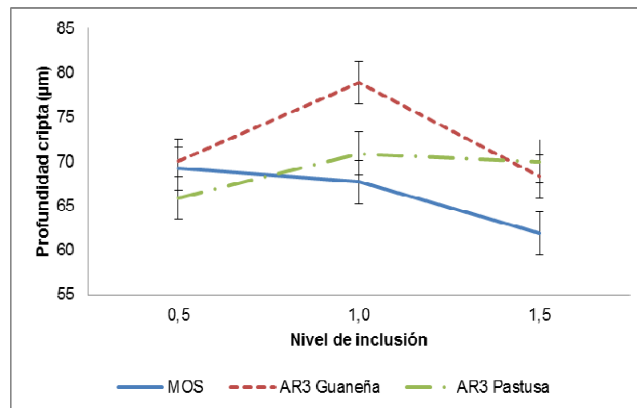


Figura 4-10: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la profundidad de la cripta a nivel de íleon de pollos de engorde al día 25 de edad

Tabla 4-17: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la profundidad de la cripta a nivel de íleon.

Grupo	Tendencia	Ecuación	R ² ; EE; N
MOS	lineal	$Y = 73,52 - 7,245 * X$	0,45; 0.26; 5
AR3 Guaneña	cuadrático	$Y = 41,826 + 76,06 * X - 38,958 * X^2$	0,48; 0.38; 5

En la figura 4-11 y la tabla 4-18 se observa la tendencia y la ecuación que representa este comportamiento para los niveles de inclusión dentro de cada grupo para la variable área de la velloidad. Los grupos MOS y AR3 Guaneña mostraron una tendencia de tipo cuadrático (P=0.021 y P=.0001), donde un nivel de 0.97% y 0.96% mostraron una mayor área de la velloidad. En el caso del grupo AR3 Pastusa, no se observó alguna tendencia con relación a los niveles de inclusión.

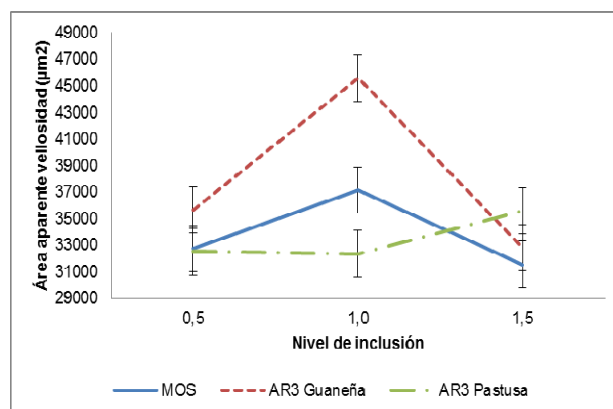


Figura 4-11: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el área aparente de la velloidad a nivel de íleon de pollos de engorde al día 25 de edad

Tabla 4-18: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre el área aparente de la velloidad a nivel de íleon.

Grupo	Tendencia	Ecuación	R ² ; EE; N
MOS	cuadrático	$Y = 18390 + 38677 * X - 19936 * X^2$	0,59; 152.09; 5
AR3 Guaneña	cuadrático	$Y = 3093,9 + 87791 * X - 45311 * X^2$	0,64; 296.79; 5

Con relación a la relación altura vellosidad / profundidad cripta (tabla 4-19 y figura 4-12), el grupo MOS y el grupo AR3 Pastusa mostraron una tendencia de tipo lineal positiva (P=0.035 y P=0.005), siendo el nivel de 1.5% el que mostrara el mayor valor para esta variable. En el caso del grupo AR3 Guaneña, se observó un comportamiento de tipo cuadrático (P=.0001), donde un nivel de 0.94% mostró la mayor relación.

Tabla 4-19: Ecuaciones representativas de la tendencia de comportamiento de los niveles de suplementación de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la relación vellosidad / cripta a nivel de íleon.

Grupo	Tendencia	Ecuación	R ² ; EE; N
MOS	lineal	$Y = 4,5424 + 0,56697 * X$	0,33; 0.02; 5
AR3 Guaneña	cuadrático	$Y = 1,0959 + 10,158 * X - 5,3816 * X^2$	0,78; 0.02; 5
AR3 Pastusa	lineal	$Y = 3,5458 + 0,7575 * X$	0,51; 0.02; 5

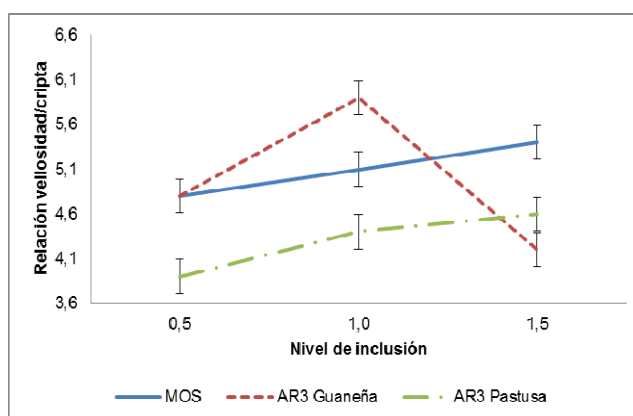


Figura 4-12: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la relación vellosidad/cripta a nivel de íleon de pollos de engorde al día 25 de edad

4.3.3 Determinación de pH y concentración de ácidos grasos volátiles (AGV)

En la tabla 4-20 se observan los valores de pH a nivel del contenido ileal y ciegos y la concentración de AGV a nivel de ciegos. No se encontraron diferencias (P>0.05) para pH y la concentración de AGV entre el control sin suplementar y el grupo suplementado. El grupo AR3 Guaneña presentó un mayor pH a nivel de la digesta ileal (0.28, P=0.02) comparado con el grupo AR3 Pastusa. A nivel del ciego, el grupo MOS mostró un menor valor de pH (-0.30, P=0.005) frente al grupo AR3 de papa, así como una mayor concentración de ácido acético (1.48 mmol / L, P=0.01) y ácido butírico (0.64 mmol / L,

- 134 Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (*Solanum tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable, e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde

P=0.007).

Tabla 4-20: Efecto del AR retrogradado de dos variedades de papa sobre el pH de la digesta del íleon y ciegos y AGV a nivel cecal de pollos de engorde a los 25 días de edad.

Tratamiento	NI (%)	pH Contenido		AGV (mmol/L)		
		Íleon	Ciegos	Acético	Propiónico	Butírico
Control	0	7,82	7,14	11,21	0,81	2,01
MOS	0,5	7,89	6,69	13,04	1,13	2,64
MOS	1,0	7,93	6,91	11,24	0,59	1,64
MOS	1,5	8,04	7,02	13,56	0,71	3,05
AR3 Guaneña	0,5	8,35	7,41	9,18	0,62	0,95
AR3 Guaneña	1,0	8,18	7,24	12,53	0,81	2,30
AR3 Guaneña	1,5	7,98	7,12	11,50	0,74	2,00
AR3 Pastusa	0,5	7,92	7,27	11,08	0,57	2,10
AR3 Pastusa	1,0	7,73	6,91	12,93	0,80	2,35
AR3 Pastusa	1,5	8,00	7,24	9,53	0,89	1,09
EEM		0,15	0,15	0,82	0,13	0,32
Contrastes						
Control vs. todos		NS	NS	NS	NS	NS
MOS vs. AR3 de papa		NS	**	*	NS	**
AR3 Guan vs. AR3 Past		*	NS	NS	NS	NS
Efecto del Nivel						
MOS		NS	L ^T	C*	L * C *	C**
AR3 Guaneña		L ^T	NS	C*	NS	L** C*
AR3 Pastusa		NS	C*	C*	L ^T	L** C*

MOS, Manano oligosacáridos; AR3, Almidón resistente retrogradado; NI, Nivel Inclusión; EEM, error estimado de la media; L, lineal; C, cuadrático; Valor-p: *(P<0.05), ** (P<0.001), *** (P<0.0001), ^T Tendencia (P<0.10), NS No significativo.

Con relación a los niveles de inclusión, el grupo AR3 Pastusa mostró un comportamiento de tipo cuadrático (P=0.02) ($Y_{\text{pH ciegos}} = 8.31 - 2.75 * X + 1.36 * X^2$; R²: 0.60; EE: 0.10 y N: 5), donde el menor valor se observó para con un nivel de inclusión de 1.01%. Para el grupo AR3 Guaneña se observó una tendencia de tipo lineal negativa (P=0.09), donde al incrementar en nivel de inclusión el pH disminuyó. Con relación al ácido acético un comportamiento de tipo cuadrático para los grupos MOS (P=0.047) ($Y_{\text{Ácido acético}} = 18.96 - 15.96 * X + 8.24 * X^2$; R²: 0.53; EE: 0.78 y N: 5), AR3 Guaneña (P=0.035) ($Y_{\text{Ácido acético}} = 1.44 + 19.85 * X - 8.76 * X^2$; R²: 0.63; EE: 0.85 y N: 5), y AR3 Pastusa (P=0.013) ($Y_{\text{Ácido acético}} = 3.97 + 19.44 * X - 10.49 * X^2$; R²: 0.75; EE: 0.59 y N: 5) (figura 4-13). Con relación al grupo MOS, un nivel de 0.96% mostró la menor concentración, mientras que para los

grupos AR3 Guaneña y AR3 Pastusa, un nivel de 1.13% y 0.92% mostraron los mayores valores para la concentración de ácido acético.

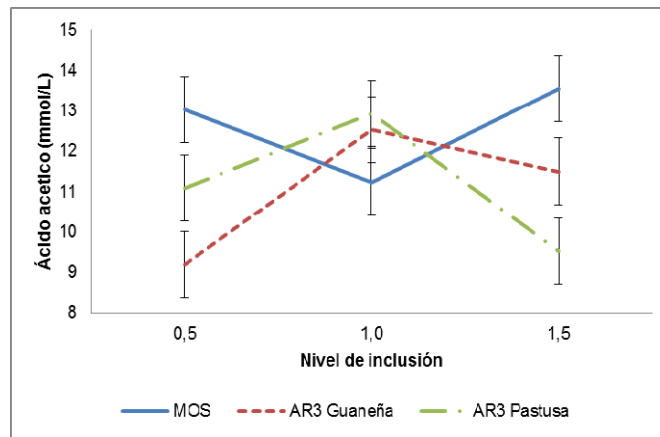


Figura 4-13: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS AR3 Guaneña y AR3 Pastusa sobre la concentración de ácido acético cecal de pollos de engorde a los 25 días de edad

Con relación a la concentración de ácido propiónico, el grupo MOS mostró una comportamiento de tipo lineal negativo ($P=0.028$) ($Y_{\text{Ácido propiónico}} = 1.23 - 0.426 * X$; R^2 : 0.50; EE: 0.14 y N: 5) y cuadrático ($P<0.046$) ($Y_{\text{Ácido propiónico}} = 2.34 - 3.09 * X + 1.33 * X^2$; R^2 : 0.68; EE: 0.12 y N: 5) (figura 4-14), donde un nivel de 1.16% mostró la menor concentración de ácido propiónico, siendo el nivel de inclusión de 0.5% el que mostró el mayor valor. Para el grupo AR3 Pastusa se observó tendencia de tipo lineal positivo ($P=0.06$), donde la concentración de ácido propiónico aumenta junto con el nivel de inclusión.

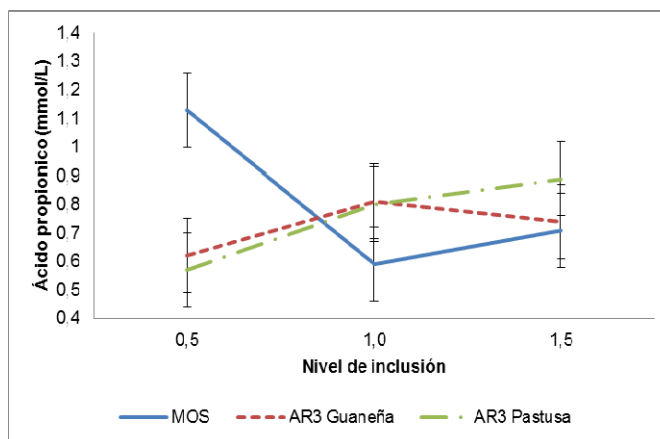


Figura 4-14: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS sobre la concentración de ácido propiónico a nivel cecal de pollos de engorde a los 25 días de edad.

De otra parte, con relación a la concentración de ácido butírico, el grupo MOS mostró un comportamiento de tipo cuadrático ($P=0.01$) ($Y_{\text{Ácido butírico}} = 6.07 - 9.28 * X + 4.84 * X^2$; R^2 : 0.76; EE: 0.24 y N: 5) y los grupos AR3 Guaneña y AR3 Pastusa ($P=0.03$) mostraron un comportamiento de tipo lineal ($P=0.0003$ y $P=0.0062$) ($Y_{\text{Ácido butírico}} = 0.699 + 1.0508 * X$; R^2 : 0.54; EE: 0.31 y N: 5 y $Y_{\text{Ácido butírico}} = 2.855 - 1.0108 * X$; R^2 : 0.58; EE: 0.27 y N: 5) y cuadrático ($P=0.01$ y $P=0.01$) ($Y_{\text{Ácido butírico}} = -0.326 + 5.058 * X - 3.034 * X^2$; R^2 : 0.73; EE: 0.26 y N: 5 y $Y_{\text{Ácido butírico}} = 6.07 - 9.28 * X + 4.84 * X^2$; R^2 : 0.77; EE: 0.22 y N: 5) (figura 4-15). Para el grupo MOS un nivel de 0.95% mostró el menor la menor concentración, mientras que para AR3 Guaneña y Pastusa, los niveles de inclusión de 0.83% y 0.95% mostraron la mayor concentración de ácido butírico.

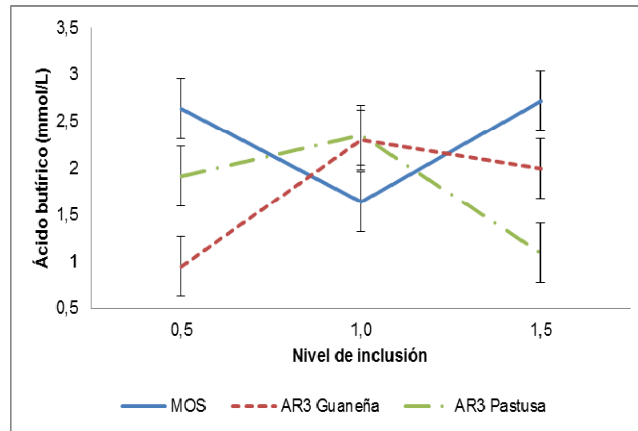


Figura 4-15: Efecto de diferentes niveles de inclusión de MOS y AR3 Pastusa sobre la concentración de ácido butírico a nivel cecal de pollos de engorde a los 25 días de edad.

4.4 Discusión

En este estudio se trabajó con almidón retrogradado de las variedades de papa Guaneña y Pastusa, el cual estaría constituido por el almidón no granular y materiales derivados que se forman después de la cocción a una temperatura por encima de la óptima de gelatinización, donde los gránulos de almidón se reagrupan luego de enfriarse en estructuras cristalinas (retrogradación) capaces de resistir la hidrólisis con amilasas (Brown y col., 1995). La estructura molecular propia de cada recurso (relación amilosa / amilopectina), los procesos de térmicos (temperatura y contenido de humedad) o químicos pueden modificar esta conformación estructural (Oates, 1997), afectando la

amilólisis intestinal, dado el grado de gelatinización, retrogradación y el contenido de amilosa (Bird y col., 2000).

Para este estudio todos los componentes del TGI aumentaron su peso o longitud a lo largo del periodo experimental. Las mediciones realizadas al día 12 de edad, arrojaron para el control sin suplementar los valores más altos para proventrículo, ciego vacío y duodeno, teniendo este último una mayor longitud, conduciendo a una mayor longitud del intestino delgado y un mayor peso del intestino grueso, aun cuando el peso del yeyuno fue menor frente al grupo de los demás tratamientos. Una tendencia indico numéricamente un mayor peso del íleon para el grupo AR3 Pastusa frente al grupo AR3 Guaneña. Para el día 19 de edad, el control sin suplementar mostró mayores pesos para los componentes TGI, ciego vacío, duodeno, yeyuno, el peso del intestino delgado y el peso del intestino grueso, mostrando tendencias numéricamente mayores para proventrículo, colon, ciego lleno, íleon y la longitud del yeyuno. Las diferencias observadas en el presente experimento con relación al desarrollo de los diferentes componentes del TGI y en especial para el intestino delgado y grueso indican como lo sugiere (Bannink y col., 2006) que el desarrollo de la pared del TGI está fuertemente relacionado con el peso corporal. A su vez, los componentes específicos de la alimentación, tales como los carbohidratos fermentables resistentes a la digestión en el intestino delgado (Van der Meulen y col., 1997; Bakker, 1995 y Brunsgaard y col., 1995) no sólo afectan el tipo y la ubicación de la digestión, sino también la fisiología y el crecimiento de la pared de TGI y su proliferación.

En este estudio se observó para el día 25 de edad, que el nivel de inclusión de 1.0% para MOS, mostró un mayor valor para los componentes TGI, páncreas, yeyuno, íleon, peso del intestino delgado y peso del intestino grueso, frente a los niveles de 0.5% y 1.5%, siendo estos últimos diferentes entre sí y donde el nivel de 1.5% mostró los menores valores para ambos componentes. Una tendencia indico numéricamente un mayor peso para el componente ciego en el nivel de 0.5% y una menor longitud del yeyuno para el nivel de 1.5%. En el caso del grupo AR3 Guaneña, los componentes TGI, ventrículo, ciego vacío, yeyuno, peso del intestino delgado y peso del intestino grueso fueron mayores para el nivel de 0.5% frente al nivel de 1.5%, donde el nivel de 1.0% mostró un comportamiento intermedio. Un mayor peso para los componentes colon y ciego lleno, fue observado para los niveles 0.5% y 1.0%, mientras que este último, numéricamente

mostró un menor valor para los componentes hígado, proventrículo y páncreas. Finalmente, para el grupo AR3 Pastusa, el nivel de inclusión de 1.0% mostró una mayor longitud para el yeyuno y una tendencia a un mayor peso del ciego lleno y junto al nivel de 0.5% mostraron numéricamente el mayor valor para el peso del colon.

Brunsgaard y col. (1995) demostraron en ratas jóvenes que la inclusión de carbohidratos fermentables en la dieta aumentó la proporción de la pared del TGI en el crecimiento del peso corporal total (hasta 33% adicional y 45% en peso extra de la pared del TGI por unidad de peso corporal vacío). De acuerdo a los resultados de este estudio el AR retrogrado de Guaneña y Pastusa mostró un comportamiento diferente a lo reportado para el AR2 en cerdos (Martínez – Puig, 2006; Rijnen, 2003 y Bakker, 1995). En este estudio, para los días 12 y 19 de edad, no se observó un aumento significativo en el peso o la longitud del TGI frente al control sin suplementar y las diferencias a favor de este último desaparecieron para el día 25 de edad. Sin embargo, frente al grupo MOS, AR3 de papa mostró numéricamente un menor peso para el páncreas al día 19 de edad, indicando posiblemente un mecanismo de adaptación del ave, ya que el suministro de AR3 de papa podría aportar energía en forma de glucosa que puede ser absorbida en el intestino delgado, un incremento que requeriría de una mayor secreción de insulina. Al día 25 el grupo MOS mostró un mayor peso para los componentes TGI, duodeno, íleon y peso del intestino delgado frente al grupo de AR3 de papa. De otra parte, el grupo AR3 Guaneña mostró un mayor peso para el ventrículo y una mayor longitud del duodeno frente al grupo AR3 Pastusa.

Comparado con el intestino delgado, el butirato tiene efectos tróficos sobre el intestino grueso. En los roedores y los cerdos, todos los estudios han demostrado que la masa del intestino grueso fue mayor en los animales alimentados con una dieta que promueve la producción de butirato, en comparación con los controles (Lacorn y col., 2010; Nofrarias y col., 2007 y Le Leu y col., 2003) con un aumento en la longitud del colon. El incremento de las concentraciones de butirato se asocian con cambios morfológicos de la mucosa (Mentschel y Claus, 2003). Al día 25 de edad, aun cuando no se observaron diferencias significativas en el peso del intestino grueso, se denota numéricamente un mayor peso del ciego lleno para el grupo MOS (niveles 0.5%, 0.79 g y 1.5%, 0.80 g), AR3 Guaneña

(niveles 0.5%, 0.86 g y 1.0%, 0.81 g) y el nivel de inclusión de 1.0% para AR3 Pastusa (0.90 g) frente al control sin suplementar (0.68 g), indicando de manera indirecta una mayor actividad de los microorganismos presentes en el intestino grueso. De otra parte, la mayoría de los ingredientes utilizados en la formulación de dietas para pollos de engorde contienen una gran proporción de almidones (70%) (Van der Aar, 2003) y la madurez del sistema digestivo va a delimitar la capacidad de absorción por parte del animal. Así mismo, la utilización de energía neta en aves es definida por los requerimientos de mantenimiento y crecimiento del intestino (Choct, 1999) y por el área superficial del mismo, siendo la macroestructura (longitud y área trasversal de los segmentos duodeno, yeyuno e íleon) y microestructura (altura de las vellosidades y área superficial del epitelio) morfológica del intestino quienes definen los procesos para cada segmento (Jin y col., 1998 y Iji, 1999).

La altura de la microvellosidad es un indicador global de la salud intestinal debido a que la microvellosidad dañada es más corta y los enterocitos localizados en la punta de la microvellosidad son más inmaduros. Las criptas de Lieberkuhn o criptas producen células madres, las cuales migran hacia la microvellosidad en la medida que la microvellosidad madura. Debido a la naturaleza de las células madre, la cripta es el principal sitio de proliferación celular (Uni y col., 1998). En la medida que ellas migran hacia la microvellosidad, las células madres se diferencian dentro del enterocito o en las células de goblet. Una vez alcanzan la parte alta de la microvellosidad, las células son descamadas dentro de la luz intestinal y son reemplazadas por células jóvenes. El tiempo de migración de las células es de 48 horas a los dos días de edad en las pollos, pero el tiempo de migración se incrementa a 96 horas o más en aves más maduras (Uni y col., 2000). La profundidad de la cripta es otro indicador de la salud intestinal, en la medida que la profundidad depende de la producción de más células, si el recambio celular es más alto. La relación altura de la microvellosidad: profundidad de la cripta es un tercer indicador de la salud intestinal. Si la relación es alta indicaría un área superficial mayor para la absorción de nutrientes y una mayor funcionalidad de los enteros maduros en la punta de la microvellosidad

En este estudio se observaron diferencias significativas para algunas de las variables evaluadas en los diferentes segmentos del intestino delgado. A nivel del duodeno, el control sin suplementar mostró una menor altura y área aparente de la microvellosidad y

una mayor profundidad de cripta, conduciendo a una menor relación altura vellosidad / profundidad cripta frente al grupo suplementado. Para el segmento del yeyuno, no se observaron diferencias entre el control sin suplementar y el grupo suplementado en las variables analizadas. Sin embargo, a nivel del íleon, el control sin suplementar mostró una menor profundidad de cripta, observando una tendencia que indicó numéricamente una menor altura de la vellosidad y una mayor relación altura vellosidad / profundidad cripta frente al grupo suplementado. La capacidad de absorción para un pollo de engorde es un proceso que debe considerar variables como el tiempo de residencia de la digesta, la secreción enzimática, los mecanismos de absorción, la actividad microbiana, el área superficial y la barrera funcional (Tivey y Butler, 1999). El duodeno posee una superficie de área de las vellosidades tres veces más grande que el íleon, a pesar que este último tiene dos veces su longitud y cerca de tres veces su peso (Bedford, 1996). Marcadores no absorbibles en aves, han demostrado que la mayor absorción ocurre en el duodeno y el yeyuno proximal, con una decreciente tasa distal de absorción, sin estar sujeta con el patrón de superficie intestinal total de cada segmento. Sin embargo, el área de absorción podría representar el potencial de absorción, mientras que la captura de nutrientes depende de la concentración del sustrato y la disponibilidad de transportadores, junto a la tasa de recambio celular (Noy y Sklan, 1998), por lo cual se sugiere, que a una mayor superficie de absorción por unidad de peso, se disminuye el tamaño de los componentes, reduciendo los costos de mantenimiento y permitiendo una mayor eficiencia alimenticia (Mitchell y Smith, 1991).

Al comparar el grupo MOS con el grupo AR3 de papa, a nivel del duodeno y yeyuno, este presentó una mayor altura de la vellosidad y una mayor relación altura vellosidad / profundidad cripta, mostrando el duodeno una mayor área aparente de la vellosidad, mientras que a nivel del íleon, el grupo MOS mostró una menor profundidad de cripta y una mayor relación altura vellosidad / profundidad cripta. A su vez, se observó para los grupos AR3 Guaneña y AR3 Pastusa a nivel del duodeno una mayor altura y área aparente de la vellosidad, lo que se reflejó en una mayor relación altura vellosidad / profundidad cripta para el grupo AR3 Pastusa. En los segmentos yeyuno e íleon, se observó lo contrario al duodeno, siendo el grupo AR3 Guaneña el que mostrara los mayores valores para la altura y el área aparente de la vellosidad y relación altura

vellosidad / profundidad cripta. Sin embargo, una tendencia indico numéricamente una menor profundidad de cripta para el grupo AR3 Pastusa. De acuerdo a Milles y col. (2006) dos de las características que le brinda al intestino la capacidad para absorber y en parte digerir el alimento es la densidad y la disposición de las vellosidades intestinales y el tamaño y la densidad de las microvellosidades del enterocito. Una mayor altura de las vellosidades intestinales se traduce en un aumento no solo de la superficie intestinal, sino de la actividad de las enzimas de borde de cepillo y de los sistemas de transporte de nutrientes como lo afirma Pluske y col. (1997), repercutiendo directamente sobre la digestión y absorción de nutrientes. Con respecto a la profundidad de cripta, Yason y col. (1987) asociaron una mayor profundidad de las criptas con la descamación o inflamación provocada por bacterias patógenas o sus toxinas, lo que resulta en un aumento en la tasa de renovación celular, para lograr la regeneración de las vellosidades. Esta renovación se relaciona directamente con un mayor consumo de energía y proteína para el mantenimiento del intestino, lo cual disminuye la eficiencia productiva del animal (Xu y col., 2003). De otra parte, la presencia en el lumen de una digesta de alta viscosidad puede incrementar el porcentaje de pérdida celular de las vellosidades, conduciendo a la atrofia de las mismas, un fenómeno asociado con un incremento en la producción de células a nivel de la cripta, lo que conduce a un aumento en la profundidad de la cripta (Montagne y col., 2003)

Con relación al desarrollo de las microestructuras del intestino, Chee y col. (2010) indicaron en pollos de engorde suplementados con MOS a los 21 días de edad obtuvieron una mayor altura de la vellosidad frente al control sin suplementar a nivel del íleon, sin obtener un efecto significativo sobre el grosor de la capa muscularis, la profundidad de cripta y la relación altura vellosidad / profundidad cripta. Sin embargo, Baurhoo y col. (2009) no encontraron diferencias significativas con relación al largo de la vellosidad la profundidad de la cripta y el espesor de la capa muscularis al suministrar MOS y virginiamicina. De otra parte, Iji y col. (2001a), mostraron aumentos en la altura de las vellosidades del yeyuno de pollos alimentados con MOS obtenidos de levaduras (Bio-Mos ® 5 g / kg) a los 28 días de edad, incrementando la relación altura vellosidad / profundidad cripta y los efectos significativos de los mananos sobre la morfología del intestino fueron observados hasta los 49 días, indicando que sus efectos son observables en el largo plazo. En pavos, Ferket y col., (2005) al suplementar MOS (Bio-MOS ® al 0.1%), no reporto efectos positivos sobre la altura de la vellosidades, pero observo una

disminución en la profundidad de cripta y una mayor relación altura vellosidad / profundidad cripta frente al control sin suplementar y virginiamicina. Finalmente, estos cambios en la altura de la vellosidades y la relación altura vellosidad / profundidad cripta indican la capacidad de estos suplementos para acelerar la maduración del intestino del pollo y esta maduración temprana está estrechamente relacionada con una mejora general de la digestión intestinal y la absorción de nutrientes, donde las vellosidades juegan una papel crucial en estos procesos (Uni y col., 1999; Noy y col., 2001 y Sklan, 2001).

A nivel del duodeno, una mayor altura de la vellosidad fue observada para el nivel de 0.5% MOS, mientras que para AR3 Guaneña el nivel de 1.0% mostró el menor valor, contrario a lo observado para AR3 Pastusa, donde este nivel mostró la mayor altura de la vellosidad. Una mayor área aparente de la vellosidad fue observada para el nivel de 0.5% en MOS, mientras que para AR3 Guaneña y Pastusa, en nivel de 1.5% y 1.0 y 1.5% mostraron la mayor área aparente. Una menor profundidad de la cripta fue observada para los niveles de 0.5% y 1.5% de MOS, mientras que para AR3 Guaneña y Pastusa, el nivel de 1.0% mostró el menor valor. Una mayor relación altura vellosidad / profundidad cripta fue observada para los niveles de 0.5% y 1.5% en el grupo MOS, mientras que para AR3 Guaneña y AR3 Pastusa, el nivel de 1.0% mostraron los mayores valores. Para el segmento yeyuno, los niveles de inclusión de 0.5% y 1.0% mostraron una mayor altura de la vellosidad para MOS, mientras que el nivel de 1.5% obtuvo el mayor valor tanto para AR3 Guaneña y Pastusa. Con relación al área aparente de la vellosidad, el nivel de 1.0%, seguido del nivel de 0.5% mostraron los mayores valores, mientras que el nivel de 1.0% mostró el menor valor tanto para AR3 Guaneña y Pastusa. Con relación a la profundidad de la cripta, en nivel de 1.5% mostró el menor valor, mientras que 0.5% y 1.0% obtuvieron el menor valor para AR3 Guaneña y AR3 Pastusa, respectivamente. Para el grupo MOS, la mayor relación altura vellosidad / profundidad cripta se observó para el nivel de 1.0%, seguido del nivel de 0.5%, mientras que para AR3 Guaneña el nivel de 0.5% mostró el mayor valor y el nivel de 1.0% lo fue para AR3 Pastusa. Finalmente a nivel del íleon, el grupo MOS mostró un comportamiento de tipo lineal similar entre los diferentes niveles de suplementación, AR3 Guaneña en nivel de 1.0% mostró la mayor altura de la vellosidad, mientras que para AR3 Pastusa en nivel de

1.5% seguido del 1.0% mostraron los mayores valores. Con relación a la profundidad de la cripta el nivel de 1.5% mostró la menor profundidad cripta, mientras que AR3 Guaneña 1.0% mostró el mayor valor y AR3 Pastusa el mayor valor fue para los niveles de 1.5% y 1.0%, respectivamente. Con relación al área aparente de la vellosidad, el nivel de 1.0% mostró el mayor valor para MOS, mientras que el nivel de 1.0% mostró el mayor valor para AR3 Guaneña y el nivel de 1.5% para AR3 Pastusa, siendo 0.5 y 1.0% similares entre sí. La relación altura vellosidad / profundidad cripta para el grupo MOS arrojó un mayor valor para el nivel de 1.5%, mientras que para AR3 Guaneña el nivel de 1.0% mostró el valor más alto y para AR3 Pastusa el nivel de 1.5% y 1.0% mostraron los mayores valores.

El AR es considerado como parte de la fibra dietaria (Montagne y col, 2003) y se conoce que esta puede incrementar la relación altura vellosidad / profundidad cripta, además de afectar de manera positiva o negativa la capacidad de absorción del epitelio del intestino delgado. Este efecto es mediado por la producción de AGV's, especialmente butirato, que actúa como un potente estimulador de la absorción de sodio y agua, como ha sido observado en el colon de los cerdos (Argenzio y Whipp, 1979), ratas (Binder y Mehta, 1990), y el hombre (Ramakrishna y Mathan, 1993; Topping y Clifton, 2001). Así, variaciones en la actividad específica de las enzimas de las membranas de borde de cepillo de las células intestinales a menudo están vinculadas a cambios morfológicos, especialmente en estados patológicos en los que están vinculados a atrofia de las vellosidades y / o aumento de la profundidad de las criptas y una disminución de la actividad (Kelly y col., 1991). No obstante, los efectos de la fibra dietaria sobre la estructura del epitelio no han sido claramente asociados con cambios en la actividad enzimática independientemente de la especie animal (Chinery y col., 1992; Onning y Asp, 1995; Lizardo y col., 1997 y Iji y col., 2001b).

En este estudio no se observaron diferencias entre el control sin suplementar y el grupo suplementado a nivel de pH o la concentración de AGV. El grupo AR3 Guaneña mostró un mayor valor de pH a nivel ileal frente a AR3 Pastusa, mientras que a nivel cecal, el grupo MOS mostró un menor pH frente al grupo AR3 de papa. Una mayor concentración de acetato y butirato fueron observadas para el grupo MOS frente al grupo AR3 de papa. Se encontró una tendencia de tipo lineal negativa para AR3 Guaneña donde al incrementar el nivel de inclusión, el pH del íleon disminuyó. Para el grupo MOS

numéricamente se incrementó el pH del contenido cecal con el aumento en el nivel de inclusión, mientras que AR3 Pastusa el nivel de 1.0% mostró numéricamente el menor valor para esta variable.

Se conoce que el AR3 suplementado en los alimentos puede duplicar las concentraciones de AGV (acetato, propionato y butirato) en el colon (Kleesen y col., 1997). Sin embargo, la proporción molar de estos AGV depende de la fuente de AR y la calidad del mismo (Jacobash y col., 1999). Los AR estimulan el crecimiento bacteriano por medio de la fermentación, lo que conlleva a la producción de AGV (Cummings, 1997). Scheppach y col. (1988) demostraron que junto con el incremento del peso de las heces, se incrementó la biomasa y la excreción de N. Hasta el presente, la atención ha sido centrada en su mayoría en la cantidad de AR en un alimento, posiblemente debido a la suposición de que la producción neta de AGV y el perfil de los ácidos producidos fueron las mismas para AR procedentes de diferentes fuentes. Sin embargo, hay alguna evidencia de que este no es el caso y los almidones difieren notablemente en su capacidad para producir diferentes cantidades y proporciones de AGV (Edwards y Rowland, 1992 y Nordgaard y col., 1995). Mientras AR en general favorece la producción de butirato (Weaver y col., 1992) se ha informado que la microflora de algunos individuos no puede metabolizar algunos tipos de AR (Cummings y col., 1996), lo cual conduce a la necesidad de identificar los factores que causan la resistencia de almidón a la degradación bacteriana.

En este estudio, todos los grupos mostraron para ácido acético un comportamiento de tipo cuadrático ($P < 0.05$), siendo el nivel de 1.0% el que mostró el menor valor para el grupo MOS, mientras que para los grupos AR3 Guaneña y Pastusa, el nivel de 1.0% mostró el mayor valor. En el caso del ácido propiónico, el grupo MOS mostró un comportamiento lineal cuadrático, siendo el nivel de 0.5% el que mostró el mayor valor, siendo diferente del nivel de 1.5%. El grupo AR3 Pastusa mostró una tendencia de tipo lineal, donde al aumentar el nivel de inclusión numéricamente se incrementaba la concentración de ácido propiónico. Se considera que varios oligosacáridos son considerados prebióticos ya que proveen un estatus de salud intestinal, al pasar intactos el intestino delgado de animales monogástricos, para ser fermentados por poblaciones de bacterias benéficas como son

las bifidobacterias y lactobacilos, estimulando su crecimiento y la producción de AGV como como acético, propiónico y n-butírico que son benéficos para el hospedero (Molis y col., 1996 y van der Wielen y col., 2000).

Con relación a la concentración de ácido butírico, el grupo MOS mostró un comportamiento de tipo cuadrático, mientras los grupos AR3 Guaneña y Pastusa mostraron un comportamiento de tipo lineal cuadrático. Para el grupo MOS el nivel de 1.0% mostró el menor valor, mientras que para AR3 Guaneña y Pastusa, este nivel alcanza la mayor concentración de ácido butírico. El butirato, es la principal fuente energética del enterocito junto con el acetato y el propionato, aun cuando compite con sustratos disponibles como glucosa y glutamina (Fleming y col., 1991; Cummings, 1995 y Cummings, 1997). Algunos estudios han sugerido que los efectos tróficos en el epitelio intestino grueso son el resultado de AGV, siendo el Butirato el que posee el efecto más fuerte, seguido del acetato y por último el propionato (Salminen y col., 1998). El butirato tiene amplios efectos positivos sobre la eficiencia de crecimiento, la digestibilidad y la alimentación a través de la modulación de la proliferación celular, la diferenciación y la función en el TGI, especialmente en las células epiteliales de la mucosa, y sobre los sistemas de defensa (función de barrera, potencia antimicrobiana, el sistema inmune) en animales saludables y enfermos (Scheppach y Weiler, 2004; Manzanilla y col., 2006 y Mazzoni y col., 2008). En el intestino delgado, el butirato aumenta la proliferación, diferenciación y maduración, y reduce la apoptosis de los enterocitos normales, mediada a través de su influencia en la expresión génica y la síntesis de proteínas (Sengupta y col., 2006). Hay poca información para explicar por qué la fermentación bacteriana de carbohidratos específicos, tales como AR y la oligofructosa, aumentan selectivamente la producción de butirato, pero se supone que las reacciones de interconversión, principalmente de lactato y acetato están en gran parte implicadas (Guilloteau y col., 2010).

4.5 Conclusiones

El desarrollo de los diferentes componentes del tracto gastrointestinal fue afectado por el uso de AR3 de papa y el MOS. Las mejores respuestas para el AR3 se observaron al 0.5%, mientras para el MOS se estimó el 1.0%. Con una mayor respuesta para el MOS comparado con el AR3 de la papa.

Las pruebas histométricas mostraron que el fragmento más sensible del intestino delgado fue el duodeno por la inclusión de MOS o AR3 cuando se evaluaron las variables: altura de vellosidad, profundidad de la cripta, área aparente de la vellosidad y relación vellosidad / cripta sugiriendo un efecto importante sobre la integridad de este segmento, por la inclusión de este tipo de carbohidratos.

Al comparar el MOS con los AR3 las medidas histométricas favorecieron a los manano oligosacáridos comparados con los almidones resistentes de papa con excepción de la profundidad de la cripta. Un resultado significativo similar fue observado para los dos tipos de AR3, siendo más relevante los resultados en los AR3 de la papa Pastusa.

El pH y la producción de ácidos grasos volátiles en el ileon y ciego no fueron afectados por la inclusión de MOS o AR3 de la papa. Sin embargo, la comparación de MOS con los AR3 de la papa mostró los resultados más relevantes en la producción de ácido butírico para los manano oligosacáridos.

4.6 Bibliografía

AOAC. 1998. Official Method 996.11: Starch (Total) in Cereal Products - Amyloglucosidase- α -Amylase Method. First Action 1996 AOAC-AACC Method, 32.2.05^a. In: Journal of AOAC International, Int. 80, 571.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.

Argenzio, R. A. Whipp, S. C. 1979. Inter-relationship of sodium, chloride, bicarbonate and acetate transport by the colon of the pig. J. Physiol. 295, 365–381.

Asp, N. G. 1992. Resistant starch. Proceedings from the secondary plenary meeting of EURESTA: European Preface. *Eur J Clin Nutr*, 4: (suppl 2) S1.

Bakker, G. C. M. 1995. Interaction between carbohydrates and fat in pigs. Impact on energy evaluation in feeds. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

Bannink, A. Dijkstra, J. Koopmans, S. J. and Mroz, Z. 2006. Physiology, regulation and multifunctional activity of the gut wall: a rationale for multicompartamental modeling. *Nutrition Research Reviews*, Vol. 19:02, pp 227–253.

Baurhoo, B. Goldflus, F. and Zhao, X. 2009. Purified cell wall of *Saccharomyces cerevisiae* increases protection against intestinal pathogens in broiler chickens. *International Journal of Poultry Science* 8 (2): 133-137.

- Bedford, M. 1996. Interaction between ingested feed and the digestive system in poultry. *Journal Applied Poultry Research*. 5: 86-95.
- Bello-Pérez, L. A and Paredes-López, O. 2009. Starches of Some Food Crops, Changes During Processing and Their Nutraceutical Potential. *Food Eng Rev*, 1:50–65
- Binder, H. J. Mehta, P. 1990. Characterization of butyrate-dependant electroneutral NaCl absorption in rat colon. *P. Fluggen. Arch.* 417, 365–369.
- Bird, A. R. Brown, I. L. and Topping, D. L. 2000. Starches, Resistant Starches, the Gut Microflora and Human Health. *Curr. Issues Intest. Microbiol.* 1(1): 25-37.
- Bird, A. R. and Topping, D. L. 2001. Resistant starch, fermentation, and large bowel health. In *Handbook of Dietary Fiber*, 147–158, Cho & ML Dreher, S. S. (ed.). Marcel Dekker, NY.
- Bird, A. R. Lopez-Rubio, A. Shrestha, A. K. and Gidley, M. J. 2009. Resistant starch in vitro and in vivo: factors determining yield, structure, and physiological relevance. In Kasapis, S. Norton, I. and Ubbink, J. (Ed.), *Modern Biopolymer Science* (pp. 449-510) London, United Kingdom: Academic Press, Elsevier Inc.
- Brouns, F. Kettlitz, B. and Arrigoni, F. 2002. Resistant starch and the butyrate revolution. *Trends Food Sci Technol* 13:251–261
- Brown, I. L. McNaught, K. J. and Moloney, E. 1995. Hi-maize™: new directions in starch technology and nutrition. *Food Aust* 47: 272-275.
- Brunsgaard, G. Eggum, B. O. and Sandström, B. 1995. Gastrointestinal growth in rats as influenced by indigestible polysaccharides and adaptation period. *Comparative Biochemistry and Physiology* 111A, 369–377.
- Chee, S. H. Iji, P. A. Choct, M. Mikkelsen, L. L. and Kocher, A. 2010. Characterisation and response of intestinal microflora and mucins to manno-oligosaccharide and antibiotic supplementation in broiler chickens. *British Poultry Science* Vol.51:3, pp. 368—380
- Chinery, R. Goodlad, R. A. Wright, N. A. 1992. Soy polysaccharide in an enteral diet: effects on rat intestinal cell proliferation, morphology and metabolic function. *Clin. Nutr.* 11, 277–283.
- Choct, M. 1999. Soluble non-starch polysaccharides affect net utilisation of energy by chickens. *recent advances in animal nutrition in Australia*. 12: 31-35.
- Collier, C. T. Van der Klis, J. D. Deplancke, B. Anderson, D. B and Gaskins, H. R. 2003. Effects of tylosin on bacterial mucolysis, *Clostridium perfringens* colonization, and intestinal barrier function in a chick model of necrotic enteritis. *Antimicrob. Agents Chemother.* 47: 3311-3317.
- Corrier, D. E. Hinton, A. Jr. Ziprin, R. L. Beiber, R. C. and DeLoach, J. R. 1990. Effect of dietary lactose on cecal pH, bacteriostatic volatile fatty acids, and salmonella typhimurium colonization of broiler chicks. *Avian Diseases*. 34:617-625.
- Cummings, H. J. 1995. Short chain fatty acids. In *Human Colonic Bacteria: Role in Nutrition, Physiology and Pathology*, pp. 101–130 [GR Gibson and GT Macfarlane]. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Cummings, J. H. 1997. The Large Intestine in Nutrition and Disease. Course memories. Danone chair Monograph. Pp 1-155. Institute, Danone, Bruselas. <http://www.danone-institute.com>

- Cummings, J. H. Beatty, E. R. Kingman, S. M. et al. 1996. Digestion and physiological properties of resistant starch in the human large bowel. *Br J Nutr* 75, 733–747.
- Edwards, C. A. and Rowland, I. R. 1992. Bacterial fermentation in the colon and its measurement. In *Dietary Fibre. A Component of Food*, pp. 119–136 [TF Schweizer and CA Edwards, editors]. London: Springer Verlag.
- Ferket, P. R. Santos, Jr. A. A. and Oviedo-Rondón, E. O. 2005. Dietary factors that affect gut health and pathogen colonization. 32nd Annual Carolina Poultry Nutrition Conference, 22 pp.
- Fleming, S. E. Fitch, M. D. DeVries, S. Liu, M. L. and Knight, C. 1991. Nutrient utilization by cells isolated from rat jejunum, cecum and colon. *J. Nutr.* 121:868-878.
- Fuentes-Zaragoza, E. Riquelme-Navarrete, M. J. Sanchez-Zapata, E. and PerezAlvarez, J. A. 2010. Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*. doi: 10.1016/j.foodres.2010.02.004.
- Goñi, I. García-Díaz, L. Mañas, E. and Saura-Calixto, F. 1996. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*, Vol. 56, No. 4 pp. 445 – 449.
- Guilloteau, P. Martin, L. Eeckhaut, V. Ducatelle, R. Zabielski, R. and Van Immerseel, F. 2010. From the gut to the peripheral tissues: the multiple effects of butyrate. *Nutrition Research Reviews / Volume 23 / Issue 02 / pp 366 384*
- Hinton, A. Jr. Corrier, D. E. Spates, G. E. Norman, J. O. Ziprin, R. L. Beier, R. C. and DeLoach, J. R. 1990. Biological control of *Salmonella typhimurium* in young chickens. Vol. 34 (3):626-633.
- Iji, P. A. 1999. The impact of cereal non-starch polysaccharides on intestinal development and function in broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*. 55(4): 375-387.
- Iji, P. A. Saki, A. A. and Tivey, D. R. 2001a. Intestinal structure and function of broiler chickens on diets supplemented with a mannan oligosaccharide. *J. Sci. Food Agric.* 81: 1138-1192.
- Iji, P. A. Saki, A. A. Tivey, D. R. 2001b. Intestinal development and body growth of broiler chicks on diets supplemented with non-starch polysaccharides. *Anim. Feed Sci. Technol.* 89, 175–188.
- Jin, S. Corless, A. Sell, J. L. and Jin, S. H. 1998. Digestive system development in post-hatch poultry. *World's Poultry Science Journal*. 54: 335-345.
- Kelly, D. 2004. Regulation of gut function and immunity in: *Interfacing immunity, Gut health and performance*. 1º Ed. Nottingham University Press. UK, pp. 61-76.
- Kelly, D. Smyth, J. A. McCracken, K. J. 1991. Digestive development of the early-weaned pig. 1. Effect of continuous nutrient supply on the development of the digestive tract and on changes in digestive enzyme activity during the 1st week post-weaning. *Br. J. Nutr.* 65, 169–180.
- Kleesen, B. Stoof, G. Proll, J. Schmiedl, D. Noack, J. Blaut, M. 1997. Feeding RS affects fecal and cecal microflora and short-chain fatty acids in rats. *J Anim Sci* 75:2453–2462
- Lacorn, M. Goerke, M. and Claus, R. 2010. Inulin-coated butyrate increases ileal MCT1 expression and affects mucosal morphology in the porcine ileum by reduced apoptosis. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 94, 670–676.

Le Leu, R. K. Brown, I. L. Hu, Y. et al. 2003. Effect of resistant starch on genotoxin-induced apoptosis, colonic epithelium, and lumenal contents in rats. *Carcinogenesis* 24, 1347–1352.

Leedle, J. P. J. and Paulissen, B. 1989. Factors affecting the in vitro production of volatile fatty acids by mixed bacterial population from the bovine rumen. *Journal of Animal Science*; 67:1593-1602.

Lizardo, R. Peiniau, J. Lebreton, K. Aumaitre, A. 1997. Consequences of the inclusion of sugar beet pulp in diets for early weaned and growing pigs. *Ann. Zootech.* 46, 281–294.

Maiorka, A, Silva, A. V. F. Santin, E. Borges, S. A. Boleli, I. C. Macari, M. 2000. Influência da suplementação de glutamina sobre o desempenho e o desenvolvimento de vilos e criptas do intestino delgado de frangos. *Arq Bras Med Vet Zootec.* 52(5).

Manzanilla, E. G. Nofrarias, M. Anguita, M. et al. 2006. Effects of butyrate, avilamycin, and a plant extract combination on the intestinal equilibrium of early-weaned pigs. *J Anim Sci* 84, 2743–2751.

Martínez-Puig, D. 2006. Implicaciones digestivas y metabólicas del consumo de almidón resistente en el cerdo. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.

Mazzoni M, Le Gall M, De Filippi S, et al. 2008. Supplemental sodium butyrate stimulates different gastric cells in weaned pigs. *J Nutr* 138, 1426–1431.

Mentschel, J. and Claus, R. 2003. Increased butyrate formation in the pig colon by feeding raw potato starch leads to a reduction of colonocyte apoptosis and a shift to the stem cell compartment. *Metabolism* 52, 1400–1405.

Milles, R. D. Butcher, G. D. Henry, P. R. and Littell, R. C. 2006. Effect of antibiotic growth promoters on broiler performance, intestinal growth parameters and quantitative morphology. *Poult. Sci.*, 85: 476-485.

Mitchell, M. and Smith, M. 1991. The effects of genetic selection for increased growth on mucosal and muscle weights in the different regions of the small intestine of the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *Comp. Biochem. Physiol.* 99k2:51-258.

Molis, C. Flourié, B. Ouarne, F. Gailing, M. F. Lartigue, S. Guibert, A. Bornet, F. and Galmiche, J. P. 1996. Digestion, excretion, and energy value of fructooligosaccharides in healthy humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 64:324–328.

Montagne, L. J. R. Pluske, and Hampson, D. J. 2003. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa and their consequences on digestive health in young nonruminant animals. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 103, 95-117.

Murakami, H. Akiba, Y. and Horiguchi, M. 1992. Growth and utilisation of nutrients in newly-hatched chick with or without removal of residual yolk. *Growth, Development and Aging.* 56: 75-84.

Neish, A. S. 2002. The gut microflora and intestinal epithelial cells: a continuing dialogue. *Microbes Infect.* 4: 309-317.

Nitsan, Z. Avraham, G. B. Zorfe, Z. and Nir, I. 1991b. Growth and development of the digestive organs and some enzymes in the broiler chicks after hatching. *Br. Poult. Sci.* 32:515-523.

Nitsan, Z. Duntington, E. A. and Siegel, P. B. 1991a. Organ growth and digestive enzyme levels to fifteen days of age in lines of chickens differing in body weight. *Poult. Sci.* 70:2040- 2048.

Nofrarias, M. Martinez-Puig, D. Pujols, J. et al. 2007. Long term intake of resistant starch improves colonic mucosal integrity and reduces gut apoptosis and blood immune cells. *Nutrition* 23, 861–870.

Nordgaard, I. Mortensen, P. B. and Langkilde, A. M. 1995. Small intestinal malabsorption and colonic fermentation of resistant starch and resistant peptides to short-chain fatty acids. *Nutrition* 11, 129–137.

Noy, Y. and Sklan, D. 1998. Metabolic Responses to Early Nutrition. *Journal of Applied Poultry Research*. 7: 437-451.

Noy, Y. Geyra, A. and Sklan, D. 2001. The effect of early feeding on growth and small intestinal development in the poast hatch poult. *Poultry Science*, 80: 912–919.

Oates, C. G. 1997. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. *Trends Food Sci. Technol.* 8:11, pp. 375–382.

Onning, G. Asp, N. G. 1995. Effect of oat saponins and different types of dietary fibre on the digestion of carbohydrates. *Br. J. Nutr.* 74, 229–237.

Pluske, J. Hampson, D. and Williams, I. 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. *Livestock Production Science* 51 215-236.

Ramakrishna, B. S. Mathan, V. I. 1993. Colonic dysfunction in acute diarrhoea—the role of luminal short chain fatty acids. *Gut* 34, 1215–1218.

Rijnen, M. M. J. A. 2003. Energetic utilisation of dietary fiber in pigs. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

Rostagno, H. 2005. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Viçosa (MG), Universidade Federal de Viçosa.

Salminen, A. Tapiola, T. Korhonen, P. et al. 1998. Neuronal apoptosis induced by histone deacetylase inhibitors. *Brain Res Mol Brain Res* 61, 203–206.

SAS 9.2. 2007. Statistical Analysis System Institute Inc. SAS/STAT. Version 9. Cary. NC. Users guide statical análisis system. Institute, Inc. Cory, W.C.

Scheppach, W. and Weiler, F. 2004. The butyrate story: old wine in new bottles? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 7, 563–567.

Scheppach, W. Fabian, C. Sachs, M. Kasper, H. 1988. The effect of starch malabsorption on fecal short chain fatty acid excretion in man. *Scan. J. Gastroenterol.*23:755-759.

Sengupta, S. Muir, J. G. and Gibson, P. R. 2006. Does butyrate protect from colorectal cancer? *J Gastroenterol Hepatol* 21, 209–218.

Sharma, A. Yadav, B. S. and Ritika. 2008. Resistant starch: Physiological roles and food applications. *Food Reviews International*, 24, 193–234.

Sharp, R. Macfarlane, G. T. 2000. Chemostat enrichments of human faeces with resistant starch are selective for adherent butyrate-producing clostridia at high dilution rates. *Appl Environ Microbiol* 66:4212–4221

- Sklan, D. 2001. Development of the digestive tract of poultry. *World's Poult. Sci. J.* 57:415–428.
- Steel R. G. D. y Torrie J. H. 1992. *Bioestadística. Principios y Procedimientos*. Editorial Graf América. México. 622 p.
- Stringhini, J. H. Andrade, M. L. Andrade, L. Xavier, S. A. G. Cafe, M. B. and Leandro, N. S. M. 2006. Performance, nutrient balance and retention and biometrical measures of digestive organs of broilers fed different dietary protein levels in the prestarter period. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Vol 35; NUMB 6, pp. 2350-2358.
- Themeier, H. Hollman, J. Neese, U. and Lindhauer, M. G. 2005. Structural and morphological factors influencing the quantification of resistant starch II in starches of different botanical origin. *Carbohydrate Polymers*, 61:72-79.
- Tivey, D. and Butler, R. 1999. Breath analysis - a key to understanding intestinal function. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*. 13: 45-52.
- Topping, D. L. and Clifton, P. M. 2001. Short-chain fatty acids and human colonic function: role of resistant starch and non starch polysaccharides. *Physiol. Rev.* 81, 1031–1064.
- Uni, Z. Ganot, S. and Sklan, D. 1998. Posthatch development of mucosal function in the broiler small intestine. *Poultry Sci.* 77:75–82.
- Uni, Z. Noy, Y. and Sklan, D. 1999. Posthatch development of small intestinal function in the poult. *Poult. Sci.* 78:215–222.
- Uni, Z. Geyra, A. Ben-Hur, H. and Sklan, D. 2000. Small intestinal development in the young chick: Crypt formation and enterocyte proliferation and migration. *Br. Poult. Sci.* 41:544–551.
- Van der Aar, P. 2003. Getting to Know starch better. *Feed mix*, vol. 11; Num.2, En: www.AgriWorld.nl
- Van der Meulen, J. Bakker, G. C. M. Bakker, J. G. M. De Visser, H. Jongbloed, A. W. and Everts, H. 1997. Effect of resistant starch on net portal-drained viscera flux of glucose, volatile fatty acids, urea, and ammonia in growing pigs. *Journal of Animal Science* 75, 2697–2704.
- van Der Wielen, P. 2002. Dietary strategies to influence the gastrointestinal microflora of young animals and its potential to improve intestinal health. Pages 37–60 in *Nutrition and Health of the Gastrointestinal Tract*. M. C. Blok, H. A. Vahl, L. de Lange, A. E. van de Braak, G. Hemke, and M. Hessing ed. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- van Der Wielen, P. Biesterveld, W. J. J. Notermans, S. S. Hofstra, H. Urlings, B. A. and vanKapen, F. 2000. Role of volatile fatty acids in development of the cecal microflora in broiler chickens during growth. *Appl. Env. Microbiol.* 66:2536–2540.
- Weaver, G. A. Krause, J. A. Miller, T. L. et al. 1992. Cornstarch fermentation by the colonic microbial community yields more butyrate than does cabbage fiber fermentation; cornstarch fermentation rates correlate negatively with methanogenesis. *Am J Clin Nutr* 55, 70–77.
- Xu, Z. R. Hu, C. H. Xia, M. S. Zhan, X. A. and Wang, M. Q. 2003. Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poult. Sci.*, 82: 1030-1036.
- Yason, C. V. Schat, K. A. 1987. Pathogenesis of rotavirus infection in various age groups of chickens and turkeys: Clinical signs and virology. *Am J Vet Res*; 48:977.

5. Influencia del AR retrogradado de papa sobre el desempeño productivo, crecimiento y respuesta económica de pollos de engorde en un ciclo de producción

5.1 Introducción

El desarrollo de la industria avícola ha venido de la mano con el avance en la investigación y validación productiva de diferentes desarrollos tecnológicos, los cuales han sido apropiados en una gran variedad de contextos para lograr optimizar la expresión del potencial genético, mediante sistemas de alimentación, que han tenido la capacidad de impactar diferentes tipos de indicadores: biológicos, económicos y ambientales (Talpaz y col., 1998 y Castrodeza y col., 2004). En Colombia, la avicultura es un renglón relevante para el PIB nacional y específicamente la industria avícola productora de carne de pollo ha mostrado parámetros de productividad que se encuentran dentro de los estándares internacionales, ubicándola en el sexto lugar en producción de carne de pollo a nivel continental (Conpes, 2007).

La producción de carne de pollo es una fuente importante de empleo, que mantiene una relación directa con otros sectores de la cadena productiva, hacia atrás con la producción agrícola de materias primas, fabricación de alimentos balanceados y productos farmacéuticos, entre otros y hacia adelante con la comercialización primaria del producto y productos cárnicos con valor agregado para el consumidor. En este sentido, el consumo per cápita aun cuando es relativamente bajo (20 Kg / persona / año) frente a países como Estados Unidos (43 Kg) o Brasil (31 Kg), brinda la posibilidad de expandir la producción interna (Espinal y col., 2005), sin olvidar el paradigma actual del consumidor que se orienta hacia la búsqueda de productos inocuos, sanos y con alto valor nutritivo.

Aunque la fibra dietaria se define clásicamente como un polisacárido no amiláceo (PNA) que no se digiere en el intestino delgado y llega al colon para ser fermentado, actualmente se conocen otros oligosacáridos resistentes y carbohidratos análogos que pueden ser incluidos dentro de esta definición, como es el caso del almidón resistente (Gibson y col., 1996; Champ y col., 2003 y Sharma y col., 2008). El almidón es el principal componente de los cereales, tubérculos, leguminosas y frutos inmaduros (Bello-Pérez y Paredes-López, 2009), siendo uno de los principales componentes de la dieta del hombre y los animales. De otra parte, es conocido que una parte de este almidón puede escapar de la digestión y absorción del intestino delgado, siendo fermentado en el intestino grueso con la consecuente producción de AGV (Asp, 1992), el cual es denominado almidón resistente (AR). El AR ha sido clasificado en cuatro grupos: el AR1 que constituye el almidón de difícil acceso físico, el AR2 que son los gránulos de almidón no gelatinizados (AR2), el AR3 el almidón retrogradado y finalmente el AR4 conformado por el almidón modificado químicamente (AR4) (Fuentes-Zaragoza y col., 2010). Themeier y col. (2005) señalaron que el AR3 posee dos subtipos, el tipo AR3 que contiene un mayor porcentaje de amilopectina cristalina como en el caso de la papa y al AR3 tipo b, conformado en su mayoría por una red de amilosa parcialmente cristalinizada (Themeier y col., 2005).

Actualmente, el AR ha recibido mucha atención tanto por sus potenciales beneficios para la salud y propiedades funcionales, incluyendo de manera positiva en el funcionamiento del tracto digestivo, la microflora, los niveles de colesterol en sangre, el índice glicémico y contribuyendo al control de la diabetes (Fuentes-Zaragoza y col., 2010). Esta es una forma inusual de fibra dietaria, cuya concentración puede cambiar durante el procesamiento, almacenamiento y el consumo del alimento (Bello-Pérez y Paredes-López, 2009), como ocurre con el paso de AR tipo 2 a AR tipo 3, mediante la retrogradación y posterior enfriamiento en el caso de la papa. Sin embargo, las respuestas entre especies pueden ser diferenciales (Bird y Topping, 2001).

El potencial nutracéutico del AR está relacionado con la reducción de la digestibilidad por la presencia de enzimas digestivas tales como: alfa amilasa, isoamilasa y pulanasa, presentando una tasa más lenta de fermentación y un perfil de AGV, característicos frente a la mayoría de las fibras dietarias, siendo el butirato el principal nutrientes de los

colonocitos (Bello-Pérez y Paredes-López, 2009). Cuando se logra optimizar la absorción de nutrientes, se influye de manera positiva sobre la funcionalidad de la barrera intestinal y la microflora presentes, brindando un mejor ambiente intestinal al utilizar compuestos con características nutracéuticas (Adams, 2004 y Wenk, 2003) como el AR3, se puede lograr una disminución los costos de mantenimiento del tracto gastrointestinal y una mejora de la respuesta inmune, obteniendo una mejor productividad y eficiencia en la producción de carne de pollo (Van der Klis y Jansman, 2002).

La potencialidad del almidón resistente retrogradado de papa en los escenarios descritos no ha sido estudiada en pollos de engorde. Por lo tanto, este capítulo busca evaluar la influencia del Almidón resistente retrogradado (AR3) de las variedades de papa Guaneña y Pastusa sobre los parámetros productivos, la respuesta del crecimiento y la valoración económica de su inclusión como posible aditivo funcional en sistemas de alimentación de pollos de engorde durante un ciclo completo de producción comercial.

5.2 Materiales y métodos

5.2.1 Bioensayo con pollos de engorde

Comité de Bioética Animal. El estudio fue sujeto a evaluación y aprobación para su realización por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, Acta No. 002 de 2009.

Localización. Este estudio se realizó en las instalaciones avícolas de la Corporación Agropecuaria Colombiana Corpoica–CI–Tibaitata, ubicado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca). Este centro se localiza a 2650 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 14°C y humedad relativa promedio de 76%.

Animales y alojamiento. Se utilizaron 792 pollos de un día de edad de la línea Ross provenientes de un mismo lote, asegurando condiciones similares de manejo y ambientales. Del día 1 al 21 de edad se alojaron 44 aves por cada corral (1.5 x 2.0 m) en piso, con cama de viruta reutilizada, siendo cada corral una réplica experimental (3 réplicas por tratamiento). Una criadora a gas fue compartida entre dos corrales y cada uno conto, durante las dos primeras semanas de edad con tres comederos BB y un

bebedero automático de campana. Al día 14 de edad se colocaron dos comederos de tolva por cada corral, hasta el final del experimento. La temperatura inicial de recepción fue de 35 °C y fue disminuyendo gradualmente cada semana hasta alcanzar el promedio de la temperatura ambiente. Se manejó iluminación continua durante la primera semana de edad y 16 horas a partir del día ocho de edad. Al día 21 de edad, los animales de cada corral fueron divididos en dos grupos, cada uno de 20 animales con un promedio de peso corporal similar entre grupo, para tener un total de 36 corrales experimentales, siendo cada corral una réplica experimental (6 réplicas por tratamiento). Las aves tuvieron acceso libre al agua de bebida y al alimento durante la totalidad del experimento. Se utilizó un esquema de vacunación al día uno contra Viruela Aviar (vía alar) y a los 10 días de edad contra New Castle (vía ocular).

Tratamientos experimentales. Las aves fueron distribuidas de manera aleatoria en seis tratamientos experimentales, las cuales fueron diseñadas bajo un sistema de alimentación por fases, siendo estas: Iniciación, del 1^a al 21^a día de edad (2950 kcal de EMA / Kg, 22% de PC y 1.21% lisina digestible), Crecimiento, 22^a al 35^a día de edad (3050 kcal de EMA / Kg, 19% de PC y 1.08% de lisina digestible) y Finalización, 36^a al 42^a día de edad (3150 kcal de EMA / kg, 18% de PC y 0.89% de lisina digestible) de acuerdo a los requerimientos nutricionales definidos para esta fase de acuerdo a las Tablas Brasileñas de Alimentación (Rostagno, 2005) (Tablas 5-1 y 5-2). Se realizó un análisis proximal a las materias primas para realizar la formulación acorde a los protocolos propuestos por la AOAC (2000) evaluando los siguientes parámetros: humedad, proteína cruda, cenizas y energía bruta y se determinó el contenido de almidón total (AOAC, 1998) y almidón resistente (Goñi y col., 1996). Las dietas fueron isocalóricas e isoproteicas, manteniendo niveles similares de calcio y fósforo, balance electrolítico e inclusión de almidón resistente tipo 1 similar entre los tratamientos experimentales.

Los niveles de inclusión de las dietas experimentales para los tratamientos de Carboximetil celulosa (CMC) de baja densidad y Levadura comercial (Levapam ®) fueron establecidos a través de literatura y experiencias desarrolladas por el grupo de investigación. Con relación a los niveles de inclusión de manano oligosacáridos (Safmannan ®) y el almidón resistente retrogrado (AR3), estos fueron establecidos en los

capítulos 3 y 4 que relaciono la digestibilidad de nutrientes, el desempeño productivo y el desarrollo y la morfometría del tracto gastrointestinal (TGI) de pollos de engorde durante la etapa de iniciación. Las aves fueron pesadas con la ayuda de balanza electrónica (exactitud de 0.1 g), los días 1, 7, 14, 21, 28, 35 y 42 de edad, simultáneamente se registró el consumo de alimento cada comedero para calcular por diferencia el consumo de cada corral y se registró la mortalidad diaria para cada tratamiento. Los tratamientos experimentales utilizados fueron: Control sin suplementar; Manano oligosacáridos (MOS), nivel de inclusión de 0.5%; Carboximetil celulosa (CMC), nivel de inclusión de 1.0%; Levadura comercial (Levadura), nivel de inclusión de 0.5 %; AR3 de papa Guaneña (AR3 Guaneña), nivel de inclusión 1.0% y AR3 de papa Pastusa (AR3 Pastusa), nivel de inclusión 1.0%.

Tabla 5-1: Dietas experimentales utilizadas en el bioensayo del día 1 al día 35 de edad

Ingredientes	Dietas experimentales											
	Iniciación (día 1 al 21 de edad)						Crecimiento (día 22 al 35 de edad)					
	CONTROL	CMC	MOS	LEV	AR3G	AR3P	CONTROL	CMC	MOS	LEV	AR3 G	AR3 P
Maíz	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Torta Soya 49	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Harina Arroz	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Soya Extruida	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Glucosa	0,06	0,04	0,05	0,05			0,06	0,05	0,05	0,05	0	
Salvado trigo	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
H. Pescado	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0
Fosfato Mon.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Carb. de Ca	0,0091	0,0091	0,0091	0,0091	0,0092	0,0092	0,0095	0,0095	0,0095	0,0095	0,0095	0,0095
Aceite de Soya	0,0004	0,0078	0,0041	0,0041	0,0072	0,0063	0,0178	0,0252	0,0215	0,0215	0,0252	0,0252
Sal	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
DL-Metionina	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0034	0,0034	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Relleno	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,0018	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086
Bicarbonato Na	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
L-Lisina HCl	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0022	0,0022	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Premex Vit Min	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
L- Treonina	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Cl Colina 60%	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
CMC		0,01						0,01				
Levadura				0,005						0,005		
MOS			0,005						0,005			
AR3 G					0,053						0,053	
AR3 P						0,056						0,056
	Análisis de nutrientes (calculado)											
EM (Mcal/Kg)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100
Proteína (%)	21,6	21,6	21,6	21,6	21,5	21,5	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6
AR tipo1	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
AR3		1,0	0,24	0,14	1,0	1,0		1,0	0,24	0,14	1,0	1,0
Calcio	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
P-disponible	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Bal. electrolítico	258,27	258,3	258,3	258,3	256,6	256,5	250,1	250,1	250,1	250,1	250,1	250
Lisina digestible	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

CMC, Carboximetilcelulosa; Lev, levadura comercial; MOS, Manano oligosacáridos; AR3G, almidón resistente retrogradado de papa Guaneña; AR3P, almidón resistente retrogradado de papa Pastusa, Relleno, arena de río.

- 158 Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (*Solanum tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable, e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde

Tabla 5-2: Dietas experimentales utilizadas en el bioensayo del día 35 al día 42 de edad

Dietas experimentales						
Finalización (Día 36 al 42 de edad)						
Ingredientes	CONTROL	CMC	MOS	LEV	AR3 G	AR3 P
Maíz	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Torta Soya 49	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Harina Arroz	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Soya Extruida	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Glucosa	0,068	0,051	0,059	0,059	0,007	0,005
Salvado trigo	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
H. Pescado	0	0	0	0	0	0
Fosfato Mon.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Carb. de Ca	0,0084	0,0084	0,0084	0,0084	0,0084	0,0084
Aceite de Soya	0,0262	0,0335	0,0299	0,0299	0,0336	0,0335
Sal	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
DL-Metionina	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
Relleno	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
Bicarbonato Na	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
L-Lisina HCl	0	0	0	0	0	0
Premex Vit Min	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
L- Treonina	0	0	0	0	0	0
Cl Colina 60%	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
CMC		0,01				
Levadura				0,005		
MOS			0,005			
AR3 G					0,053	
AR3 P						0,056
Análisis de nutrientes (calculado)						
EM (Mcal/Kg)	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200
Proteína (%)	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6
AR tipo1	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
AR3		1,0	0,24	0,14		1,0
Calcio	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
P-disponible	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Bal. electrolítico	252,6	252,6	252,6	252,6	252,6	252,6
Lisina digestible	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87

CMC, Carboximetilcelulosa; Lev, levadura comercial; MOS, Manano oligosacáridos; AR3G, almidón resistente retrogradado de papa Guaneña; AR3P, almidón resistente retrogradado de papa Pastusa. Relleno, arena de río.

5.2.2 Tasa específica de crecimiento

Con el fin de comparar el patrón de crecimiento entre los diferentes grupos experimentales, se calculó el coeficiente de crecimiento diario como $TEC = 100 * (\ln Pf - \ln Pi) / t$, donde el Pf corresponde al peso corporal final (g) y PI al peso corporal inicial (g), ambos durante un intervalo de tiempo y t al tiempo de duración entre cada pesaje (Ricker, 1979)

5.2.3 Indicadores productivos

Con los resultados obtenidos a partir de los parámetros productivos (peso corporal, consumo alimento total, conversión alimenticia y mortalidad) al día 42 de edad, se realizó una evaluación mediante indicadores productivos estándares por réplica y por tratamiento. Los indicadores utilizados fueron el factor de eficiencia europea (FEE), el %

de eficiencia americana (%EA) y el índice de productividad (IP), utilizando las siguientes formulas:

$$FEE = \frac{\text{Viabilidad (\%)} * \text{Peso corporal vivo (kg)} * 100}{\text{Edad (días)} * \text{Conversión alimenticia}}$$

$$\%EA = \frac{\text{Peso vivo (kg)}}{\text{Conversión alimenticia}} * 100$$

$$IP = \frac{\% \text{ Eficiencia americana}}{\text{Conversión alimenticia}} * 100$$

5.2.4 Rendimiento en canal

Al día 42 de edad previo registro del peso corporal, se sacrificaron 12 aves seleccionadas al azar por tratamiento, mediante dislocación cervical, para luego ser sacrificadas mediante sangría de la yugular a nivel del paladar, pasando en la línea de sacrificio por escaldado (55 - 60 °C), pelado mecánico y eviscerado manual. Una vez eviscerados se pesó la canal, grasa abdominal y las fracciones: pechuga, pierna-pernil, alas, costillar y rabadilla.

5.2.5 Análisis económico

El análisis de los efectos económicos del nivel de inclusión de AR retrogrado de papa con las variedades seleccionadas se evaluó a través de técnicas de presupuestos parciales. Se realizará un análisis económico comparativo entre los tratamientos, basado en los costos e ingresos por tratamiento o grupo experimental. Para estimar el costo por kilogramo de pollo en pie por tratamiento se utilizará el modelo descrito por Marini, (1978). Para calcular el Costo por Kg de pollo en pie en pesos (Costo Kg / P / P) se utilizó la siguiente fórmula:

$$C = \frac{B}{X} + c (Yi)$$

Dónde:

B = Costo del ave de un día, (\$1.230)

X = Peso corporal del pollo a los 42 días de edad

Y = Conversión de alimento

c = Costo del alimento a los 42 días de edad

i = Tratamiento experimental

Los costos de las dietas para las diferentes fases de alimentación aparecen en la tabla 5-3. Con referencia al precio del AR3 para cada una de las variedades de papa, se tuvo en cuenta el costo por kilogramos de papa, un costo aproximado del procesamiento y extracción del almidón de papa y el costo aproximado para la elaboración del AR retrogradado de papa.

Tabla 5-3: Costos de las dietas experimentales

Tratamiento	Fase		
	Iniciación	crecimiento	finalización
Control	1199,9	1194,2	1210,2
CMC	1235,1	1229,6	1245,1
MOS	1253,5	1248,0	1264,0
Levadura	1220,1	1214,6	1230,6
AR3 Guaneña	1328,4	1320,6	1336,6
AR3 Pastusa	1277,7	1269,4	1284,6

El Ingreso Neto Parcial por pollo en pie (INPPP) a los 42 días de edad por tratamiento se calculó de la siguiente forma:

$$INPPP = \frac{(Py * Yi) - (Px * Xi)}{n}$$

Dónde:

Py = Precio de kg de pollo en pie, \$2.700

Y = Cantidad de pollo en kg a los 42 días de edad

Px = Precio del kg de alimento, \$ (Tabla 6)

X = Cantidad de alimento consumido a los 42 días de edad

n = Número de pollos a los 42 días de edad / réplica

i = Tratamiento experimental

El Ingreso Parcial por Pollo en Canal (IPPC) a los 42 días de edad se estimó mediante la ecuación:

$$IPPC = \frac{[Py (Yi * Xi)] - INPPP}{n}$$

Dónde:

INPPP = Ingreso neto parcial por pollo en pie a los 42 días, \$

Y = Cantidad de pollo en kg a los 42 días de edad

X = Rendimiento en canal, %

n = Número de pollos/tratamiento

i = Tratamiento experimental

El Ingreso Parcial por Pollo Fraccionado en Canal a los 42 días (IPPF) por tratamiento se estimó mediante la ecuación:

$$\text{IPPF} = \frac{[(\text{Py}2\text{Y}2i + \text{Py}3\text{Y}3i + \text{Py}4\text{Y}4i + \text{Py}5\text{Y}5i + \text{Py}6\text{Y}6i) - \text{IPPC}]}{n}$$

Dónde:

IPC = Ingreso parcial por pollo en canal a los 42 días, \$

Py2 = Precio de la pechuga, \$

y = Cantidad de kg de pechuga a los 42 días

Py3 = Precio de la pierna-pernil, \$

y = Cantidad de kg de pierna-pernil a los 42 días

Py4 = Precio de las alas, \$

y = Cantidad de kg de alas a los 42 días

Py5 = Precio de la costilla, \$

y = Cantidad de kg de costilla a los 42 días

Py6 = Precio de la rabadilla, \$

y = Cantidad de kg de rabadilla a los 42 días

n = Número de pollos/tratamiento

i = Tratamiento experimental

Análisis estadístico. Para determinar el efecto de los diferentes tratamientos sobre las variables consumo de alimento, peso corporal al sacrificio, ganancia de peso corporal, Tasa Específica de Crecimiento, conversión alimenticia, Factor de Eficiencia Europea, % Eficiencia Americana, Índice de productividad, sobrevivencia, rendimiento en canal, peso de la grasa abdominal, peso de fracciones de la canal: pechuga, pierna-pernil, alas, costillar y rabadilla y los indicadores calculados a partir del análisis económico se utilizó un diseño completamente al azar (Steel y Torrie, 1992), cuya descripción es:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

μ : Media poblacional

A_i : Efecto del i-ésimo tratamiento

ϵ_{ijk} : Error experimental

i: 6 tratamiento

j: 6 réplicas

Y_{ij} : Valor observado de la variable

Los datos fueron analizados por ANOVA usando el procedimiento GLM de SAS versión 9.2 (2007). Cuando se presentaron diferencias significativas se utilizó la prueba de Tukey para separar la media de los tratamientos experimentales ($P < 0.05$). Con relación a las variables % de sobrevivencia y % de mortalidad, se realizó su comparación estadística por medio de la prueba de Kruskal Wallis, al presentar heterogeneidad de la varianza.

5.3 Resultados

5.3.1 Parámetros productivos

En la tabla 5-4 se observan los parámetros productivos evaluados para los diferentes tratamientos experimentales. El peso corporal presentó diferencias ($P < 0.05$) al día 42 de edad, donde el control sin suplementar mostró el menor peso corporal frente al MOS y AR3 Pastusa, mientras que los demás tratamientos presentaron un comportamiento intermedio. Con relación a la ganancia de peso corporal se observaron diferencias ($P < 0.05$) entre los grupos experimentales. Entre el día 22 al 42 de edad, MOS mostró el mayor valor comparado con el control sin suplementar, donde los demás tratamientos presentaron una ganancia de peso corporal intermedia. Al analizar el ciclo completo, MOS y AR3 pastusa mostraron los mayores valores frente al control sin suplementar, mientras que los demás tratamientos mostraron un comportamiento intermedio. El mayor consumo de alimento ($P < 0.05$) se registró para CMC entre el día 22 al 42 de edad y el ciclo completo, siendo MOS el que incentivó un menor consumo de alimento, mientras que los demás tratamientos se comportaron de manera intermedia.

La conversión alimenticia presentó diferencias ($P < 0.05$) entre los tratamientos experimentales para los dos periodos y el ciclo completo. Entre los días 1 al 21 de edad, CMC mostró el mayor valor, mientras que AR3 pastusa presentó el menor valor, los demás grupos experimentales mostraron valores intermedios en esta variable. Del día 22 al 42, los tratamientos CMC y control sin suplementar, mostraron la mayor conversión alimenticia, mientras que MOS presentó el menor valor, observándose un comportamiento intermedio en los demás tratamientos. Al evaluar el ciclo completo, CMC, el control sin suplementar y la levadura mostraron los mayores valores frente a

MOS, mientras que AR3 guaneña y AR3 pastusa obtuvieron un comportamiento intermedio.

Tabla 5-4: Parámetros productivos evaluados al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo de pollos de engorde.

Variable	Días	Control	CMC	MOS	Levadura	AR3 Guaneña	AR3 Pastusa	EEM
Peso Corporal (g)	1	43,5	43,3	43,2	43,3	43,3	43,3	0,07
	21	733,6	683,8	702,0	719,7	703,3	723,3	14,13
	42	2335,1 ^b	2383,5 ^{ab}	2443,8 ^a	2393,0 ^{ab}	2373,1 ^{ab}	2444,3 ^a	24,94
GPC (g/periodo)	1 al 21	690,1	640,45	658,73	676,40	660,02	679,97	14,15
	22 al 42	1612,57 ^b	1693,90 ^{ab}	1735,32 ^a	1673,62 ^{ab}	1658,37 ^{ab}	1718,10 ^{ab}	25,69
	1 al 42	2291,63 ^b	2340,19 ^{ab}	2400,57 ^a	2349,69 ^{ab}	2329,78 ^{ab}	2400,97 ^a	24,94
Consumo alimento (g/periodo)	1 al 21	1090,9	1076,3	1060,8	1099,4	1070,7	1059,9	14,31
	22 al 42	3021,0 ^{ab}	3071,9 ^a	2865,8 ^b	2986,7 ^{ab}	2913,4 ^{ab}	3000,9 ^{ab}	43,24
	1 al 42	4092,3 ^{ab}	4148,3 ^a	3926,6 ^b	4086,1 ^{ab}	3984,1 ^{ab}	4060,8 ^{ab}	44,72
Conversión alimenticia (Consumo/ganancia)	1 al 21	1,58 ^{ab}	1,68 ^a	1,61 ^{ab}	1,63 ^{ab}	1,62 ^{ab}	1,56 ^b	0,03
	22 al 42	1,87 ^a	1,81 ^a	1,65 ^b	1,79 ^{ab}	1,76 ^{ab}	1,75 ^{ab}	0,03
	1 al 42	1,79 ^a	1,77 ^a	1,64 ^b	1,74 ^a	1,71 ^{ab}	1,69 ^{ab}	0,04
Conversión Energía (Mcal/g biomasa)	1 al 42	5,38	5,35	4,90	5,13	5,13	5,14	0,12
Sobrevivencia (%)	1 al 42	85,32	89,17	81,07	81,75	90,87	87,42	3,39

MOS, Manano oligosacáridos; CMC, Carboximetilcelulosa; AR3, Almidón resistente retrogradado; EEM, error estimado de la media; Valores con letras diferentes Valor-p: (P<0.05).

La conversión de energía ingerida para la generación de biomasa (peso corporal de aves vivas y muertas), se observó numéricamente que el MOS, seguido de AR3 guaneña, levadura y AR3 pastusa mostraron un menor valor frente al control sin suplementar y CMC. Con relación a la sobrevivencia, no se observaron diferencias entre los diferentes tratamientos para esta variable (Pr > Chi-cuadrado 0.3939). Numéricamente se observó un mayor porcentaje de sobrevivencia para AR3 guaneña, CMC y AR3 pastusa, siendo MOS el que mostró el menor valor. Durante el periodo experimental, se observó una reacción postvacunal a la vacuna de New Castle, lo cual condujo a un aumento en la mortalidad, principalmente para los tratamientos AR3 Guaneña (8.8%), MOS (7.1%), Control (6.1%), Levadura (3.6%), AR3 Pastusa (2.4%) y CMC (1.2%) y la incidencia de Ascitis es común como causa de mortalidad en las condiciones experimentales, siendo de 8.5% para Levadura, 8.3% para MOS, 6.0% para CMC, 3.7% para el Control sin suplementar, 3.5% para AR3 Pastusa y 2.5% para AR3 Guaneña. Sin embargo, no se encontraron diferencias en el % de mortalidad entre los diferentes tratamientos (Pr > Chi-cuadrado 0.4098).

5.3.2 Respuesta del crecimiento y tasa específica de crecimiento

En la Tabla 5-5 y la Figura 5-1 se pueden observar los pesos corporales registrados para los diferentes tratamientos experimentales durante un ciclo completo productivo. Se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en los pesos registrados al día 7 de edad y al día 42 respectivamente. Al día 7 de edad, el tratamiento levadura mostró el mayor peso corporal, mientras que para MOS se observó el menor valor, seguido de CMC. AR3 Pastusa, control sin suplementar y AR3 Guaneña, los cuales mostraron un comportamiento intermedio para esta variable. Al día 42 de edad, el tratamiento MOS mostró el mayor valor comparado con el control sin suplementar, siendo diferente en 122.5 g y los demás tratamientos se comportaron de manera intermedia.

Tabla 5-5: Pesos corporales registrados al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo para pollos de engorde

Edad (días)	Tratamiento						
	Control	CMC	MOS	Levadura	AR3 Guaneña	AR3 Pastusa	EEM
1	43,5	43,3	43,2	43,3	43,3	43,3	0,07
7	155,3 ^{ab}	147,0 ^{bc}	146,2 ^c	156,1 ^a	155,7 ^{ab}	154,2 ^{ab}	1,85
14	364,6	340,8	347,4	361,1	363,9	362,6	5,87
21	718,8	687,5	703,6	722,5	718,3	728,9	11,61
28	1264,5	1220,0	1228,0	1267,5	1224,9	1253,5	16,07
35	1892,4	1867,4	1859,4	1905,3	1853,6	1908,8	23,98
42	2335,1 ^b	2383,5 ^{ab}	2443,8 ^a	2393,0 ^{ab}	2373,1 ^{ab}	2444,3 ^a	25,81

MOS, Manano oligosacáridos; CMC, Carboximetilcelulosa; AR3, Almidón resistente retrogradado; EEM, error estimado de la media; Valores con letras diferentes Valor-p: ($P < 0.05$).

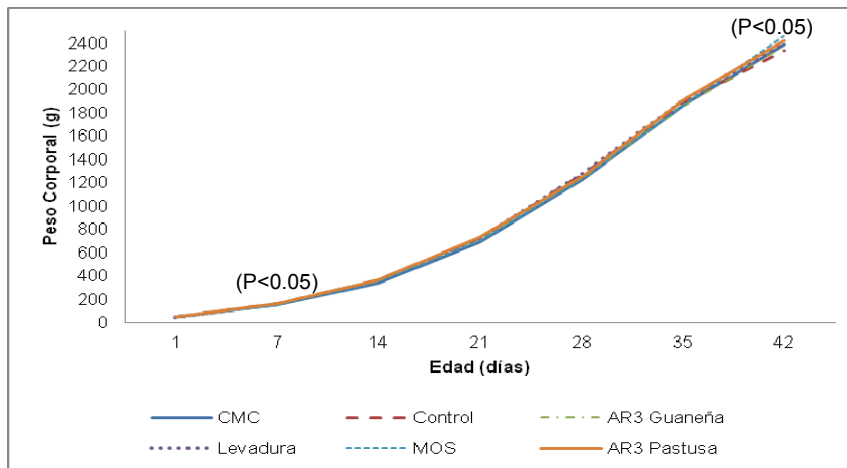


Figura 5-1: Pesos corporales registrados al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo para pollos de engorde

En la Tabla 5-6 y la Figura 5-2 se pueden observar la tasa específica de crecimiento para los seis periodos evaluados del día 1 al 42 de edad en los diferentes tratamientos experimentales. Se observaron diferencias ($P < 0.05$) en la tasa específica de crecimiento para el primer y sexto periodos, respectivamente. Para el primer periodo, MOS y CMC mostraron los menores valores frente a los demás tratamientos, mientras que MOS obtuvo durante el sexto periodo el mayor valor frente al control sin suplementar, donde los demás tratamientos se comportaron de manera intermedia.

Tabla 5-6: Tasa específica de crecimiento registrada al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo para pollos de engorde

Periodo	Tratamiento						EEM
	Control	CMC	MOS	Levadura	AR3 Guaneña	AR3 Pastusa	
1	18,2 ^a	17,5 ^b	17,4 ^b	18,3 ^a	18,3 ^a	18,1 ^a	0,11
2	12,2	12,0	12,4	12,0	12,1	12,2	0,13
3	9,8	10,1	10,2	9,8	9,7	9,9	0,14
4	8,0	8,2	7,9	8,1	7,7	7,8	0,19
5	5,8	6,1	5,9	5,8	5,9	6,0	0,12
6	3,0 ^b	3,5 ^{ab}	4,0 ^a	3,3 ^{ab}	3,5 ^{ab}	3,4 ^{ab}	0,20

MOS, Manano oligosacáridos; CMC, Carboximetilcelulosa; AR3, Almidón resistente retrogradado; Periodo = 7 días; EEM, error estimado de la media; Valores con letras diferentes Valor-p: ($P < 0.05$).

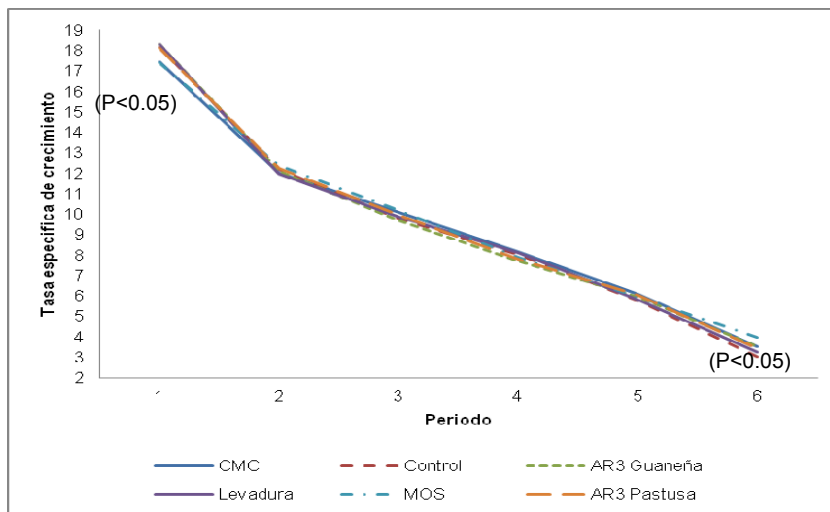


Figura 5-2: Tasa específica de crecimiento registrada al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo para pollos de engorde

5.3.3 Indicadores productivos

En la tabla 5-7 se muestran los indicadores productivos evaluados para los diferentes tratamientos experimentales. El factor de eficiencia europea, no mostró diferencias entre

los tratamientos ($P>0.05$). Con relación al % de eficiencia americana se observaron diferencias ($P<0.05$) entre los grupos experimentales. MOS y AR3 Pastusa mostraron los mayores valores para esta variable (149.8 y 144.6), siendo estos diferentes entre sí. De otra parte, el control sin suplementar presentó el menor valor (130.8), seguido de CMC (134.6), mientras que AR3 Guaneña y levadura mostraron un comportamiento intermedio con referencia a los demás tratamientos, pero con resultados similares entre ellos. Para el índice de productividad, se observó que MOS obtuvo el mayor valor (92.1), mientras que el control sin suplementar, CMC y levadura mostraron los menores valores (73.3, 76.0 y 79.2, respectivamente), observando para AR3 Pastusa y AR3 Guaneña un comportamiento intermedio (85.7 y 81.3) y similar entre ellos.

Tabla 5-7: Indicadores productivos obtenidos al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo para pollos de engorde

Variable	Tratamiento						
	Control	CMC	MOS	Levadura	AR3 Guaneña	AR3 Pastusa	EEM
FEE	265,6	285,7	287,0	267,5	300,1	299,7	9,6
EA	130,8 ^c	134,6 ^{bc}	149,8 ^a	137,7 ^{abc}	138,8 ^{abc}	144,6 ^{ab}	3,0
IP	73,3 ^b	76,0 ^b	92,1 ^a	79,2 ^b	81,3 ^{ab}	85,7 ^{ab}	2,9

FEE, Factor eficiencia Europea; EA, % de Eficiencia Americana; IP, índice de productividad; EEM, error estimado de la media; Valores con letras diferentes Valor-p: ($P<0.05$).

5.3.4 Rendimiento en canal y análisis económico

En la tabla 5-8 se observan los valores para el peso corporal, el peso en canal y las diferentes fracciones o partes del pollo para los diferentes grupos experimentales al día 43 del ciclo productivo. No se encontraron diferencias ($P>0.05$) para ninguna de las variables evaluadas a excepción de los kilogramos de alas y rabadilla obtenidos al final del ciclo. Para ambas variables el mayor valor fue observado para AR3 Pastusa, mientras que CMC mostró el menor valor, respectivamente. Los de más tratamientos mostraron un comportamiento intermedio para estas dos variables.

Los resultados del análisis económico pueden ser observados en la tabla 5-9. El tratamiento AR3 Guaneña mostró el mayor costo por kilogramos de pollo en pie (costo Kg / P / P), comparado con MOS, que obtuvo el menor valor, mientras que los demás tratamientos mostraron un comportamiento intermedio.

Tabla 5-8: Peso corporal en pie, peso en canal y peso de las fracciones de pollos de engorde al suplementar diferentes aditivos funcionales al día 43 de edad de pollos de engorde.

Fracción	Tratamiento						EEM
	Control	CMC	MOS	Levadura	AR3 Guaneña	AR3 Pastusa	
Peso Corporal pie (Kg)	2,570	2,579	2,649	2,613	2,575	2,638	0,023
Peso canal (Kg)	1,68	1,69	1,76	1,75	1,71	1,73	0,020
Rendimiento canal (%)	65,50	65,57	66,39	66,95	66,56	65,74	0,446
Grasa abdominal (Kg)	0,031	0,025	0,025	0,026	0,027	0,030	0,002
Pechuga (Kg)	0,619	0,645	0,667	0,663	0,636	0,630	0,011
Alas (Kg)	0,196 ^{ab}	0,184 ^b	0,194 ^{ab}	0,196 ^{ab}	0,193 ^{ab}	0,204 ^a	0,004
Rabadilla (Kg)	0,197 ^{ab}	0,185 ^b	0,202 ^{ab}	0,197 ^{ab}	0,195 ^{ab}	0,206 ^a	0,044
Costillar (Kg)	0,125	0,133	0,135	0,137	0,131	0,138	0,003
Pierna-pernil (Kg)	0,513	0,529	0,533	0,534	0,534	0,536	0,006

MOS, Manano oligosacáridos; CMC, Carboximetilcelulosa; AR3, Almidón resistente retrogradado; EEM, error estimado de la media; Valores con letras diferentes Valor-p: (P<0.05).

Con relación al ingreso neto parcial por pollo en pie (INPP), MOS mostro el mayor ingreso comparado con AR3 Guaneña, los demás tratamientos tuvieron un comportamiento intermedio. En el caso del ingreso parcial por pollo en canal (IPPC), AR3 Guaneña mostro el mayor valor, mientras que el control sin suplementar obtuvo el menor ingreso, para los demás tratamientos se observaron valores intermedios. Finalmente, con relación al ingreso parcial por pollo fraccionado, MOS mostro el mayor ingreso, mientras que para AR3 Guaneña presentó el menor valor, mostrando los demás grupos experimentales valores intermedios.

Tabla 5-9: Análisis económico al suplementar diferentes aditivos funcionales al día 43 de edad de pollos de engorde.

Índice	Tratamiento						EEM
	Control	CMC	MOS	Levadura	AR3 Guaneña	AR3 Pastusa	
Costo Kg/P/P	2657,5 ^{ab}	2608,6 ^{ab}	2510,3 ^b	2596,6 ^b	2749,7 ^a	2628,6 ^{ab}	35,00
INPPP	2107,3 ^{ba}	1935,4 ^{ba}	2305,1 ^a	2191,7 ^{ba}	1759,9 ^b	2019,9 ^{ba}	109,79
IPPC	5638,8 ^b	5844,3 ^{ba}	5781,3 ^{ba}	5855,3 ^{ba}	6122,6 ^a	5959,9 ^{ba}	88,41
IPPF	3133,6 ^{ba}	3088,1 ^{ba}	3445,7 ^a	3243,1 ^{ba}	2848,5 ^b	2929,7 ^{ab}	137,74

INPPP, ingreso neto parcial por pollo en pie; IPPC, ingreso parcial pollo canal; IPPF, ingreso parcial por pollo fraccionado; MOS, Manano oligosacáridos; CMC, Carboximetilcelulosa; AR3, Almidón resistente retrogradado; EEM, error estimado de la media; Valores con letras diferentes Valor-p: (P<0.05).

5.4 Discusión

La necesidad actual de diseñar y formular sistemas de alimentación orientados a una producción más eficiente y eficaz para la industria avícola que generen un producto competitivo ante la apertura y libre competencia en los mercados y que satisfaga las necesidades y exigencias actuales del consumidor por un producto de alta calidad e inocuidad, han conducido al desarrollo de nuevas tecnologías que apuntan a mejorar los parámetros productivos mediante la estimulación de la eficiencia de absorción de nutrientes, modulando o estimulando la presencia de ciertas poblaciones microbianas benéficas para la salud del ave.

El desarrollo de productos multifuncionales de carbohidratos como son los oligosacáridos (mananooligosacáridos y fructooligosacáridos) proveniente de levaduras y AR de cereales y tubérculos, en conjunto con estrategias dirigidas en diferentes campos como la bioseguridad y el manejo, la vacunación, la selección genética y la exclusión competitiva han arrojado resultados positivos en los parámetros productivos y el estatus sanitario e inmune de las aves (López y col., 2009). Con relación a las levaduras, *Saccharomyces cerevisiae* es la que más ha sido estudiada como un aditivo natural (NRC, 1994; Miazzo y col., 1995; Miazzo y col., 2001 y Miazzo y col., 2005), definiendo niveles de inclusión entre 0.5 y 1.5%, aun cuando se han reportado niveles entre 0.2 y 1.0% (Churchil y col., 2000 y Upendra y Yathiaray, 2003). Así mismo, en la industria alimenticia encontramos diferentes carbohidratos con propiedades específicas, como es el caso de los componentes de la fibra dietaria que afectan beneficiosamente al huésped mediante la estimulación selectiva del crecimiento y / o actividad de una o un número limitado de bacterias en el colon (Gibson y Roberfroid, 1995), como ha sido observado para la carboximetilcelulosa (Camacho y Granados, 2003) y el AR el cual como parte de la fibra dietaria, hace parte de una mezcla compleja de sustancias con diferentes propiedades químicas y físicas, que pueden ejercer diferentes tipos de efectos fisiológicos (Fuentes-Zaragoza y col., 2010). La Comisión de Comunidades Europeas en el 2008, definió fibra como los polímeros de hidratos de carbono con tres o más unidades monoméricas que no son digeribles ni absorbidos en el intestino delgado. Cuando se inició con la determinación de polisacáridos no amiláceos (PNA), se detectó una fracción de almidón que no podía ser hidrolizada sin ser químicamente dispersa con anterioridad.

Esta fracción del almidón fue identificada posteriormente como almidón retrogradado, y se ha denominado almidón resistente (Englyst y Englyst, 2005). Por lo tanto, componentes como los PNA, oligosacáridos resistentes y carbohidratos análogos, donde se incluye el almidón resistente (Sharma y col., 2008), dada su naturaleza no digerible pueden ser considerados a la hora de calcular la cantidad total de fibra dietaria presente en una dieta (Fuentes-Zaragoza y col., 2010).

En este estudio se evaluaron diferentes compuestos con capacidad funcional, como son la Levadura (Levapan ®), Carboximetilcelulosa de baja viscosidad (CMC), Mananoligosacáridos (MOS, Safmannan ®) y el AR3 proveniente de las variedades de papa Guaneña y Pastusa. Con relación a los parámetros productivos, estos compuestos mostraron un mayor peso corporal al final del ciclo productivo frente al control sin suplementar, siendo el tratamiento MOS y AR3 Pastusa los mayores con valores de ganancia promedio durante el ciclo de 108.67 y 109.18g, respectivamente. Del día 22 al 42 de edad, MOS mostró una mayor ganancia de peso corporal frente al control sin suplementar (+122.75 g), siendo con AR3 Pastusa al día 42 de edad, los tratamientos que alcanzaran una mayor ganancia de peso corporal (108.94 g y 109.65 g). El consumo de alimento fue menor para MOS, mientras que para CMC presentó el mayor consumo durante el periodo de 22 a 42 días de edad y durante el ciclo completo, mientras que AR3 Guaneña, AR3 Pastusa, Levadura y el control sin suplementar mostraran un comportamiento intermedio. La conversión alimenticia fue mejor para AR3 Pastusa durante los primeros 21 días de edad siendo menor en 7.14% frente a CMC quien mostro el mayor valor y 3.10% en comparación a MOS. Sin embargo, se observó para MOS del día 22 al 42 de edad una menor conversión alimenticia, siendo al final del ciclo productivo un 8.38%, 7.34% y 5.75% menor frente al control sin suplementar, CMC y Levadura. AR3 Guaneña y AR3 Pastusa presentaron un comportamiento intermedio. Con relación a la conversión de energía en biomasa (peso corporal de las aves), se observó que MOS numéricamente es más eficiente en el uso de la energía de la dieta, donde AR3 Guaneña, Levadura y AR3 Pastusa mostraron valore cercanos entre si y menores al control sin suplementar y CMC.

En el estudio de Chee y col (2010), suplementaron MOS a razón de 2 kg / ton, se observó a los 7 y a los 21 días un mayor peso corporal frente al control sin suplementar, sin encontrar diferencias en el consumo de alimento, encontrando una menor conversión

alimenticia durante este periodo de tiempo. Ashayerizadeh y col (2011) reportaron con un producto comercial (Biolex-MB ®) incrementos significativos en la tasa específica de crecimiento y la eficiencia de crecimiento frente al control sin suplementar y los tratamientos suplementados con probióticos durante la fase de crecimiento, sin afectar durante este y el ciclo completo (42 días), el consumo de energía o proteína. Resultados similares fueron reportados por Pelicano y col (2004), donde la ganancia de peso corporal y la conversión alimenticia pueden ser mejoradas en pollos de engorde cuando se suplementa 1.7 g de MOS / kg dieta durante los primeros 21 días de edad. Sin embargo, estos efectos no fueron significativos a los 42 días de edad. Hooge y Sefton (2004) mostraron un análisis de pruebas hechas en campo por más de 10 años con MOS, manejando niveles de inclusión entre 0.1 y 0.2% en preiniciación y 0.05 al 0.2% en crecimiento, encontrando una mejora media de 2.2% en el crecimiento, 2% en conversión alimenticia y un 24% en el índice de mortalidad; sin embargo, ellos destacan que los resultados varían entre un ensayo y otro, en gran medida debido a la alta variabilidad de la respuesta entre individuos a la suplementación (Simon y Jadamus, 2002).

Con relación a la suplementación de levaduras proveniente de *Saccharomyces cerevisiae*, al nivel de suplementación empleado (0.5%), no afectó el comportamiento productivo de los pollos de engorde, mostrando un comportamiento intermedio en las variables productivas evaluadas. Con relación a la fuente utilizada (Levapam ®), López y col (2008) en un estudio que evaluó cepas de levadura nativas colombianas provenientes de frutales, reportaron un consumo de alimento similar de la levadura frente al control sin suplementar, mostrando una mayor ganancia de peso corporal al día 35 de edad y una menor conversión de alimento en las fases de iniciación y crecimiento, respectivamente. Para CMC, Camacho y Granados (2003) evaluaron el efecto de dos niveles de inclusión en la dieta (0.5 y 1.0%) hasta el día 40 de edad, encontrando diferencias ($P < 0.05$) para la conversión de alimento en la fase de crecimiento (22 - 35 días de edad), siendo menor para el tratamiento con nivel de inclusión de 0.5%, frente al control sin suplementar y un antibiótico promotor de crecimiento. No se observaron diferencias las ganancias de peso corporal o consumo de alimento para ninguno de los periodos o el ciclo productivo completo. Los efectos de la fibra dietaria dependen del tipo (parcial o altamente fermentable), la dosis, la composición y los perfiles fisiológicos individuales del individuo

que la consume. Sin embargo, como lo reportaron Lee y col. (2004), al suplementar CMC al 1.0%, en hembras Cobb, la ganancia de peso corporal fue similar a la del grupo control y encontraron una reducción del consumo de alimento, generado por un aumento en la viscosidad de contenido intestinal, afectando la absorción y difusión de las enzimas digestivas y los nutrientes, alterando de manera negativa el proceso digestivo (Choct y col, 1996). En este estudio, el consumo de alimento para CMC no se vio afectado, siendo mayor ($P < 0.05$) en el periodo de crecimiento y en el ciclo productivo completo, mostrando un peso corporal final mayor al control sin suplementar, pero con una mayor conversión alimenticia.

Con relación al peso corporal final y a la tasa específica de crecimiento, MOS presentó los mayores valores al día 42 de edad para ambas variables. Sin embargo, AR3 Guaneña, AR3 Pastusa y Levadura mostraron una mayor tasa específica de crecimiento durante el primer periodo. En general, CMC, Levadura AR3 Guaneña, AR3 Pastusa y MOS mostraron un comportamiento superior al control sin suplementar. En el caso de MOS, se sugiere que este actúa ejerciendo un modo de acción antimicrobial mediante la selección selectiva de bacterias patógenas como *Salmonella* spp. y *Escherichia coli*, inhibiendo su adhesión a los enterocitos (Patterson y Burkholder, 2003 y Bozkurt y col., 2009), creando un efecto de aglutinación (Singboottra, 2005 y Spring y col., 2000) similar a lo que ocurre con las Levaduras, permitiendo proteger al hospedero contra un determinado tipo de bacterias patógenas (Santin y col., 2001). A su vez, promueve la integridad intestinal al estimular el crecimiento y el aumento del área de absorción de las vellosidades, mediante la generación de sustancias como ácido láctico, vitaminas del complejo B peróxido de hidrógeno y enzimas que en conjunto ayudan al mantenimiento de la superficie de absorción intestinal (Artiga, 2002) y su efecto como modulador inmune (Ferket y col., 2002; Patterson y Burkholder, 2003 y Bozkurt y col., 2009). En el caso de la CMC de baja viscosidad, al ser una fibra soluble y fermentable por las bacterias del colon, puede inhibir la proliferación de microorganismos patógenos, incrementando la absorción de minerales y produciendo vitaminas (Tungland y Meyer, 2002).

El factor de eficiencia europea mostró que todos los grupos experimentales se ubicaron por encima de 220, este fue menor numéricamente para el grupo control sin suplementar, Levadura y MOS, en estos dos últimos el mayor efecto se denota por una menor sobrevivencia, mientras que AR3 Guaneña y AR3 Pastusa mostraron los mayores

valores, junto a una mayor sobrevivencia. El porcentaje de eficiencia americana estuvo por encima de 100 para todos los tratamientos, los cuales estuvieron por encima del control sin suplementar, destacando MOS y AR3 Pastusa (+19.04 y +13.84, respectivamente). Los valores para el índice de productividad se mantuvieron por encima de 70 en todos los tratamientos, siendo mayor para MOS y menor para el control sin suplementar, CMC, Levadura, donde AR3 Pastusa y AR3 Pastusa se comportaron de manera intermedia

Con relación al peso corporal al sacrificio y el rendimiento en canal, solamente se encontraron diferencias para la cantidad de alas y rabadilla, siendo mayor para AR3 Pastusa y menor para CMC, donde los demás tratamientos se comportaron de manera intermedia. El análisis económico mostró que MOS y Levadura presentaron el menor costo por Kg pollo en pie. En el caso de MOS, el ingreso neto por pollo en pie fue mayor frente a AR3 Guaneña, debido al costo de la dosis para suministrar el nivel de inclusión deseado comparado con los demás grupos experimentales, los cuales se comportaron de manera intermedia. Sin embargo, para el grupo AR3 Pastusa, la cantidad de almidón retrogradado necesario para alcanzar el nivel de inclusión incrementa el costo dentro de la formulación. El análisis del ingreso parcial por pollo en canal mostró para AR3 Guaneña el mayor valor, mientras que el control sin suplementar fue menor en 483.8 pesos, siendo AR3 Pastusa y MOS similares entre sí, pero con un valor de 178.59 pesos más a favor de AR3 Pastusa, debido a una mayor sobrevivencia de los pollos durante el estudio. Finalmente el ingreso parcial por pollo fraccionado es menor para AR3 Guaneña, mientras que MOS presentó el mayor ingreso y los demás tratamientos se comportaron de manera intermedia. Con relación a CMC, Camacho y Granados (2003) no reportaron diferencias en el peso vivo, el peso de la canal o de las fracciones con relación al control sin suplementar o el antibiótico promotor de crecimiento, siendo en ese caso el nivel de inclusión de 1.0% el que numéricamente presentara una mayor peso corporal y de la canal frente a 0.5%, pero este nivel favoreció cambios positivos en la microbiota intestinal y cecal, al igual que los parámetros de eficiencia y conversión alimenticia. Con relación al efecto de la suplementación de levadura sobre el peso corporal final y el peso de la canal, López y col. (2008) indicaron que esta levadura comercial mostró valores más altos frente al control sin suplementar al día 35 de edad (1591 vs. 1392 g y 1046 vs. 894

g), lo cual se vio reflejado en el análisis de económico de ingresos parciales (INPP, IPC y IPPF).

Los efectos observados en el presente estudio con relación a la suplementación de AR3 de las variedades de papa Guaneña y Pastusa como fuente de fibra dietaria sobre los parámetros productivos principalmente para AR3 Pastusa pueden ser indicadores de un mejoramiento de las condiciones a nivel del colon, ya que se ha demostrado su capacidad para la generación de AGV en ratas (Henningsson y col., 2003), siendo el butirato una fuente importante de energía para el epitelio del colon (Bird y Topping, 2001). Un almidón lentamente digerible va a influenciar el tiempo de retención de la digesta en el intestino delgado, limitando la extensión total de la digestión del almidón (Van der Aar, 2003). De otra parte con referencia a la eficiencia alimenticia se observó una interacción entre la tasa de digestión y el nivel de aminoácidos, ya que cuando existe una cantidad suficiente de aminoácidos en una dieta con almidón lentamente digerible se puede presentar una mayor ganancia de peso corporal, con una menor conversión alimenticia (Van der Aar, 2003).

5.5 Conclusiones

La suplementación de diferentes compuestos como levadura, CMC, MOS y AR3 proveniente de la papa afectaron la respuesta en crecimiento de pollos de engorde durante un ciclo comercial al analizar las variables: peso corporal final y la tasa específica de crecimiento.

El MOS mostró los mejores respuestas en términos de conversión alimenticia con valores de 8.38%, 7.34% y 5.75% menores comparadas con el control, CMC y levadura. Los AR mostraron un comportamiento intermedio.

Los indicadores económicos sugieren que el menor costo por kilogramo de pollo en pie durante un ciclo comercial se observó para la suplementación de MOS y de una levadura comercial.

Los resultados obtenidos con AR3 ameritan posteriores desarrollos tecnológicos que reduzcan los costos de producción para su inserción como aditivo en la formulación comercial.

5.6 Bibliografía

Adams, C. 2004. Nutricines in poultry production: focus on bioactive feed ingredients. *Animalscience.com Reviews*. CAB International. 74: 1N-12N.

AOAC, 1998. Official Method 996.11: Starch (Total) in Cereal Products - Amyloglucosidase- α -Amylase Method. First Action 1996 AOAC-AACC Method, 32.2.05^a. In *Journal of AOAC International*, Int. 80, 571(1997).

AOAC, 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.

Artiga, M. A. E. 2002. Evaluación de diferentes cepas de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en dietas de pollos de engorde. Tesis Lic. Ing. Agr. Zamorano, Honduras. 11 p.

Ashayerizadeh, A. Dabiri, N. Mirzadeh, Kh. and Ghorbani, M. R. 2011. Effects of dietary inclusion of several biological feed additives on growth response of broiler chickens. *Journal of Cell and Animal Biology* Vol. 5(4), pp. 61–65.

Asp, N. G. 1992. Resistant starch. Proceedings from the second plenary meeting of EURESTA. *Eur J Clin Nutr* 46:S1

Bello-Pérez, L. A. and Paredes-López, O. 2009. Starches of Some Food Crops, Changes During Processing and Their Nutraceutical Potential. *Food Eng Rev* (2009) 1:50–65

Bird, A. R. and Topping, D. L. 2001. Resistant starch, fermentation, and large bowel health. In *Handbook of Dietary Fiber*, 147–158, Cho & ML Dreher, S. S. (ed.). Marcel Dekker, NY.

Bozkurt, M. Küçükyılmaz, K. Çatlı A. U. and Çınar M. 2009. Effect of dietary mannan oligosaccharide with or without oregano essential oil and hop extract supplementation on the performance and slaughter characteristics of male broilers. *South African Journal of Animal Science*. 39 (3): 223 – 232.

Camacho, D. A. y Grandados, P. E. 2003. Evaluación del efecto prebiótico de la carboximetilcelulosa de baja viscosidad en dietas para pollos de engorde. Tesis de Especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, 47 pp.

Castrodeza C. Lara P. and Peña T. 2004. Multicriteria fractional model for feed formulation: economic, nutritional and environmental criteria. *Agricultural Systems*. 2-21.

Champ, M. Langkilde, A. M. Brouns, F. Kettlitz, B. and Le Bail Collet, Y. 2003. Advances in dietary fibre characterisation. 1. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analytical aspects. *Nutrition Research Reviews*, 16, pp 71-82

Chee, S. H. Iji, P. A. Choct, M. Mikkelsen, L. L. and Kocher, A. 2010. Characterisation and response of intestinal microflora and mucins to manno-oligosaccharide and antibiotic supplementation in broiler chickens', *British Poultry Science*, 51: 3, 368 — 380

Choct, M. Hughes, R. G. Wang, M. R. Bedford, A. J. Morgan, A. J. and Annison, G. 1996. Increased small intestinal fermentation in partly responsible for the anti nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *British Poultry Science*. 37: 609-621.

Churchill, R. Mohan, B. and Viswanathan, K. 2000. Effect of supplementation broilers rations with live yeast culture. *Cheiron* 29(1-2): 23-27.

Conpes, 2007. Política nacional de sanidad e inocuidad para la cadena avícola. Departamento Nacional de Planeación. En: http://www.dnp.gov.co/archivos/documentos/Subdireccion_Conpes/3468.pdf.

Englyst, K. N. and Englyst, H. N. 2005. Carbohydrate bioavailability. *British Journal of Nutrition*, 94, 1–11.

Espinal, G. F. Covaleda, H. M. y Gaitán, X. A. 2005. La cadena de cereales, alimentos balanceados para animales, avicultura y porcicultura en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de trabajo No. 51. En: <http://www.agrocadenas.gov.co>

Ferket, P. R. 2002. Controlling Gut Health without the use of antibiotics. Department of Poultry Science. College of Agriculture and Life Sciences. North Carolina State University. 57- 64 p.

Fuentes-Zaragoza, E. Riquelme-Navarrete, M. J. Sanchez-Zapata, E. and Perez-Alvarez, J. A. 2010. Resistant starch as functional ingredient: a review. *Food Res Int* 43:931–942

Gibson, G. R. Willems, A. Reading, S. and Collins, M. D. 1996. Fermentation of non-digestible oligosaccharides by human colonic bacteria. *Proc. Nutr. Soc.*, 55, 899–912.

Gibson, G. R. y Roberfroid, M. B. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota. Introducing the concept of prebiotics. *J. Nutr.* 125, 1401-1412.

Goñi, I. García-Díaz, L. Mañas, E and Saura-Calixto, F. 1996. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*, Vol. 56, No. 4 pp. 445 – 449.

Henningsson, A. M. Margareta, E. Nyman, G. L. and Bjorck, I. M. 2003. Influences of dietary adaptation and source of resistant starch on short-chain fatty acids in the hindgut of rats. *Br J Nutr*, 89(3): 319-328.

Hooge, D. M. and Sefton, A. E. 2004. Performance evaluation of dietary manann ologosaccharide for broiler chickens: Ten years of field trials analysed. Proc. XXII World's Poultry Congress, Istanbul, CD-Rom.

Lee, K. W. Everts, H. Kappert, H. J. and Beynen A. C. 2004. Growth performance of broiler chickens fed a caboxymethyl cellulose containing diet con supplemental carvacrol and/or cinnamaldehyde. *International Journal of Poultry Science* 3 (9): 209 -622.

López, N. Afanador, G. y Ariza, C. J. 2008. Evaluación del efecto de la suplementación de levaduras sobre la morfometría de vellosidades intestinales y productos de la microflora en pollos. *Rev. Med. Vet. Zoot.* 55:63-76

López, N. H. Afanador, G. T. y Ariza, C. J. 2009. Evaluación de tres levaduras provenientes de ecosistemas colombianos en la alimentación de pollos de engorde. Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 10(1), 102-114

Marini, P. J. 1978. Use of simulations programs to predict optimizations points in the broilers cycle. En: Memorias del Congreso Mundial de Avicultura. Rio de Janeiro, Brasil V5: 170-172.

Miazzo, R. D. Kraft, y S. Moschetti, E. 1995. Dos niveles de levadura de cerveza (*S. cerevisiae*) como promotor natural de crecimiento en parrilleros. Revista Argentina de Producción Animal 15(2): 662-663.

Miazzo, R. D. Peralta, M. F. and Picco, M. 2005. Performance productiva y calidad de la canal en broilers que recibieron levadura de cerveza (*S. cerevisiae*). Revista Electrónica de Veterinaria. 6(12)

Miazzo, R. D. Peralta, M. F. and Reta, S. 2001. Yeast (*S. cerevisiae*) as natural additive for broiler chicken diets. Proc. XV European Symposium on the quality of poultry meat. Turkey. WPSA-Turkey Branch: 175-177.

National Research Council (NRC). 1994. Nutrient requirements of Poultry. Ninth Revised edition, Washington, D. C. National Academy Press, 149 p.

Patterson, J. A. and Burkholder, M. K. 2003. Application of prebiotics and probiotics in poultry production. Poult Sci 82, 627-31

Pelicano, E. R. L. de Souza, P. A. de Souza, H. B. A. Leonel, F. R. Zeola, N. M. B. L. and Boiago, M. M. 2004. Productive traits of broiler chickens fed diets containing different growth promoters. Rev. Bras. Cienc. Avic. 6:177–182.

Ricker, W. 1979. Growth rates and models. 677-743 pp En: W. Hoar, D. Randall, J. Brett, editors. Fish Physiology. Volume VIII; Bioenergetics and Growth. Academic Press, New York, USA.

Rostagno, H. 2005. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Viçosa (MG), Universidade Federal de Viçosa.

Santin, E. Maiorka, A. Macari, M. Grecco, M. Sanchez, J. C. Okada, T. M. and Myasaka. A. M. 2001. Performance and intestinal mucosa development of broiler chickens fed diets containing *Saccharomyces cerevisiae* cell wall. Journal of Applied Poultry Research 10: 236-244.

SAS, 2007. Statistical Analysis System Institute Inc. SAS/STAT. Version 9. Cary. NC. Users guide statistical analysis system. Institute, Inc. Cary, W.C.

Sharma, A. Yadav, B. S. and Ritika. 2008. Resistant starch: Physiological roles and food applications. Food Reviews International, 24, 193–234.

Simon, O. and Jadamus, A. 2002. Probiotics and prebiotics. Proc. 11th Eur. Poultry Conf., Bremen (Germany) July 2002, CD-Rom.

Singboottra, P. 2005. Reduction of Inflammatory responses by mannan rich fraction. Ph.D. Dissertation, North Carolina State University. Consultado 22 agosto 2007. Disponible en: www.lil.ncsu.edu/thesis/available/etd-12282005-132106/unrestricted/etd.pdf.

- Spring, P. Wenk, C. Dawson, K. A. and Newman, K. E. 2000. The effects of dietary mannan-oligosaccharides on cecal parameters and concentration of enteric bacteria in the ceca of Salmonella-challenged broiler chicks. *Poultry Science*. 79:205-211 p.
- Steel R. G. D. y Torrie J. H. 1992. *Bioestadística. Principios y Procedimientos*. Editorial Graf América. México. 622 p.
- Talpaz, H. Hurwitz, S. de la Torre, J. and Sharpe, P. 1988. Economic optimization of growth trajectory for broilers. 382-390
- Themeier, H. Hollman, J. Neese, U. and Lindhauer, M. G. 2005. Structural and morphological factors influencing the quantification of resistant starch II in starches of different botanical origin. *Carbohydrate Polymers*, 61:72-79.
- Tungland, B. C. and Meyer, D. 2002. Nondigestible oligo- and polysaccharides (Dietary Fiber):their physiology and role in human health and food. *Comprehensive review in food science and food safety*. Vol 1, 3:90-109.
- Upedra, H. and Yathiraj, S. 2003. Effects of supplementing probiotics and mannan oligosaccharide on body weight feed conversion ratio and livability in broiler chicks. *Indian Vet Journal*, 80(10): 1075-1077.
- Van der Aar, 2003. Getting to Know starch better. *Feed mix*, vol. 11; Num.2, En: www.AgriWorld.nl
- Van der Klis, J. D. and Jansman, A. J. M. 2002. Optimising nutrient digestion, absorption and gut barrier function in monogastrics: reality or illusion?. p. 15-36. In Blok, M. C. Vahl, H. A. de Lange, L. van de Braak, A. E. Hemke, G. and Hessing, M. (ed.), *Nutrition and health of the gastrointestinal tract*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Wenk, C. 2003. Growth promoter alternatives after the ban on antibiotics. *Pig News and Information*. 24: 11N-16N.

6. Discusión general

Dentro del sector pecuario Colombiano, la industria avícola ha mantenido un aporte significativo dentro de la economía del país, gracias a su aporte al PIB nacional, la generación de empleos y la relación directa con otros eslabones de la cadena productiva, pasando desde el sector primario (generación de materias primas) hasta la fabricación de alimentos balanceados, productos sanitarios y la misma genética, permitiendo visualizar la consecución de productos respondan a las necesidades y exigencias del consumidor.

Actualmente los sistemas de alimentación animal y particularmente las aves, afrontan una problemática centrada en la formulación de dietas con la inclusión de antibióticos promotores de crecimiento, conduciendo a un aumento de la resistencia a antibióticos, tanto en humanos como animales (Aerstrup y col., 1998 y Newman, 2005), resaltando la resistencia del género *Salmonella* a antibióticos como la eritromicina, lincomicina y penicilina en pollos de engorde y ponedoras (Díaz y col., 2005). Finalmente, para el año 2006, la Unión Europea ha prohibido el uso de antibióticos promotores de crecimiento en el alimento para animales, resaltando pro y contras con relación a sus efectos sobre la productividad y la salud animal y humana, siendo el sector avícola directamente afectado (Cepero, 2006). Por lo tanto, el desarrollo tecnológico de productos de innovación que reemplacen los antibióticos es un tema prioritario

La producción de carne de pollo universalmente oferta grandes volúmenes de proteína animal representativos en una producción industrial integrada verticalmente caracterizada por bajos costos de producción y una alta segmentación y valores agregados de sus productos cárnicos en diferentes segmentos de consumidores y con importantes implicaciones desde el punto de vista económico, social y ambiental. El mantenimiento y desarrollo de la producción de carne de pollo dependerá hacia el futuro de la habilidad para mantener una integralidad en la expresión del material genético en condiciones específicas de producción. Un eje conductor de este integralidad es el papel de la

nutrición para mantener un balance entre la salud de los animales, los indicadores económicos y el posicionamiento de los productos en el mercado.

Los fundamentos básicos de la nutrición parten de la ingestión de complejas mezclas de diferentes moléculas presentes en los recursos y aditivos alimenticios que ejercen múltiples actividades y funciones en el ave relacionadas con el desarrollo, crecimiento, mantenimiento del tracto gastrointestinal y la capacidad de respuesta a patógenos. Del portafolio de materiales ingeridos como alimentos los más sobresalientes en animales terrestres son los carbohidratos con actividades polivalentes profundamente relacionadas no solamente con el metabolismo energético, sino con actividades biológicas asociadas con la integralidad del tracto gastrointestinal como son el incremento en la producción de ácidos grasos volátiles en el intestino grueso, la orientación hacia una mayor funcionalidad de los sitios de absorción y la modificación del metabolismo de lípidos, entre otras.

Los oligosacáridos pueden ser clasificados de acuerdo a las características de: su unidad monomérica de azúcar, el tipo de enlace entre los monómeros de azúcar, la estructura de la cadena (lineal, ramificada, sustituta) y los enlaces con sustancias no carbohidrato (conjugados). Los manano oligosacáridos (MOS) son cadenas lineales de D - mananopiranosas enlazadas por enlaces beta 1 - 4 que se encuentran en la pared celular del endospermo de algas, pero que difiere de los mananos presentes en la levaduras, los cuales son altamente ramificados y contienen enlaces beta 1 - 2, 1 - 3 y 1 - 6. Su papel es importante en la salud intestinal ya que se enlazan con las lectinas presentes en las células epiteliales del intestino adosándose al componente oligosacárido de receptores glicoconjugados impidiendo que la fimbria de la bacteria se adose al receptor de lectina.

La dieta de un ave es el principal controlador de la composición y actividad metabólica de la microflora del tracto gastrointestinal (Bauer y col., 2006). Los carbohidratos fermentables parecen ser los más promisorios en términos de promover la proliferación de bacterias benéficas y adicionalmente a través de su actividad fermentativa producen ácidos grasos de cadena corta, los cuales contribuyen a promover la salud del intestino. En este contexto, la cantidad y composición de sustancias que alcanzan el intestino grueso pueden ser modificados por la dieta (Williams y col., 2001) y la fracción

fermentable de los carbohidratos constituida por: oligosacaridos no - digestibles, polisaridos no - amiláceos y almidones resistentes son los más importantes sustratos analizados

En este estudio para el caso de los almidones resistentes se incursiona con un material promisorio como es la papa. En Colombia, la conformación del Sistema de Bancos de Germoplasma para la Alimentación y la Agricultura, condujo a que la Colección Central de papa posea 2985 clones cultivados y silvestres de papa, pertenecientes a *Solanum tuberosum* subespecie *andigena* (papa de año), *Solanum tuberosum* subespecie *phureja* (papa criolla), *Solanum tuberosum* subespecie *chaucha* (papa amarilla) y especies silvestres *Solanum tuberosum* subespecie *colombianum* y *Solanum tuberosum* subespecie *estradae* (Corpoica, 2005). Desde el ámbito comercial, Colombia tiene más de 30 variedades de papa, pero tan solo 10 de estas son relevantes en los mercados regionales y locales (Espinal y col., 2005), y en el caso de papa criolla, la variedad Colombia es la más comercializada, aun cuando esfuerzos de investigaciones realizadas por el Grupo de Investigación en papa de la Universidad Nacional de Colombia ha llevado a liberar nuevos materiales como las variedades Latina, Galeras y Guaneña.

El contenido de almidón en el tubérculo esta entre el 60 al 80% de la materia seca, siendo una fuente importante de energía e influenciando los factores de calidad de la papa (Bu-Contreras y Rao, 2002 y Severini y col., 2005). Una porción de este almidón es resistente a la digestión y está considerado dentro de la definición de fibra dietaria, la cual considera los polisacáridos no amiláceos (PNA), oligosacáridos resistentes y carbohidratos análogos (Sharma y col., 2008), que poseen efectos fisiológicos y benéficos para la salud humana y animal, al ser fermentados en el intestino grueso por la microflora (Sievert y Pomeranz, 1989). El almidón resistente (AR) se divide en cuatro grupos: el almidón de difícil acceso físico (AR1), los gránulos de almidón no gelatinizados (AR2), el almidón retrogradado (AR3) y el almidón modificado químicamente (AR4) (Fuentes-Zaragoza y col., 2010). Se ha señalado que el AR3 posee dos subtipos, AR3a cuyo mayor contenido es amilopectina cristalina y AR3b que contiene una red de amilosa parcialmente cristalinizada (Thiemeier y col., 2005).

El conocimiento generado en este estudio sobre algunas características en 10 variedades comerciales de papa pertenecientes a *Solanum tuberosum* grupo *andigena* y

Solanum tuberosum grupo *phureja*, permitió generar e integrar un aporte de conocimiento a los esfuerzos que se han iniciaron en el 2008 por parte de la FAO y del CIP. Las características físicas y químicas analizadas en este estudio, brindaron las herramientas iniciales para seleccionar los materiales Guaneña (*Solanum tuberosum* grupo *phureja*) y Pastusa (*Solanum tuberosum* grupo *andigena*), siendo la concentración de almidón total, el valor de almidón resistente logrado mediante el tratamiento térmico seleccionado y utilizado para la generación de AR3, el rendimiento obtenido durante la extracción del almidón y el contenido de materia seca, las variables que se consideraran para la selección estos materiales. Actualmente, el interés genético se ha centrado en aumentar los niveles de amilosa en el almidón de papa, ya que las variedades con esta propiedad, tienen cualidades nutricionales superiores. Cuando un almidón con estas características cristaliza para formar almidón resistente retrogradado, este funciona como una forma de fibra dietaria (Karlsson y col., 2007).

La información con relación a estas variedades en particular es escasa, por lo cual los datos aportados en este estudio brindan un primer escenario para seguir evaluando el potencial que posee el país al tener una gran diversidad de clones cultivados y silvestres que pueden presentar de manera natural contener una mayor proporción de amilosa, o un mayor contenido de fosforo, que conduzcan a la obtención de valores más altos de AR3 teniendo en cuenta que en las propiedades de retrogradación de los almidones también están influenciadas por las disposición estructural de las cadenas de almidón dentro de las regiones amorfas y cristalinas de los gránulos no gelatinizados (Kaur y col., 2007). Por lo tanto, la formación de almidón resistente en almidones cocidos y almacenados a temperaturas de refrigeración está fuertemente influenciada por el grado de retrogradación, donde la amilosa retrogradada en la papa es altamente resistente a la hidrólisis enzimática.

Los efectos registrados hasta el día 25 de edad en pollos de engorde en este estudio sobre la influencia del AR retrogradado provenientes de las variedades de papa Guaneña (*Solanum tuberosum* grupo *phureja*) y Pastusa (*Solanum tuberosum* grupo *andigena*) indican un menor consumo de alimento para AR3 Pastusa a nivel de 1.0% (-91.7g periodo) frente al control sin suplementar, conduciendo a una mejora de 7.94% en la conversión alimenticia, mientras que para AR3 Guaneña, esta mejora para el nivel de

inclusión del 1.0% fue de 4.63%. Sin embargo, AR3 Guaneña mostro un mayor consumo de alimento frente a AR3 Pastusa. De otra parte, AR3 Guaneña alcanzo una ganancia de peso corporal similar al nivel de suplementación de MOS de 1.5% (967.5 vs 967.4 g, respectivamente).

El AR3 de Guaneña o Pastusa, no afecto de manera negativa el metabolismo energético a nivel de excretas o ileal. El balance de nitrógeno a nivel ileal fue menor para el grupo AR3 Guaneña y Pastusa en conjunto comparado con el grupo MOS, donde el nivel de 1.0% para AR3 Pastusa fue numéricamente similar al grupo MOS (2.84 vs 2.85). El coeficiente de digestibilidad de la MO a nivel ileal fue mayor para los grupos MOS, AR3 Guaneña y AR3 Pastusa frente al control sin suplementar, a su vez el grupo MOS obtuvo un mayor valor frente al grupo de AR3 de papa. Para AR3 Guaneña y AR3 Pastusa se destacaron los niveles de inclusión de 1.0%, mostrando un aumento de 8.24% y 8.40% comparado con el control sin suplementar. El coeficiente de digestibilidad de la proteína fue mayor para el grupo MOS frente al grupo AR3 de papa, destacando el nivel de inclusión de 0.5% para MOS y 1.0% para AR3 Pastusa.

Los coeficientes de digestión de los diferentes nutrientes genera información acerca de las cantidades de nutrientes disponibles para el animal, pero no sobre las tasas o sitios de absorción. Una digestión gradual de los almidones puede tener un efecto de ahorro en los aminoácidos y por consiguiente mejorar la eficiencia de crecimiento en pollos de engorde, lo anterior ha sido demostrado en el caso del aminoácido lisina, ya que el suministro de almidones tipo SDS mejoran la utilización de proteína y energía en pollos de engorde. Las tasas de degradación del almidón pueden afectar la disposición de energía dentro de la dieta de pollos de engorde (Van der Aar, 2003). Los almidones lentamente degradables tienen un efecto positivo sobre la eficiencia alimenticia, cuando los niveles de aminoácidos son bajos, lo cual asegura un suministro parcial de glucosa en el tiempo, conduciendo a una liberación más lenta y prolongada de insulina, la cual está relacionada con el transporte y la absorción de aminoácidos para la formación de proteína celular (Truswell, 1992 y Fox, 1996). Además, es posible que el suministro de este tipo de oligosacáridos pueda conducir a una composición microbiana más favorable para el huésped, lo cual reduciría las tasas de pasaje y mejoraría la digestibilidad de los aminoácidos (Biggs y Parsons, 2007). Además, el uso de almidones lentamente digeribles pueden conducir a una menor presencia de bacterias patógenas como lo reporto Weurding (2002) para pollos de engorde inoculados con una cepa no patógena

de *Clostridium perfringens*. Por lo tanto, se podría concluir que la eliminación de las bacterias patógenas que se adhieren a la pared del TGI, conlleva a una menor actividad del sistema inmune, favoreciendo el uso de la energía y los demás nutrientes en la función productiva de las aves (Savage y Zakrzewska, 1996 y Fairchild y col., 2001). Así, diferentes tipologías de almidones como los almidones resistentes deben ser valorados en aves jóvenes, mirando el potencial que presentan diferentes recursos alimenticios o aditivos funcionales como el almidón resistente retrogradado de papa, en este caso de las variedades Guaneña y Pastusa, aportando un primer acercamiento para su inclusión en la formulación de alimentos para pollos de engorde, aprovechando y explorando la potencialidad que posee Colombia en relación a este tubérculo.

Con relación a nivel del perfil lipídico, el AR3 Guaneña y AR3 Pastusa no mostraron una disminución del colesterol total, aun cuando el grupo MOS mostro menores valores en los diferentes niveles de inclusión utilizados. Aun cuando diferentes autores como Mohan y col. (1996); Kalavathy y col. (2003) y Kannan y col. (2005), han reportado la disminución del colesterol total con MOS al 0.5%, estos no han sido totalmente documentados y no son constantes, ya que Yalcinkaya y col. (2008) reportaron una reducción no significativa en los niveles de colesterol sérico y triglicéridos frente al control al incluir MOS en dietas para pollos de engorde. Algunos mecanismos propuestos, conducen a indicar que el aumento de la desconjugación y excreción fecal de las sales biliares, al disminuir el pH a causa de la producción de AGV, conduce a una menor absorción de estos en el intestino, aumentando su excreción a nivel fecal (Klaver y Van der Meer, 1993 y St-Onge y col., 2000). Por lo tanto, cuando el hígado intenta restablecer la síntesis de ácidos biliares, convierte más colesterol en los tejidos y por lo tanto sus concentraciones en la sangre se reducen (Ros, 2000). De otra parte, el aporte de propionato y acetato producto de la fermentación del AR3 por parte de las poblaciones microbiales podría disminuir los niveles séricos y hepáticos, como lo planteo Cheng y Lai, (2000) en ratas, los cuales al llegar al hígado, pueden activar la acetil-coenzima A sintentasa 2, quedando el acetato incorporado en los procesos de colesterogénesis y lipogénesis. De otro lado, el propionato en el caso de ratas puede disminuir la lipogénesis y colesterogénesis *in vitro*, en los hepatocitos de las ratas (Delzenne y Williams, 2002) ya que es un inhibidor competitivo de la proteína que se encarga de la entrada del acetato a la célula hepática.

Sin embargo, todavía no existen suficientes datos experimentales en el hombre que permitan establecer las contribuciones cuantitativas del acetato y el propionato a la regulación del metabolismo lipídico (Ortiz y col., 2011).

La alta capacidad de adaptación del TGI es una característica general entre las especies animales, indicando que el animal puede adaptarse a la suplementación de recursos ricos en AR3 para beneficiar el desarrollo del TGI y la presencia de microorganismos benéficos presentes normalmente en el intestino delgado como los *Lactobacillus* sp. a lo largo del desarrollo del pollo y los *Bifidobacterium* sp. a nivel del ciego población que se establece entre los 14 y 25 días de edad (Amit-Romach y col., 2004). El intestino grueso es la región más altamente colonizada del tracto gastrointestinal (TGI) y se cree que las interacciones entre las bacterias son el factor más importante que controla la microflora de los monogástricos (Drasar, 1988). En este estudio, el desarrollo de TGI mostro al control sin suplementar con los mayores valores relativos para los días 12 y 19 de edad en componentes como el peso del TGI, ciegos vacíos, duodeno, yeyuno y el peso del intestino delgado y grueso, las cuales al día 25 desaparecieron con relación al control sin suplementar. El grupo MOS mostro un mayor peso para TGI, dado por un mayor desarrollo del duodeno y el ileon frente al grupo AR3 de papa, mientras que el grupo AR3 Guaneña obtuvo una menor longitud relativa frente a AR3 Pastusa para el componente duodeno. Bannink y col. (2006) indicaron que el desarrollo de la pared del TGI está fuertemente relacionado con el peso corporal, donde componentes específicos dentro de la formulación de las dietas como la cantidad de carbohidratos fermentables resistentes, pueden afectar el tipo y el lugar de la digestión, impactando su fisiología y el crecimiento de la pared del TGI. De otro lado, la pared del TGI posee una alta capacidad de adaptación a la suplementación de recursos ricos en AR3 para beneficiar el desarrollo del TGI y la presencia de microorganismos benéficos presentes normalmente en el intestino delgado como los *Lactobacillus* sp. a lo largo del desarrollo del pollo y los *Bifidobacterium* sp. a nivel del ciego población que se establece entre los 14 y 25 días de edad como lo indica Amit-Romach y col. (2004).

La cripta es el punto de partida para la generación de las vellosidades, donde una mayor profundidad de cripta señala una renovación rápida de tejido, como consecuencia de una alta demanda del mismo (Yason y col., 1987). Este proceso ocurre a través de la renovación celular (proliferación y diferenciación), como resultado de la división mitótica

en las células de la cripta y a lo largo de las vellosidades, así como la pérdida celular (proceso de descamación) que ocurre normalmente en el ápice de las vellosidades (Macari y col., 2002). Otro punto relevante es la actividad enzimática específica total por vellosidad, la cual se incrementa con la edad del ave, donde una mayor superficie de la vellosidad indicaría mayor número de enterocitos, sin influenciar su eficiencia individual. Esto favorece la capacidad digestiva del ave (Nitsan y col, 1991a y Nitsan y col., 1991b), particularmente la digestión de las grasas (Ketels y De Groote, 1989). De otra parte, una vellosidad corta tiene una menor superficie de absorción de nutrientes, mientras que un alargamiento de la vellosidad, indica una rápida reconversión y una alta demanda por nuevos tejidos, donde una mayor profundidad de las criptas ha sido asociada con la presencia de toxinas en el medio (Yason y Schat, 1987). Se ha indicado una alta correlación entre la profundidad de las criptas y la tasa de proliferación de células epiteliales (Jin y col., 1994; Brunsgaard, 1998 y Yasar y Forbes, 1999), teniendo un efecto sobre los requerimientos de energía y proteína a nivel de la mucosa intestinal (Hughes, 2003). La disminución en la relación altura de la vellosidad / profundidad de cripta en el intestino delgado puede ser asociada con un aumento en la tasa de proliferación de células de la cripta y del número de células que muestran la fragmentación de ADN (lo que indica la muerte celular programada), conduciendo a una renovación celular más rápida (Montagne y col, 2003). En general, el desarrollo y la madurez del sistema digestivo, van a definir junto con el área superficial del mismo la capacidad de absorción por parte del animal, siendo la utilización de energía neta de las aves definida por los requerimientos de mantenimiento y crecimiento del intestino (Choct, 1999).

En este estudio, a nivel del duodeno, el grupo suplementado mostro una mayor altura de la vellosidad y una menor profundidad de la cripta frente al control sin suplementar, resaltando el nivel de 1.0% de AR3 Pastusa y el nivel de 0.5% de MOS, los cuales mostraron los mayores valores para altura de la vellosidad y la relación altura vellosidad / profundidad de cripta, con un incremento del 78.08 y 69.86%, respectivamente. En el yeyuno, AR3 Guaneña y Pastusa mostraron una mayor altura de la vellosidad y profundidad de la cripta frente al grupo MOS, mientras que AR3 Guaneña obtuvo una mayor altura vellosidad y una menor profundidad de cripta frente a AR3 Pastusa,

llevando a una mayor relación altura vellosidad / profundidad cripta y finalmente a nivel del ileon, el control sin suplementar mostro una menor profundidad de cripta y una tendencia a una menor altura de la vellosidad, destacando para AR3 Guaneña y una mayor altura de la vellosidad frente a AR3 Pastusa y una tendencia de este último a una menor profundidad de la cripta, destacando para el nivel de inclusión de 1.0% de AR3 Guaneña la mayor área aparente de la vellosidad en este segmento del ID. Los anteriores hallazgos indican algunas luces para comprender los mecanismos de acción de los AR3 de papa para influenciar la capacidad de absorción de un pollo de engorde, donde variables como el tiempo de residencia de la digesta, la capacidad de secreción enzimática, los mecanismo de absorción, la actividad microbial, el área de absorción y la barrera funcional (Tivey y Butler, 1999) marcan la respuesta productiva encontrada en este estudio. Como lo indico Buddle y Bolton (1992), la altura de la vellosidad y la profundidad de la cripta son parámetros que permiten establecer indirectamente la salud intestinal del ave y están directamente relacionados con la capacidad de absorción de la mucosa. La altura de la vellosidad refleja el balance de la actividad mitótica de las células entéricas de la cripta (Cera y col., 1988) y los procesos de descamación que pueden ser generados por perturbaciones externas (Nabuurs, 1995). A su vez, la relación altura de vellosidad / profundidad puede ayudar a comprender la capacidad digestiva del ID, donde un incremento de esta relación conduce a una aumento en la digestión y absorción de nutrientes (Montagne y col., 2003). Por lo tanto, una reducción en esta relación, indica una alta tasa de migración celular de la cripta a la vellosidad, donde a medida que la actividad de la ingesta a nivel de la vellosidad reduce el daño de los enterocitos, los requerimientos por renovación celular en los segmentos del intestino son menores (Hughes, 2003).

Una mayor área de absorción del intestino conduce a una mayor absorción de nutrientes, más aun cuando esta es mayor en este y el yeyuno proximal, con una decreciente tasa distal de absorción, sin estar sujeta con el patrón de superficie intestinal total de cada segmento. Sin embargo el área de absorción podría representar el potencial de absorción, mientras que la captura de nutrientes depende de la concentración del sustrato y la disponibilidad de transportadores, junto a la tasa de recambio celular (Noy y Sklan, 1995), sugiriendo que a una mayor superficie de absorción por unidad de peso, se disminuye el tamaño de los componentes, reduciendo los costos de mantenimiento y aumentando la eficiencia alimenticia (Mitchell y Smith, 1991), como se observó en este

estudio para las mediciones obtenidas con relación al desarrollo del TGI durante los días 12 y 19 de edad en el grupo suplementado frente al control sin suplementar. El epitelio intestinal presenta la tasa más rápida de renovación celular, con una tasa metabólica elevada, reflejando entre un 23 a 36% de los gastos energéticos globales (Summers, 1991), el rápido desarrollo del sistema digestivo durante las primeras semanas de vida es por tanto esencial para lograr la expresión del potencial genético del ave (Sell y col., 1991). Así, las dinámicas de digestión del almidón ofrecen la oportunidad de mejorar el desempeño productivo valorado a través del crecimiento del ave y el estatus sanitario, al correlacionar positivamente la porción del intestino delgado donde se realiza la digestión y el tipo de almidón suplementado, indicando diferencias con relación al lugar, la velocidad y el grado de digestión del almidón entre ingredientes (Van der Aar, 2003).

Los carbohidratos presentes en los recursos alimenticios altamente digestibles son rápidamente absorbidos en el intestino delgado, limitando la cantidad de sustratos fermentarles que entran al intestino grueso, donde la mayoría de la microflora gastrointestinal reside. El efecto de la carboximetilcelulosa (CMC) soportada esta argumentación, ya que el incremento en la viscosidad de la digesta reduce la eficiencia digestión y absorción de nutrientes y deja menos nutrientes disponibles para la acción de bacterias patógenas. En el estudio, el consumo de alimentos no fue afectado por la inclusión de CMC en el período de crecimiento y el ciclo productivo completo, mostrando un peso corporal final mayor al control sin suplementar, pero con una mayor conversión alimenticia. Lo cual corrobora estudios previos realizados por el grupo de investigación (Camacho y Granados, 2003)

La gran mayoría de ácidos orgánicos son producidos en el tracto gastrointestinal a través de la fermentación de carbohidratos no digestibles. Estos ácidos orgánicos son básicamente no tóxicos para las células aún a altas dosis, pero son realmente tóxicos a las células de los microorganismos a unas bajas dosis. En este contexto, el ácido butírico ha sido caracterizado por su gran actividad bactericida y por jugar un papel fundamental en el desarrollo del epitelio intestinal, siendo igualmente el mayor recurso de energía para las células epiteliales (Pryde y col., 2002). El butirato tiene efectos positivos sobre la eficiencia del crecimiento, la digestibilidad y la alimentación al modular la proliferación -

celular, la diferenciación y la función del TGI a nivel de la mucosa, estimulando la función de barrera, potencia antimicrobiana y el sistema inmune en animales saludables y enfermos (Scheppach y Weiler, 2004; Manzanilla y col., 2006 y Mazzoni y col., 2008). El butirato incrementa la proliferación, diferenciación y maduración, contribuyendo a reducir los procesos de apoptosis en los enterocitos normales, al mediar la expresión génica y la síntesis de proteínas (Sengupta y col., 2006). Protege al colon contra la inflamación intestinal, el estrés oxidativo y contribuye a mejorar la barrera intestinal, reduciendo la permeabilidad o modulando la barrera de la mucosa mediante la generación de moco, cambios en la permeabilidad epitelial y la migración (Wong y col., 2006; Hamer y col., 2008 y Topping y Clifton., 2001), con lo cual se fortalece las respuesta defensiva del colon (Jacobs y col., 2009). En este estudio no se encontraron diferencias a nivel del pH en el contenido del ileon y los ciegos, así como en la concentración de AGV a nivel cecal entre el control sin suplementar y el grupo suplementado. El grupo MOS mostro mayores valores frente al grupo AR3 de papa para el pH a nivel de ciegos, acético y butírico, mientras que el grupo AR3 Pastusa mostro un menor pH a nivel del contenido del ileon frente al grupo AR3 Guaneña. Estas diferencias han sido evidentes con relación a la capacidad de producir diferentes cantidades y proporciones de AGV (Edwards y Rowland, 1992 y Nordgaard y col., 1995), aun cuando de manera general el AR favorece la producción de butirato (Weaver y col., 1992).

La respuesta obtenida en el presente estudio con relación al AR3 de papa en un ciclo completo productivo de pollo de engorde, mostro un comportamiento similar a otros aditivos funcionales, siendo superiores al control sin suplementar, siendo MOS el tratamiento que mejores resultados arrojó. Una mayor sobrevivencia frente a otros aditivos como MOS o Levadura, indicarían posiblemente un efecto positivo del AR3 de papa sobre diferentes aspectos fisiológicos al comportarse como fibra dietaria (Fuentes-Zaragoza y col., 2010). Estos resultados pueden verse reflejados a nivel de los indicadores productivos obtenidos en el presente estudio, donde el control sin suplementar obtuvo los menores valores para el % de eficiencia europea y el índice de productividad y numéricamente para el factor de eficiencia europea. Sin embargo, para alcanzar el nivel de suplementación necesario para obtener los efectos deseados sobre los parámetros productivos, como reflejo de una dinámica positiva entre el balance, la digestión y la absorción de nutrientes en el TGI del ave y el mantenimiento de un estatus inmune que permita el desarrollo integral del ave, el costo de la dosis es elevado, lo cual

incrementa el costo de la dieta frente a los demás tratamientos evaluados en el caso del AR3 Guaneña, mientras que AR3 Pastusa muestra un comportamiento similar al control sin suplementar y los aditivos, siendo superior el desempeño económico alcanzado por MOS.

6.1 Bibliografía

Aerstrup, F. M. Bager, F. Jensen, N. E. Madsen, M. A. Meyling, and Wegner, H. C. 1998. Surveillance of antimicrobial resistance in bacteria isolated from food animals to antimicrobial growth promoters and related therapeutic agents in Denmark. *APMIS*. 106:606.

Amit-Romach, E. Sklan, D. and Uni, Z. 2004. Microflora ecology of the chicken intestine using 16s ribosomal dna primers. *Poultry Science* 83:1093–1098.

Bannink, A. Dijkstra, J. Koopmans, S. J. and Mroz, Z. 2006. Physiology, regulation and multifunctional activity of the gut wall: a rationale for multicompartamental modeling. *Nutrition Research Reviews*, Vol.19:02, pp 227–253.

Bauer, E. Williams, B. A. Smidt, H. Mosenthin, R. and Verstegen, M. W. A. 2006. Influence of dietary components on development of the microbiota in single-stomached species. *Nutrition*

Biggs, P. and Parsons, C. M. 2007. The effects of several oligosaccharides on true amino acid digestibility and true metabolizable energy in cecectomized and conventional roosters. *Poultry Science* 86:1161–1165.

Brunsgaard, G. 1998. Effects of cereal type and feed particle size on morphological characteristics, epithelial cell proliferation, and lectin binding patterns in the large intestine of pigs. *Journal of Animal Science*. 76(11):2787-98.

Bu-Contreras, R. and Rao, M. A. 2002. Review: Dynamic rheological behaviour of heated potatoes. *Food Science and Technology International* 8:3-10.

Buddle, J. R. and Bolton J. R. 1992. The pathophysiology of diarrhoea in pigs. *Pigs News Information*, v.13, p.41N-45N.

Camacho, D. A. y Grandados, P. E. 2003. Evaluación del efecto prebiótico de la carboximetilcelulosa de baja viscosidad en dietas para pollos de engorde. Tesis de Especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, 47 pp.

Cepero, R. 2006. Retirada de los antibióticos promotores de crecimiento en la Unión Europea: causas y consecuencias. Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Facultad de Veterinaria., Universidad de Zaragoza.

Cera, K. R. Mahan, D. C. Cross, R. F. Reinhart, G. A. and Whitmoyer, R. E. 1988. Effect of age, weaning and postweaning diet on small intestinal growth and jejunal morphology in young swine. *J. Anim. Sci.* 66:574.

Cheng, H. H. and Lai, M. H. 2000. Fermentation of resistant starch produces propionate reducing serum and hepatic cholesterol in rats. *J. Nutr.* 130: 1991-1995.

Choct, M. 1999. Soluble non-starch polysaccharides affect net utilisation of energy by chickens. recent advances in animal nutrition in Australia. 12: 31-35.

CORPOICA. 2005. Informe técnico de bancos, C. I. Tibaitatá. 22 p.

Delzenne, N. and Williams, C. 2002. Prebiotics and lipid metabolism. *Curr. Opin. Lipidol.* 13: 61-67.

Diaz, D. O. S. Siqueira, F. F. Ruschel, D. S. L and Brandelli, A. 2005. Antimicrobial resistance in *Salmonella enteritidis* strains isolated from broiler carcasses, food, human and poultry-related samples. *International journal of food microbiology*, vol. 97, n°3, pp. 297-305.

Drasar, B. S. 1988. The bacterial flora of the intestine. In *Role of the Gut Flora in Toxicity and Cancer*, pp. 23–28 [IR Rowland, editor]. London: Academic Press.

Edwards, C. A. and Rowland, I. R. 1992. Bacterial fermentation in the colon and its measurement. In *Dietary Fibre. A Component of Food*, pp. 119–136 [TF Schweizer and CA Edwards, editors]. London: Springer Verlag.

Espinal, C. F. Covaleda, H. M. Ruiz, P. N y Urrutia, B. A. C. 2005. La cadena de la papa en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de trabajo No. 100. En: <http://www.agrocadenas.gov.co>

Fairchild, A. S. Grimes, J. L. Jones, F. T. Wineland, M. J. Edens, F. W. and Sefton, A. E. 2001. Effects of hen age, Bio-Mos and Flavomycin on poult susceptibility to oral *Escherichia coli* challenge. *Poult. Sci.* 80:562–571.

FAO. 2008. The International Year of the Potato. <http://www.potato2008.org> Accessed 19.07.10.

Fox, S. I. 1996. Human Physiology, p. 588. Wm. C. Brown. Publishers, Chicago, United States of America.

Fuentes-Zaragoza, E. Riquelme-Navarrete, M. J. Sanchez-Zapata, E. and Pérez-Alvarez, J. A. 2010. Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*. doi: [10.1016/j.foodres.2010.02.004](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.02.004).

Hamer, H. M. Jonkers, D. Venema, K. Vanhoutvin, S. Troost, F. J. and Brummer, R. J. 2008. Review article: the role of butyrate on colonic function. *Aliment Pharm Therap* 27: 104–119.

Hughes, R. J. 2003. Energy metabolism of chickens physiological limitations. A report for the Rural Industries Research and Development Corporation, RIRDC Publication, n.2, p.151.

Jacobs, D. M. Gaudier, E. van Duynhoven, E. J. and Vaughan, E. E. 2009. Non-digestible food ingredients, colonic microbiota and the impact on gut health and immunity: A role for metabolomics. *Current Drug Metabolism*, 10, 41-54.

Jin, L. Reynolds, L. P. Redmer, D. A. Caton, J. S. Crenshaw, J. D. 1994. Effects of dietary fiber on intestinal growth, cell proliferation, and morphology in growing pigs. *J Anim Sci.* 72(9):2270-78.

Kalavathy, R. Abdullah, N. Jalaludin, S. and Ho, Y. W. 2003. Effect of *Lactobacillus* cultures on growth performance, abdominal fat deposition, serum lipids and weight of organs of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.*, 44: 139-144.

Kannan, M. Karunakaran, R. Balakrishnan, V. and Prabhakar, T. G. 2005. Influence of prebiotics supplementation on lipid profile of broilers. *International Journal of Poultry Science* 4 (12): 994-997

- Karlsson, M. Meeman, A. Björck, I. Eliasson, A. 2007. Some physical and nutrition characteristics of genetically modified potatoes varying in amylose/amylopectin ratios. *Food Chemistry* 100: 136-146.
- Kaur, L. Singh, J. McCarthy, O. J. and Singh, H. 2007. Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. *Journal of Food Engineering* 82: 383–394.
- Ketels, E. and G. De Groote. 1989. Effect of ration of unsaturated to saturated fatty acids of the dietary lipid fraction on utilization and metabolizable energy of added fats in young chicks. *Poult. Sci.* 68:1506-1512.
- Klaver, F. A. M. Van Der Meer, R. 1993. The assumed assimilation of cholesterol by lactobacilli and *Bifidobacterium bifidum* is due to their bile salt-deconjugating activity. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59: 1120- 1124.
- Macari M., Maiorka A. and Boleti I. 2002. Capítulo 5, Estrutura funcional do trato digestório. En *Fisiologia aviaria.FUNEP/UNESP*. 75-95
- Manzanilla, E. G. Nofrarias, M. Anguita, M. et al. 2006. Effects of butyrate, avilamycin, and a plant extract combination on the intestinal equilibrium of early-weaned pigs. *J Anim Sci* 84, 2743–2751.
- Mazzoni, M. Le Gall, M. De Filippi, S. et al. 2008. Supplemental sodium butyrate stimulates different gastric cells in weaned pigs. *J Nutr* 138, 1426–1431.
- Mitchell, M. and Smith, M. 1991. The effects of genetic selection for increased growth on mucosal and muscle weights in the different regions of the small intestine of the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *Comp. Biochem. Physiol.* 99k2.51-258.
- Mohan, B. Kadirvel, R. Natarajan, A. and M. Bhaskaran, 1996. Effect of probiotic supplementation on growth, nitrogen utilization and serum cholesterol in broilers. *Br. Poult. Sci.*, 37: 395-401.
- Montagne, L. et al. 2003. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology*, 108, p.95-117.
- Nabuurs, M. J. A. 1995. Microbiological, structural and functional changes of the small intestine of pigs at weaning. *Pig News Info.* 16:93N–97N.
- Newman, M. 2005. Antibiotic resistance is a reality: novel techniques for overcoming antibiotic resistance when using new growth promoters. *Nutritional biotechnology in the feed and food industries. Proceedings of Alltech's 18th Annual Symposium.* T.P. Lyons and K.A. Jacques. Nottingham University Press. Pp. 97-103.
- Nitsan, Z. Ben -Avraham, G. Zoref, Z. and Nir, I. 1991b. Growth and development of the digestive organs and some enzymes in broiler chicks after hatching *British Poultry Science* 32: 515-523.
- Nitsan, Z. Dunnington, E. and Siegel, P. 1991a. Organ growth and digestive enzyme levels to fifteen days of age in lines of chickens differing in body weight. *Poultry Science.* 70: 2040-2048.
- Nordgaard, I. Mortensen, P. B. and Langkilde, A. M. 1995. Small intestinal malabsorption and colonic fermentation of resistant starch and resistant peptides to short-chain fatty acids. *Nutrition* 11, 129–137.

Noy, Y. and Sklan, D. 1998. Metabolic Responses to Early Nutrition. *Journal of Applied Poultry Research*. 7: 437-451.

Ortiz, L. T. Velasco, S. Rodríguez, M. L. Rebolé, A. y Alzueta, C. 2011. Los prebióticos tipo inulina en alimentación aviar II: efectos sistémicos. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*. 5(1):103-119

Pryde, S. E. Duncan, S. H. Hold, G. L. Stewart, C. S. and Flint, H. J. 2002. The microbiology of butyrate formation in the human colon. *FEMS Microbiology Letters*, 217: 133-139. *Research Reviews*, 19: 63-78.

Ros, E. 2000. Intestinal absorption of triglyceride and cholesterol. Dietary and pharmacological inhibition to reduce cardiovascular risk. *Atherosclerosis*., 51: 357-379.

Savage, T. and Zakrzewska, E. 1996. The Effect of feeding a mannan oligosaccharide on immunoglobulins, plasma IgG and bile IgA of wrolstad MW male turkeys. Seventeenth Annual Meeting of the Southern Poultry Science Society. January 22- 23. World Congress Center Atlanta. Georgia P. 148.

Scheppach, W. and Weiler, F. 2004. The butyrate story: old wine in new bottles? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 7, 563–567.

Sell, J. Angel, C. Piquer, F. Mallarino, E. and Batshan, H. A. 1991. Developmental patterns of selected characteristics of the gastrointestinal tract of young turkeys. *Poultry Science*. 70: 1200-1205.

Sengupta, S. Muir, J. G. and Gibson, P. R. 2006. Does butyrate protect from colorectal cancer? *J Gastroenterol Hepatol* 21, 209–218.

Severini, C. Baiano, A. Pilli T. Carbone, B. and Derossi, A. 2005. Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes. *Journal of Food Engineering* 68:289–296.

Sharma, A. Yadav, B. S. and Ritika. 2008. Resistant starch: Physiological roles and food applications. *Food Reviews International*, 24, 193–234.

Sievert, D. and Pomeranz, Y. 1989. Enzyme-resistant starch. I. Characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical, and microscopic methods. *Cereal Chemistry*, 66, 342–347.

St-Onge, M. P. Farnworth, E. R. and Jones, P. J. 2000. Consumption of fermented and non fermented dairy products: effects on cholesterol concentrations and metabolism. *Am. J. Clin. Nutr.* 71: 674-681.

Summers, M. 1991. Energy metabolism in the broiler chick. Ph.D. Thesis. University of Guelph, Ontario, Canada.

Themeier, H. Hollman, J. Neese, U. and Lindhauer, M. G. 2005. Structural and morphological factors influencing the quantification of resistant starch II in starches of different botanical origin. *Carbohydrate Polymers*, 61:72-79.

Tivey, D. and Butler, R. 1999. Breath analysis - a key to understanding intestinal function. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*. 13: 45-52.

Topping, D. L. and Clifton, P. M. 2001. Short-chain fatty acids and human colonic function: role of resistant starch and non starch polysaccharides. *Physiol. Rev.* 81, 1031–1064.

Truswell, A. S. 1992. Glycaemic index of foods. Eur J Clin Nutr 46 (suppl 2): S91-S101.

Van der Aar. 2003. Getting to Know starch better. Feed mix, vol. 11; Num.2, En: www.AgriWorld.nl

Weaver, G. A. Krause, J. A. Miller, T. L. et al. 1992. Cornstarch fermentation by the colonic microbial community yields more butyrate than does cabbage fiber fermentation; cornstarch fermentation rates correlate negatively with methanogenesis. Am J Clin Nutr 55, 70–77.

Weurding, E. 2002. Kinetics of starch digestion and performance of broiler chickens. Ph.D. Thesis, Wageningen Institute of Animal Sciences, Wageningen, The Netherlands.

Williams, B. A. Verstegen, M. W. A. and Tamminga, S. 2001. Fermentation in the large intestine of single-stomached animals and its relationship to animal health. Nutrition Research Reviews, 14: 207-227.

Wong, J. M. de Souza, R. Kendall, C. W. Emam, A. and Jenkins, D. J. 2006. Colonic health: fermentation and short chain fatty acids. J Clin Gastroenterol. 2006 Mar; 40(3):235-43.

Yalcinkaya, H. Gungori, T. Bafialani, M. and Erdem, E. 2008. Mannan oligosaccharides (MOS) from *Saccharomyces cerevisiae* in broilers: effects on performance and blood biochemistry. Turk. J. Vet. Anim. Sci., 32(1): 43-48.

Yasar, S. and Forbes, J. M. 1999. Performance and gastro-intestinal response of broiler chickens fed on cereal grain-based feeds soaked in water. Br Poult Sci. 40:65-76.

Yason C. V. and Schat K A. 1987. Pathogenesis of rotavirus infection in various age groups of chickens and turkeys: Clinical signs and virology. Am J Vet Res; 48:977.

7. Conclusiones y recomendaciones

Este estudio realiza un análisis de la importancia de las características funcionales de carbohidratos procedentes de las levaduras (manano-oligosaridos, MOS) y de la papa (almidones resistentes, AR) como aditivos alimenticios y sistemas de alimentación de pollo de engorde. En el caso de modelo papa se caracterizan las concentraciones de AR tipo 2 y tipo 3 que poseen las principales variedades comerciales de papa común y criolla cultivada en los departamentos de Cundinamarca y Nariño, que en conjunto con la información recopilada en la Colección Central Colombiana de papa permitirán en el inmediato futuro orientar la selección de materiales para mejoramiento genético a partir del componente nutricional, desde el punto de vista del aporte de fibra dietaria que posee la papa con implicaciones no sólo para el desarrollo de productos, sino para el consumo cotidiano del tubérculo por humanos y animales.

Aun cuando el protocolo empleado para la generación del almidón resistente retrogradado fue adecuado para elevar la concentración del mismo en el almidón de papa, se recomendaría explorar otras metodologías como la utilización de autoclave, *extrusión* o *Litnerizado* para ponderar con estos procedimientos del valor agregado del almidón resistente retrogradado del tubérculo. Igualmente, futuros estudios deberían ser orientados a complementar la información reológica y funcional de los almidones obtenidos con el fin de obtener patrones estándares de selección y caracterización de los materiales potenciales a nivel de variedades comerciales que actualmente se encuentran liberadas y de los clones potenciales que se encuentran en el Banco Germoplasma de CORPOICA.

Se hace necesario desarrollar prototipos que permitan hacer más eficiente el proceso de extracción del almidón, buscando la mecanización del mismo, específicamente en el proceso de lavado y decantación del almidón, ya que esta acción manual ocasiona lesiones a nivel de la musculatura y los tendones en los brazos de las personas que

ejecutan este proceso y no permiten una gestión objetiva para el escalamiento de los almidones resistentes

De manera general, los niveles de 0.5% para MOS y de 1.0% para AR3 Guaneña y AR3 Pastusa mostraron los mejores resultados a nivel energético, coeficientes de digestibilidad, desarrollo del TGI y morfometría del intestino delgado para pollos de engorde hasta los 25 días de edad. Igualmente, los niveles de inclusión de 1.0% de AR3 Pastusa y AR3 Guaneña en un ciclo completo productivo de pollo de engorde mostraron desde el punto de vista de peso corporal, ganancia de peso, conversión alimenticia, conversión de energía, sobrevivencia, rendimiento en canal y de las fracciones o partes comerciales de la carne de pollo ser aditivos potenciales para ser incluidos en sistemas de alimentación de pollos de engorde.

Los potenciales escalamiento de este tipo de carbohidratos se ven limitados por el costo de la dosis de inclusión, para lo cual se deben buscar estrategias de desarrollo tecnológico asociadas el incremento en la concentración de AR3, en el contexto de una ventaja comparativa que Colombia muestre relacionado con una disponibilidad del cultivo a lo largo del año hacen posible el desarrollo de cadenas de integración horizontal que permitan introducir este tipo innovaciones al sector de la producción de carne de pollo.