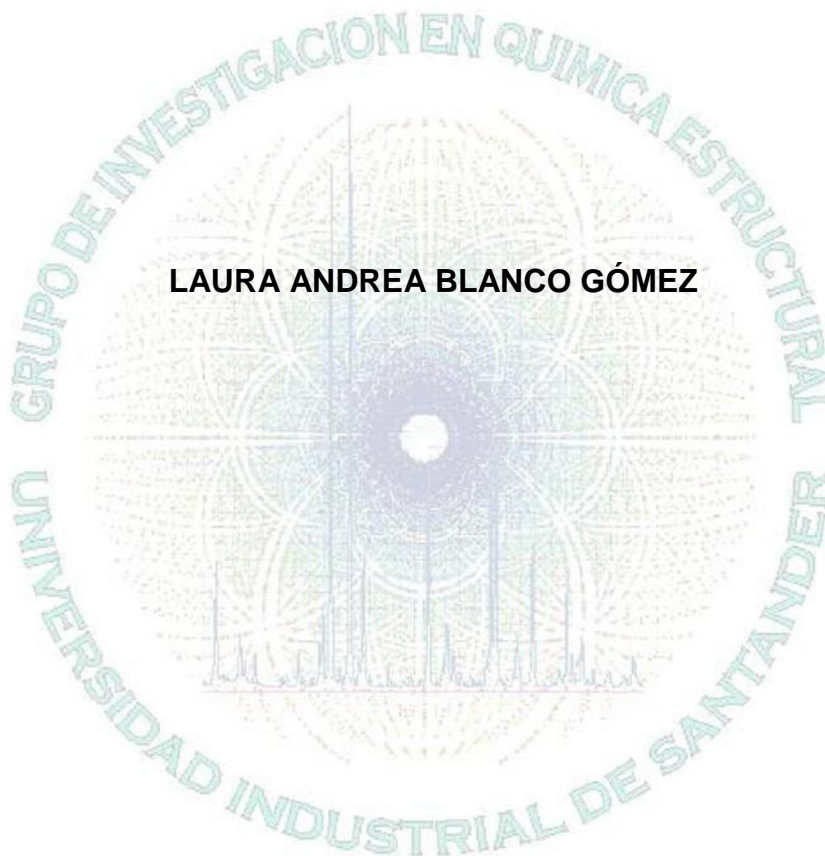


**SÍNTESIS DE ZEOLITA Na-P A PARTIR DE SÍLICE GEL POST-CONSUMO Y
PAPEL ALUMINIO DE DESECHO COMERCIAL. ESTUDIO DE SU ACTIVIDAD
EN LA CAPTACIÓN DE AMONIO EN ALIMENTOS PURÍNICOS DE POLLOS.**

LAURA ANDREA BLANCO GÓMEZ



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

**SÍNTESIS DE ZEOLITA Na-P A PARTIR DE SÍLICE GEL POST-CONSUMO Y
PAPEL ALUMINIO DE DESECHO COMERCIAL. ESTUDIO DE SU ACTIVIDAD
EN LA CAPTACIÓN DE AMONIO EN ALIMENTOS PURÍNICOS DE POLLOS.**

LAURA ANDREA BLANCO GÓMEZ

Trabajo para optar por el título de
Química

Director:

JOSÉ ANTONIO HENAO MARTÍNEZ,
Químico, Ph.D.

Codirector:

JOSE HERNANDO QUINTANA MENDOZA
Químico, M.sc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente doctor José Antonio Henao por haberme permitido trabajar en el grupo GIQUE, a José Hernando Quintana por estar pendiente durante este periodo de aprendizaje y su colaboración.

Al laboratorio de difracción de Rayos X de la Universidad Industrial de Santander, y el grupo de investigación GIQUE por los servicios prestados durante este proceso.

A Cristhian camilo Álvarez Gómez y su familia por su apoyo incondicional, a Andrea Aparicio y Cristian Garnica por sus buenos consejos y por las tardes de risa durante el desarrollo de este proyecto.

A mi familia, especialmente a mi madre por enseñarme a enfrentar la vida con temple, honor y valentía, a mi hermana y a mis tíos por estar conmigo apoyándome durante todo este tiempo y a mi abuelo que en paz descansa sin él no se hubiera hecho posible este sueño.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS	18
1.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 ESTRUCTURA DE UNA ZEOLITA	19
2.2. ZEOLITA Na-P	21
2.3. MÉTODO DE SÍNTESIS DE LAS ZEOLITAS	23
2.4. MORFOFISIOLOGÍA DEL APARATO DIGESTIVO DE LAS AVES.....	26
2.4.1. Flora bacteriana del tracto gastrointestinal (TGI).	28
2.4.2. Factores que influyen en la salud intestinal.	29
2.4.3. Requerimientos nutricionales macro-minerales.	31
2.5. ZEOLITAS EN POLLOS DE ENGORDE	31
3. ANTECEDENTES	34
4. HIPÓTESIS.....	40
5. METODOLOGÍA	41
5.1. ETAPA 1: SÍNTESIS DE PRECURSORES	42
5.1.1. Obtención solución de silicato.....	42
5.1.2. Obtención solución de aluminio.	43

5.2. ETAPA 2: SÍNTESIS ALCALINA HIDROTÉRMICA CON NUCLEACIÓN HETEROGÉNEA.	43
5.3. ETAPA 3: ZEOLITA NA-P INTERCAMBIADA CON CaCl ₂ y MgCl ₂	45
5.4. ETAPA 4: PRUEBAS EN LA CAPTACIÓN DE AMONIO EN ALIMENTOS PURÍNICOS DE POLLOS DE ENGORDE.....	45
5.4.1. Adición de la zeolita a la purina de los pollos de engorde.	45
5.4.2. Instalaciones del ensayo.....	46
5.4.3. Preparación para el recibimiento de los pollos.....	47
5.4.4. Recepción de aves.	47
5.4.5. Crianza de las aves	48
5.4.6. Sacrificio de aves.....	48
5.4.7. Estudio del rendimiento de los componentes del canal.	49
5.4.8. Estudio de metabolitos en suero sanguíneo	50
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
6.1. Etapa 1: Síntesis De Los Precursores	52
6.1.1. Obtención solución de silicato.....	52
6.1.2. Obtención solución de aluminio	54
6.2. ETAPA 2: SÍNTESIS ALCALINA HIDROTÉRMICA CON NUCLEACIÓN HETEROGÉNEA	55
6.2.1. Precursores diluidos.	55
6.2.2. Precursores concentrados.	56
6.3. Etapa 3: ZEOLITA Na-P INTERCAMBIADA CON CaCl ₂ y MgCl ₂	62

6.4. ETAPA 4: PRUEBAS EN LA CAPTACIÓN DE AMONIO EN ALIMENTOS	
PURÍNICOS EN POLLOS DE ENGORDE POLLOS.	64
6.4.1. Adición de la zeolita a la purina.	64
6.4.2. Estudio del rendimiento de los componentes del canal	66
6.4.3. Estudio de metabolitos en suero sanguíneo	78
7. CONCLUSIONES	83
8. RECOMENDACIONES.....	84
9. DIVULGACIÓN DE RESULTADOS	85
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS	102

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Balance de carga negativa en la estructura tetraédrica de una zeolita ...	19
Figura 2.a) unidad Fundamental tetraedros de SiO_4 y AlO_4 PBU b) Poliedros constituyentes de las estructuras secundarias de una zeolita SBU c) estructuras terciarias de construcción TBU d) armazones de las zeolitas.	20
Figura 3. a) Estructura tridimensional GIS con las unidades 4-R y 8-R, b) unidad periódica de construcción, c) unidad repetitiva de la unidad periódica de construcción, d) sistema de canales paralelos al eje a y paralelos al eje b, e) cavidades acopladas para formar los diferentes sistemas de canales.	22
Figura 4. Síntesis hidrotérmica de zeolitas.	25
Figura 5. Formación de la zeolita por síntesis hidrotérmica.	25
Figura 6. pH en diferentes órganos del sistema digestivo del ave.	26
Figura 7. Metodología experimental general.	41
Figura 8. Procedimiento de homogenización Purina/Zeolita al 5%.	46
Figura 9. Instalación estudio galpón para 12 pollos de engorde.	46
Figura 10. Primer día pollos de engorde.	47
Figura 11. Equipo utilizado en la medición de glucosa.	50
Figura 12. Perfil de DRX del sólido SL1.	52
Figura 13. Perfil de DRX del sólido SL2.	53
Figura 14. Curva de calibración para el Silicio obtenida por Absorción Atómica ...	53
Figura 15. Perfil de DRX del sólido AL1.	54
Figura 16. Curva de calibración para el Aluminio obtenida por Absorción Atómica.	55
Figura 17. Perfil de DRX del sólido ZLS1.	56
Figura 18. Comparación DRX de las muestras ZLS2, ZLS3, ZLS4, ZLS5 y ZLS6.	57
Figura 19. Relación lineal del sólido obtenido entra más adiciones de aluminato.	59

Figura 20. Montaje síntesis para a) Autoclaves de teflón de 65mL b) autoclaves de teflón de 1000mL.	60
Figura 21. Perfil DRX síntesis hidrotermal precursores diluidos en autoclaves de 1000mL.....	60
Figura 22. Perfiles DRX IL1, IL2 Y ZLS1.	62
Figura 23. Perfiles DRX purina marca Italco, sin zeolita, con zeolita Na, Ca y Mg.	65
Figura 24. Comparación análisis DRX, HLP13, HLP16, HLP19 Y HLP22.	74
Figura 25. Fotos órganos segundo estudio (20 días) a) Molleja b) páncreas c) duodeno, en orden de prueba testigo, Purina/zeolita-Na, Purina/zeolita-Na-Ca, Purina/zeolitaNa-Mg.	77

LISTA DE TABLAS

Pág.-

Tabla 1. Diversidad bacteriana del tracto gastrointestinal (TGI) de pollos, en función de la variación del pH y el tiempo medio de retención, en minutos (TMR) de la digesta en base sólida.	30
Tabla 2. Codificación huesos calcinados para los diferentes tipos de alimento suministrados a los pollos de engorde.	49
Tabla 3. Relación Letras de la Figura 19 con el tipo de zeolita.	57
Tabla 4. Cantidad de solido obtenido para la síntesis con precursores concentrados.	58
Tabla 5. Resultados análisis elemental por FRX síntesis autoclave de 1000mL. ..	61
Tabla 6. Resultados indexado Zeolita NaP.	62
Tabla 7. Relación Letras de la Figura 22 con el tipo de fase cristalina.	63
Tabla 8. Análisis Químico FRX IL1 y IL2.	63
Tabla 9. Porcentaje de cationes retirados de la solución y moles fijadas en la zeolita de Ca^{2+} y Mg^{2+}	64
Tabla 10. Relación símbolo de la Figura 23 con la fase cristalina.	65
Tabla 11. Análisis cualitativo por FRX de PL1, PIL1, PIL2 y PIL3.	66
Tabla 12. Resultados control peso aves primer ensayo.	67
Tabla 13. Comportamiento productivo pollos de engorde alimentados con diferentes tipos de Cationes-Zeolita para el primer ensayo.	68
Tabla 14. Resultados control peso aves segundo ensayo.	68
Tabla 15. Comportamiento productivo pollos de engorde alimentados con diferentes tipos de Cationes-Zeolita para el segundo ensayo.	69
Tabla 16. Medidas pico, patas y pernil del pollo para los 4 diferentes estudios primer ensayo.	72
Tabla 17. Medidas pico, patas y pernil del pollo para los 4 diferentes estudios segundo ensayo.	72

Tabla 18. Relación Letras de la Figura 25 con el tipo de fase cristalina de los huesos segundo ensayo.	74
Tabla 19. Resultados FRX huesos pollos segundo ensayo.	75
Tabla 20. Resultados análisis físicos molleja, páncreas y duodeno (10 días) con los diferentes tipos de tratamiento.	76
Tabla 21. Resultados análisis físicos molleja, páncreas y duodeno pollos (20 días) con los diferentes tipos de tratamiento.	76
Tabla 22. Niveles de glucosa para los pollos de engorde de la segunda cochada en los cuatro diferentes estudios.	79
Tabla 23. Resultados análisis cuantitativo por FRX sangre de pollos de engorde alimentados con purina.	79
Tabla 24. Resultados análisis cuantitativo por FRX sangre de pollos de engorde alimentados con purina/Zeolita-Na.	80
Tabla 25 Resultados análisis cuantitativo por FRX sangre de pollos de engorde alimentados con purina/Zeolita-Na-Mg.	80
Tabla 26. Resultados análisis cuantitativo por FRX sangre de pollos de engorde alimentados con purina/Zeolita-Na-Ca.	81

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Cualitativo purina marca <i>Italco</i>	102
Anexo B. Cualitativo purina/Zeolita-Na.	103
Anexo C. Cualitativo purina/Zeolita-Na-Ca.	104
Anexo D. Cualitativo purina/Zeolita-Na-Mg	105
Anexo E. FRX huesos calcinados segunda cochada.....	106
Anexo F. Certificado Quimicuba'2015.....	107

RESUMEN

TÍTULO: SÍNTESIS DE ZEOLITA Na-P A PARTIR DE SÍLICE GEL POST-CONSUMO Y PAPEL ALUMINIO DE DESECHO COMERCIAL. ESTUDIO DE SU ACTIVIDAD EN LA CAPTACIÓN DE AMONIO EN ALIMENTOS PURÍNICOS DE POLLOS.*

AUTORES: LAURA ANDREA BLANCO GÓMEZ**

PALABRAS CLAVES: SISNTESIS, POST-CONSUMO, DESECHOS COMERCIALES, ACAPTACIÓN, PURINICOS

Se logró ser sintetizada una fase zeolítica pura de NaP, para posteriormente ser sometida a dos intercambios en soluciones de CaCl_2 y MgCl_2 0,07M, obteniéndose mejores resultados al realizarse con CaCl_2 presentando 66,5% de intercambio catiónico; consecutivamente se evaluaron los tres diferentes cationes que componían la zeolita (Na^+ , $\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}$, $\text{Na}^+-\text{Mg}^{2+}$) como aditivo alimenticio agregándose 5% en la dieta de 24 pollos de engorde con 12 días de edad. Se realizaron 2 estudios utilizándose para cada uno 12 pollos divididos en 4 ensayos consecutivos y una unidad experimental de 3 aves, un primer estudio tuvo una duración de 10 días, posteriormente, se realiza un segundo estudio de 20 días (fase final de levante), obteniendo como resultado para los dos estudios una reducción del consumo de alimento para los pollos de engorde a los cuales se les incorporo zeolita en la alimentación presentándose mejores resultados para aquellas aves que consumieron 5% de Purina/zeolita-Na, el primer estudio presento disminución del consumo de menos de la mitad de purina presentando buenos índices de conversión alimenticia comparada con la testigo (Purina), en el segundo estudio se mantiene el menor consumo de alimentación presentando la tercera parte del consumo de la purina y buenos índices de conversión alimenticia. Se logra reducir el consumo de la alimentación sin presentarse alteraciones en peso vivo, carne, huesos, órganos, menudencias ni metabolitos sanguíneos en los pollos de engorde.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Director: HENAO MARTÍNEZ José Antonio, Codirector: QUINTANA MENDOZA José Hernando.

SUMMARY

TITLE: SYNTHESIS OF ZEOLITE Na-P SILICA GEL FROM POST-CONSUMER AND COMMERCIAL WASTE FOIL. STUDY OF ITS ACTIVITY IN AMMONIUM UPTAKE IN FOODS CHICKEN purine.*

AUTHORS: ANDREA LAURA GOMEZ BLANCO**

KEYWORDS: SYNTHESIS, post-consumer, commercial waste, ACAPTACIÓN, purínicos

It was possible to synthesize a pure Na-P zeolite phase, to be subsequently subjected to two exchanges in solutions of 0.07 M CaCl₂ and MgCl₂ give best results when performed with 66.5 % CaCl₂ presenting cation exchange; consecutively three different cations composing the zeolite (Na⁺, Na⁺ - Ca²⁺, Na⁺ -Mg²⁺, as a food additive adding 5 % in the diet of 24 broilers with 12 days old were evaluated. 2 studies used for each 12 chickens divided into 4 consecutive trials and an experimental unit 3 birds, a first study lasted 10 days later, a second study of 20 days (final phase lift) was performed were performed, which resulted for the two studies reduced feed intake for broilers which were incorporated zeolite in feed presenting better results for those birds that consumed 5 % of Purina / zeolite-Na, the first study showed a decrease consumption of less than half of purine presenting good levels of feed conversion compared with the control (Purina) in the second study, lower power consumption remained presenting the third of the consumption of purine and good rates of feed conversion. It was reduced food consumption without introducing changes in liveweight, meat, bones, organs, offal or blood metabolites in broilers.

* Working Grade

** Faculty of Science, School of Chemistry, Director: José Antonio MARTÍNEZ Henao, Co-Director: QUINTANA MENDOZA José Hernando.

INTRODUCCIÓN

Una de las actividades más relacionadas con el hombre y el medio ambiente es la avicultura, las tecnologías actualmente usadas se dirigen a aumentar la productividad y rentabilidad mediante la mejora de la cantidad. En los últimos años la producción avícola se ha incrementado significativamente en el país, esto gracias a la masiva demanda que tiene la carne de pollo en la población, es así que en el año 2000 el consumo per cápita de carne de pollo era de 14,2Kg/hab/año y hasta el 2016 según datos de FENAVI (*Federación Nacional de Avicultores de Colombia*) esta cifra ascendió hasta 29,2Kg de carne de pollo/hab/año, generando mayor actividad avícola dentro del país para satisfacer las necesidades de la población acorde a la economía, por lo que se hace necesario, tratar de minimizar el costo por kg de carne en ave.

Una forma de minimizar estos altos costos, es utilizando aditivos en la alimentación; ya que esto ayuda a la disminución del consumo de purina total en la crianza de los pollos de engorde, disminuyendo así el costo total de producción. Un buena alternativa son Los materiales zeolíticos, los cuales son aluminosilicatos cristalinos que gracias a sus estructuras microporosas y mesoporosas, han tenido gran aplicación en diversos sectores industriales, ya que pueden desempeñarse como catalizadores, soportes catalíticos intercambiadores iónicos, tamices moleculares, absorbentes, entre otros. (Sathupunya, Gulari, & & Wongkasemjit, 2002).

Un problema al ser utilizadas las zeolitas naturales es que no presentan una estructura homogéneas, lo que hace inalcanzable o ineficiente ciertos sitios de intercambio inaccesibles, esto se da debido a que los microporos localizados en estos materiales zeolíticos son canales y cavidades cuyas dimensiones varían de

acuerdo a la temperatura, defectos estructurales, impurezas y porosidades secundarias, cosas que no son controlables en la naturaleza. Por esta razón se hace necesario sintetizar zeolitas con estructuras homogéneas para una mayor utilidad y aprovechamiento de las mismas.

En el presente trabajo se sintetizaron zeolitas partiendo de sílice de desecho (de los laboratorios de síntesis orgánica) y aluminio post-consumo, obteniendo sólidos blancos que al ser caracterizados por **DRX**, **FRX**, demostraron la obtención de zeolitas tipo NaP como única fase, este sólido obtenido fue mezclado con la purina de los pollos de engorde, favoreciendo la asimilación de una mayor proporción de proteínas y teniendo como resultado un mejor índice de conversión alimenticia a menor consumo de comida, sin afectar el peso vivo, ni producción de carne del pollo de engorde, no se observaron cambios en huesos, sangre ni órganos, demostrando una alta eficiencia de las zeolitas en las dietas de las aves, siendo escogidas por sus cualidades absorbentes y modificadoras del pH del tracto intestinal de las aves.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Sintetizar, caracterizar y estudiar la eficiencia de la zeolita NaP, como aditivo nutricional en las aves de engorde en la captación de amonio en alimentos purínicos, mejorando el aprovechamiento de los nutrientes.

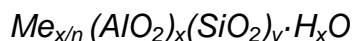
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Obtener los precursores Aluminato y silicato de sodio.
- ✓ Sintetizar la zeolita tipo Na-P y caracterizarla por DRX y FRX.
- ✓ Realizar intercambios con CaCl_2 y MgCl_2 a partir de la zeolita sintetizada.
- ✓ Probar la eficiencia de la zeolita NaP como aditivo alimenticio.

2. MARCO TEÓRICO

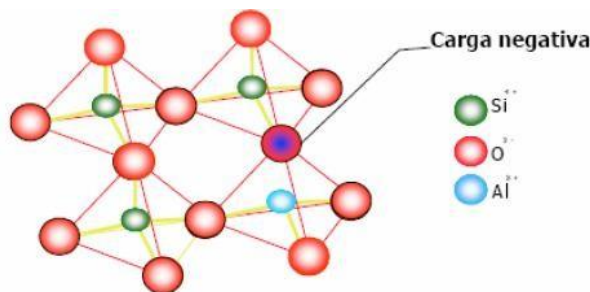
2.1 ESTRUCTURA DE UNA ZEOLITA

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos de fórmula general:



Donde x , m y n son números enteros correspondientes a la celdilla unidad y Me es un catión metálico de valencia n . (Nakaue, 1980) Las zeolitas son hidratos altamente cristalinos, con cationes alcalinos y alcalinotérreos, que presentan una infinidad de estructuras tridimensionales. Al igual que el cuarzo y los feldespatos, esta familia pertenece al grupo de los tectosilicatos, por lo tanto, no son arcillas. La sustitución de Si (IV) por Al (III) es la responsable de la carga negativa en la estructura como se observa en la **Figura 1** esto le confiere a las zeolitas las propiedades fundamentales de intercambiar cationes y absorber moléculares en los canales vacíos que resultan de la red tridimensional que forman los tetraedros. (Auerbach, Carrado, & Dutta, 2003)

Figura 1: Balance de carga negativa en la estructura tetraédrica de una zeolita

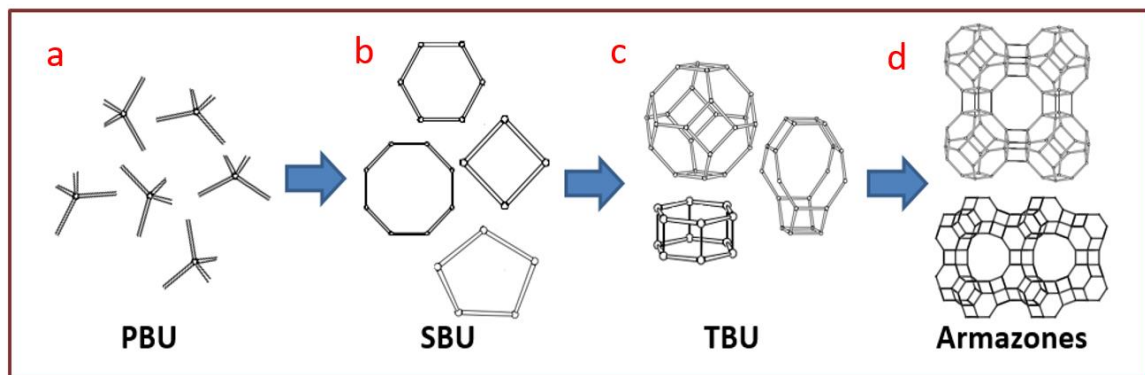


Fuente: (Castrillón, 2011)

La estructura consiste en una red tridimensional de tetraedros SiO_4 y AlO_4 con los átomos de silicio o aluminio en el centro (átomos T) y los oxígenos (O) en los vértices (Auerbach, Carrado, & Dutta, 2003). Esta unidad fundamental constituyen

las unidades primarias de construcción **PBU** (Primary Building Unit) **Figura 2a** las cuales a través de reacciones de condensación se unen por sus átomos de oxígeno originando anillos secundarios (poliedros simples) los cuales se conocen como unidades secundarias de construcción **SBU** (Second Building Unit) **Figura 2b**. Finalmente, estos poliedros se unen formando cajas más complejas conocidas como estructuras terciarias de construcción **TBU** (Tertiary Building Unit) **Figura 2c**, para finalmente lograr los diferentes tipos de armazones de las zeolitas **Figura 2d**.

Figura 2. a) unidad Fundamental tetraedros de SiO_4 y AlO_4 **PBU** b) Poliedros constituyentes de las estructuras secundarias de una zeolita **SBU** c) estructuras terciarias de construcción **TBU** d) armazones de las zeolitas.



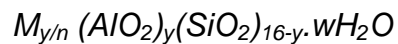
Fuente: (Auerbach, Carrado, & Dutta, 2003)

Las diferentes formas de coordinación de los tetraedros, así como la relación silicio/aluminio originan los distintos tipos de zeolitas, En el proceso, se van formando cavidades o canales de distinto tamaño, donde se alojan cationes y moléculas de agua, que están conectados entre sí por medio de aberturas o poros de dimensiones constantes.

2.2. ZEOLITA Na-P

La zeolita P es una análoga estructural cristalina al mineral Gismondita. La estructura GIS (gismondita) está compuesta básicamente de anillos de 4 miembros (4R).

Este tipo de zeolita Na-P posee una fórmula general.

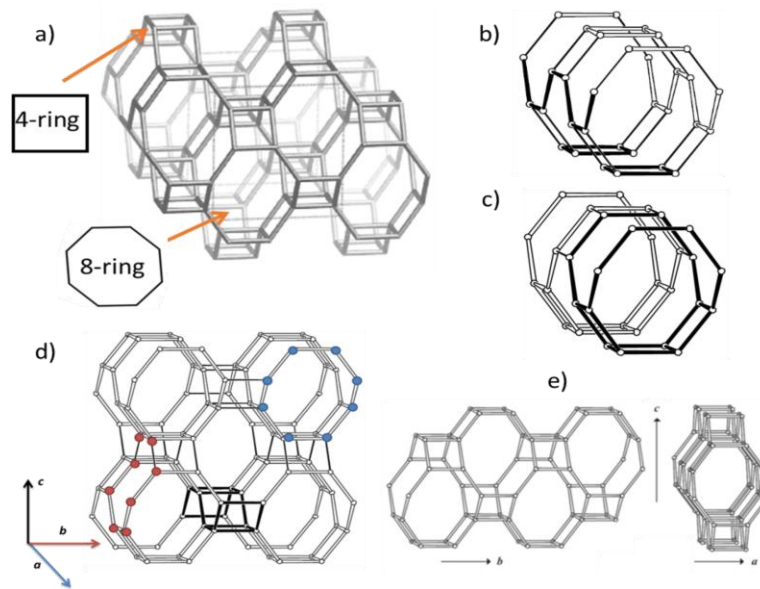


Donde M es un metal que cumple la función de contraión, n es la carga del metal, y son las unidades de aluminio por celda unidad y w es el número de moléculas de agua por celda unidad.

La estructura **GIS** que se observa en la **Figura 4(a)** puede ser construida a partir de cadenas cigüeñal paralelas al eje a. La unidad repetitiva de construcción-**PBU** que da origen a la estructura **GIS** puede derivarse a partir de la unión de dos cadenas cigüeñal paralelas al eje a, unidas a dos anillos de 4R, de modo que se forme un canal con una apertura de un anillo de 8 miembros como el que se muestra en la **Figura 3(b)**. La unidad repetitiva de la **PBU** consiste en dos anillos de 8 miembros interconectados por las posiciones 1, 2, 3, y 4 tal como se muestra en la **Figura 3(c)**. La estructura tridimensional **GIS** puede ser construida mediante la traslación de la unidad **PBU** a lo largo del eje b y c **Figura 3(d)**, y se caracteriza por dos sistemas de canales elipsoidales de dimensiones 0,31nm x 0,44nm paralelo al eje a y 0,26nm x 0,49nm paralelo al eje b (Huo, y otros, 2012) los cuales al fusionarse dan origen a cavidades característica del material **Figura 3(e)** (Baerlocher, McCusker, & Olson, 2007).¹

¹ BAERLOCHER, C., MCCUSKER, L. B., & OLSON, D. H. . Atlas of zeolite framework types (Vol. 6). Structure Commission of the international Zeolite Association. Elsevier.2007

Figura 3. a) Estructura tridimensional **GIS** con las unidades 4-R y 8-R, b) unidad periódica de construcción, c) unidad repetitiva de la unidad periódica de construcción, d) sistema de canales paralelos al eje a y paralelos al eje b, e) cavidades acopladas para formar los diferentes sistemas de canales.



Fuente: (Baerlocher, McCusker, & Olson, 2007)

La zeolita P puede sintetizarse a partir de diversos métodos y fuentes de silicio como arcilla natural, caolinita con una cristalización entre 75 - 80°C, cenizas volantes con agitación contante a 120 °C y por soluciones de silicato y aluminato de sodio por tratamiento hidrotérmal. Otra forma de sintetizar la zeolita P es por transformación de la zeolita NaY a NaP, de esta manera se sintetiza la NaY a partir de NaOH y NaAlO₂ en agua desionizada adicionando en el medio Na₂SiO₃, seguido de un tiempo de reacción donde al superar las 24 horas se observa que la zeolita NaY es menos estable y empieza a parecer la fase NaP siendo a 96 horas está la más estable y la única fase. (Bohra, Kundu, & Naskar, 2014)

Hasta el momento se han sintetizado tres tipos de polimorfo de la zeolita NaP cubica, tetragonal y ortorrómbica (Braga & Morgon, 2007),² las cuales se

² BRAGA, A. A., & MORGON, N. H. Descrições estruturais cristalinas de zeólitos. Química Nova, 30(1), 178-188. 20074

encuentran refinada y caracterizada. La fase NaP_1 o NaP_c , cubica con $a=c=10 \text{ \AA}$ de baja silice se refino por *Baerlocher Meier* dando grupo espacial $I\bar{4}$, con alrededor de 8-10 átomos de silicio por celda unidad, la geometría tetragonal $a=10 \text{ \AA}$ y $c=10,7 \text{ \AA}$, la NaP_t fue refinada por *Hansen* y tiene de 12 a 13 átomos de silicio por celda unidad, grupo espacial $I4_1/amd$, por último la geometría ortorrómbica $a=9,78 \text{ \AA}$, $b=10,08 \text{ \AA}$ y $c=10,10 \text{ \AA}$ tendrá una simetría $I\bar{4}$, $Pnm2$ o $Pnma$ con 10-12 átomos de silicio por celda unidad. (Hansen, Hakansson, Landa, & Fäilth, 1993)³ La zeolita NaP tiene sistemas de canales dimensionales con aberturas de poro elípticos de $3,5 \times 4,5 \text{ \AA}$ y $2,8 \times 3,5 \text{ \AA}$. (Wang, Lin, & Pang, 2008)

Debido a su pequeño tamaño de poro, esta zeolita resulta útil en aplicaciones de separación de gases; remoción de especies tóxicas y/o radioactivas tales como el cesio, estroncio, bario, plomo, uranio, metales pesados, remoción de amonio de aguas residuales, extracción de potasio de agua de mar y formación de detergentes amigables con el medio ambiente, esto se debe a que presenta gran actividad como absorbente de Ca^{2+} y Mg^{2+} , y por ende puede remplazar al tripolifosfato de sodio el cual es un aditivo común de detergentes y que al ser liberado al medio ambiente acuático, puede generar eutrofización.

2.3. MÉTODO DE SÍNTESIS DE LAS ZEOLITAS

Los primeros métodos de obtención de zeolitas, desarrollados a principios de siglo, se limitaban a imitar las condiciones de su formación en la naturaleza, utilizando elevadas presiones y temperaturas.

El descubrimiento de depósitos sedimentarios de zeolitas naturales que se habían formado a temperaturas relativamente bajas, llevó a Milton y colaboradores a desarrollar un programa de síntesis de zeolitas a baja temperatura, cristalizando

³ HANSEN, S., HAKANSSON, U., LANDA, C. A., & FÄILTH, L. On the crystal chemistry of NaP zeolites. *Zeolites*, 13(4), 276-280. 1993

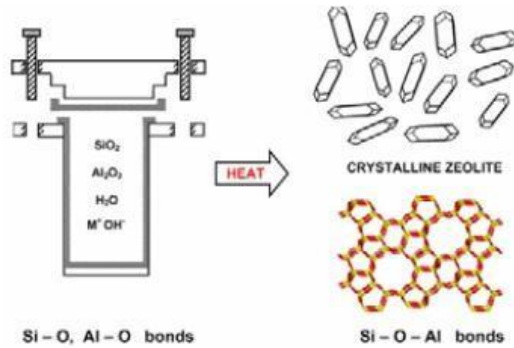
geles aluminosilícicos en un medio acuoso fuertemente básico. Este proceso culminó en el año 1959 con la síntesis de las zeolitas A y X de sodio (Gómez, 2001). La síntesis hidrotérmica ha permitido la obtención de más de un centenar de tipos de zeolitas⁴. (Auerbach, Carrado, & Dutta, 2003)

La síntesis supone la transformación de una mezcla de compuestos de Si y Al, cationes metálicos, moléculas orgánicas y agua en aluminosilicatos cristalinos. El proceso de conversión del gel amorfo en zeolitas se activa térmicamente y tiene lugar en un intervalo de temperaturas que va desde 60°C hasta 100°C, salvo en zeolitas con mayor contenido en silicio en las que se necesitan temperaturas mayores.

En estas síntesis hidrotérmicas, el gel se suele mantener cierto tiempo por debajo de la temperatura de cristalización, en lo que se llama periodo de envejecimiento. Durante esta etapa tiene lugar la disolución o despolimerización de la sílice, la cual se produce por las condiciones alcalinas utilizadas en la síntesis, consiguiéndose un aumento de la concentración de sílice en la disolución. Después de la despolimerización de la sílice, los aniones silicatos que se formados se condensan, dando lugar a especies oligoméricas en disolución. En estas disoluciones alcalinas, los silicatos oligoméricos aniónicos reaccionan con el aluminosilicato **Figura 4**. (Cundy & Cox, 2005)

⁴ AUERBACH, S. M., CARRADO, K. A., & DUTTA, P. K. Handbook of Zeolite Science and Technology. New York: Marcel Dekker.2003

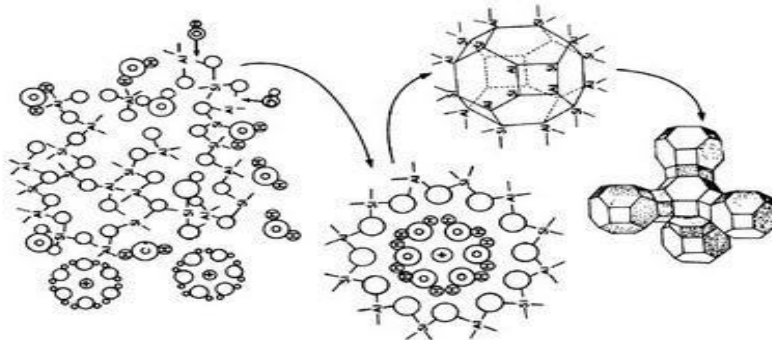
Figura 4. Síntesis hidrotérmica de zeolitas.



Fuente: (Cundy & Cox, 2005)

El posterior crecimiento de los cristales tiene lugar a partir de los núcleos formados por unión de los precursores, obteniéndose cristales de mayor tamaño **Figura 5**. En la actualidad se considera que el crecimiento de los cristales ocurre generalmente en disolución, más específicamente, por condensación de las especies en disolución en la superficie del cristal. (Ghobarkar & Schäfer, 1999)

Figura 5. Formación de la zeolita por síntesis hidrotérmica.



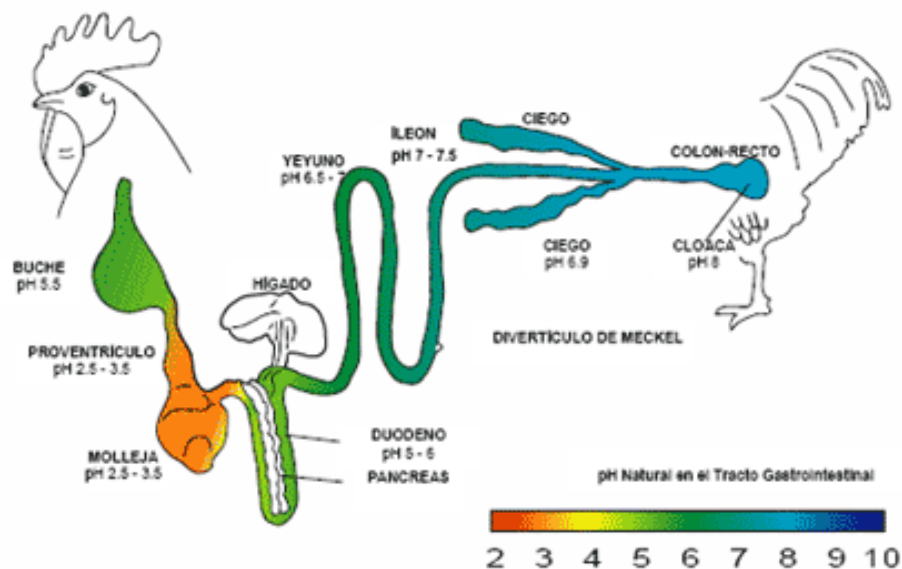
Fuente: http://www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema09/Tema_09_OtrosMin_1.htm Fecha visita: 22 de diciembre del 2010

2.4. MORFOFISIOLOGÍA DEL APARATO DIGESTIVO DE LAS AVES

Son muchos los órganos que participan en la digestión de cualquier mamífero pero en el caso las aves los principales órganos que intervienen en la digestión para su nutrición son:

La *boca* (pico) no posee dientes y tiene limitadas glándulas salivares limitadas, el *buche* es el almacén de la ingesta, el *estómago* es pequeño y su función es de importancia secundaria, la *molleja* su principal función es la masticación, el *páncreas* y *duodeno* son grandes además bien definidos; siendo el páncreas uno de los órgano de mayor importancia especialmente para grasas y proteínas, ya que acá se realiza la digestión enzimática. *Ciegos* grandes y definidos pero su eliminación no altera la función normal; el recto corto que termina en la *cloaca*, en la **Figura 6** se pueden observar los órganos mencionados y los pH a los cuales se encuentran.

Figura 6. pH en diferentes órganos del sistema digestivo del ave.



Fuente: (Aguavil, 2012)

Sabiendo cuáles son los principales órganos de las aves podemos definir cuales intervienen de una manera más activa en la digestión del alimento y el aprovechamiento de los nutrientes estos son:

Esófago y buche: Principalmente el esófago es un conducto que sirve para conducir los alimento y el agua desde la boca hasta el buche y de allí hasta la molleja (Aguavil, 2012). El buche almacena el alimento remojándose durante dos horas con agua y saliva.

Estómago: Se divide en dos:

Estómago Glandular. Conducto o tránsito para los alimentos desde el buche hasta la molleja, aquí se segrega moco para proteger los alimentos del HCl y la pepsina de la digestión.

Estómago muscular. o molleja, es el que tritura el alimento, allí no se producen jugos gástricos.

Intestino delgado: Se extiende desde la molleja hasta el origen de los ciegos. Este se subdivide en 3 válvulas que ayudan al paso del alimento para su la digestión estos son: el duodeno que sale de la molleja y se conecta con el páncreas donde se secretan los jugos gástricos y el yeyuno e íleon donde empieza el intestino grueso.

Es importante destacar que en el intestino delgado se da la absorción de nutrientes, pues aquí existen unas vellosidades pertenecientes a la membrana mucosa y es donde se absorben los nutrientes para su aprovechamiento. De allí pasan al hígado por la vena porta. Las células que recubren esta membrana mucosa son células globulares que segregan el moco que protege la membrana mucosa del ataque enzimático (Jaime, 2011)

Intestino grueso: Conformado por los ciegos que se extienden hacia el hígado, aquí se absorben los alimentos y se digiere la celulosa; el colon recto absorbe el agua y proteínas de los alimentos y en la cloaca convergen los tractos urinarios, digestivos y reproductivos. Por lo tanto las heces se eliminan juntas, siendo la materia fecal de color verdoso, frecuentemente mezclada con ácido úrico blanco que es el resultante del metabolismo proteico.

Los nutrientes son digeridos a lo largo del tracto gastrointestinal, pero absorbidos en el intestino delgado donde las microvellosidades toman los nutrientes y los transportan al torrente sanguíneo; mientras que en el intestino grueso se digieren las sustancias no digeridas por el intestino delgado (agua y mineral).

En el intestino grueso se forman las heces fecales con la fracción del alimento que no ha sido absorbido y el agua promueve la consistencia adecuada para su evacuación. La producción de heces es proporcional a la cantidad de alimento seco que consumen las aves.

2.4.1. Flora bacteriana del tracto gastrointestinal (TGI). Los órganos anteriormente nombrados tienen la principal función de adquisición y asimilación del alimento, estos funcionan como una barrera protectora contra enfermedades microbianas y virales; sin embargo también posee una flora microbiana de tipo indígena (bacterias nativas de las aves de engorde que no causan alteraciones negativas en el organismo) y otra compuesta que potencialmente pueden comportarse como patógenos (Salvador & Cruz, 2009).

La microflora intestinal tiene como función primordial descomponer las sustancias alimenticias que no fueron digeridas; estas se componen esencialmente de bacterias ácido láctica, que desdoblados los alimentos producen vitaminas de tipo complejos hidrosolubles y ácidos grasos; además si se logra mantener la estabilidad intestinal se aumenta la respuesta inmune; también hay que tener

presente que el funcionamiento óptimo de estos mecanismos pueden ser perjudicados por agentes externos y es allí donde aprovechan para accionar las bacterias prebióticas. Una manera de ayudar a los agentes externos (bacterias prebióticas) a actuar en aves es por: estrés, desequilibrios nutricionales, suministro masivo de antibióticos y sustancias que pueden perturbar el pH del intestino (Duchatel, 2005), Por ello las bacterias benéficas deben mantener baja la presencia de bacterias patógenas, pero algunas de estas son resistentes a antibióticos; las bacterias indígenas cumplen también otras funciones como estimular el sistema inmunológico, la producción de nutrientes que ayudan a recubrir el tracto digestivo, la reducción de la producción de amoniaco y las cantidades tóxicas de aminas biogénicas.

Para entender esto mejor podemos hablar en términos fisiológicos, donde se dice que existe una simbiosis entre el organismo superior y la flora microbiana indígena, el primero es el hospedador que suministra lo necesario para el crecimiento de los organismos y los últimos son simbioses que ponen a disposición del hospedador su capacidad para la síntesis de proteínas y vitaminas. Sin embargo, la pérdida de microorganismos de tipo indígena, implican espacios que pueden tomar microorganismos transeúntes, potencialmente patógenos (Aguavil, 2012).

Es importante destacar que Los agentes externos siempre estarán restringidos, gracias a que, Las bacterias benéficas siempre están en competencia con los patógenos por los sitios de adhesión y por nutrientes, es por ello que se necesita de nuevos enfoques para limitar la concentración de patógenos en el tracto gastrointestinal (Spring, 2004)

2.4.2. Factores que influyen en la salud intestinal.

Barrera física: Se forma cuando la pared de la mucosa es dañada, las células epiteliales afectadas o destruidas, el suministro vascular interrumpido o el sistema inmune comprometido.

Factores estresantes: Algunos de estos son manejo inadecuado de los pollos de engorde, mal transporte, sobrepoblación, cambios bruscos del ambiente, entre otro, afectando el equilibrio intestinal del ave

Microflora intestinal: El equilibrio en la microflora intestinal permite una óptima integridad intestinal. Las bacterias útiles (*Lactobacillus acidophilus*, *L. bulgaris*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bacillus sp*) juegan un papel importante en el control de la flora y estimulan el desarrollo de la pared intestinal.

Debido al que el TGI de los pollos de engorde está comprendido por varias bacterias, en la **Tabla 1** se hace un breve resumen de estas y en que órganos se encuentran.

Tabla 1. Diversidad bacteriana del tracto gastrointestinal (TGI) de pollos, en función de la variación del pH y el tiempo medio de retención, en minutos (TMR) de la digesta en base sólida.

INTESTINAL	CONTENIDO DIGESTIVO		BACTERIAS
	pH	TMR	
Buche	4,5	31-41	<i>Bactobacillus</i> , <i>Estreptococcus E. Coli</i> , <i>Staphylococcus</i>
Proventrículos	4,4-4,8	39	<i>Estreptococcus</i> , <i>Coliformes</i>
Molleja	2,6	33	<i>Lactobacillus</i>
Yeyuno	5,8	71-84	<i>Clostridium</i>
Íleon	6,3	90-97	<i>Coliformes</i> , <i>Eubacterium</i> , <i>Bacteroides</i> , <i>Sthaphylococcus</i> , <i>Estreptococcus</i> , <i>Lactobacillu</i>
Ciegos	5,7	119	<i>Clostridium</i> , <i>Bacteroides</i> , <i>Eubacterium</i> , <i>Fusobacterium</i> , <i>Bofudobacteria</i>

Fuente: (Choque, 2008)

2.4.3. Requerimientos nutricionales macro-minerales. Los requerimientos nutricionales de las aves que son compensados por la ingesta del alimento que ayudan al desarrollo normal de las aves de engorde son las proteínas que están presentes en el alimento, pues estas se convierten en aminoácidos en el intestino que pasan a formar parte de los tejidos de las aves. A parte de las proteínas existes los macro-minerales esenciales que son:

Calcio y fósforo: Trabajan de la mano manteniendo el sistema óseo de las aves de engorde.

Magnesio: Este se satisface automáticamente en el organismo del ave sin necesidad de un suministro adicional, tomando en consideración que una cantidad superior al 0,5% causa diarrea en las aves.

Sodio: Son esenciales para mantener homeostasis del sistema digestivo de las aves, pues garantiza el equilibrio entre consumo de agua, alimento y generación normal de desechos. Niveles excesivos de estos minerales generan mayor consumo de agua, lo que provoca mayor humedad de la cama y por el contrario niveles bajos generan deficiencia en el consumo de alimento, bajo crecimiento y modificación del pH en la sangre

2.5. ZEOLITAS EN POLLOS DE ENGORDE

Las zeolitas son escogida por sus cualidades de absorbentes y modificadores del pH tracto gastro-digestivo de las aves, favoreciendo la asimilación de una mayor proporción de proteínas, menor eliminación de amonio en heces que se convertirá en amoniaco al contacto con el aire y disminuirá la eficiencia productiva, ya que la ganancia de peso en tiempo dependerá de una mayor absorción y asimilación de proteínas.

Las zeolitas naturales y sintéticas son diferentes en sus características físicas y químicas. Una diferencia importante es la relación sílice-aluminio, la cual es aproximadamente 2.5-4:1 para zeolitas naturales y 1:1 para sintéticas. La zeolita sintética más utilizada es la lynde tipo A que tiene fórmula $Na_{12}[(AlO_2)_{12}(SiO_2)]24H_2O$ y la natural más común es la Clinoptilolita que tiene una fórmula $CaNa_4K_4[(AlO_2)_5(SiO_2)_3]24H_2O$.

La relación sílice-aluminio afecta la estabilidad de las zeolitas bajo diferentes condiciones de pH. Las zeolitas naturales son más estables que las sintéticas y no se descomponen en un ambiente ligeramente ácido, manteniendo su estructura debido a un mayor contenido de sílice, pero su estructura superficial no es homogénea así que se desaprovecha gran parte de la porosidad de la zeolita natural. Otra variable a tener en cuenta es el aluminio que puede acumularse en la tibia de los pollos alimentados con zeolita sintética (Mendéz, 2012), sin embargo no se han encontrado trabajos de investigación que confirmen esta información al estudiar contenido de aluminio en pulmones, cerebro, riñones e hígado en aves con inclusión de zeolitas en la dieta.

Las zeolitas sintéticas pueden contener contaminantes desde su manufactura, como hidróxido de sodio que es un álcali fuerte que puede causar variaciones en el pH del intestino de las aves. Se ha reportado que el sodio dentro de la molécula de la zeolita sintética tiene el mismo nivel de disponibilidad para el pollo que el que presenta el cloruro de sodio. (Mendéz, 2012)

La zeolita puede reducir los efectos adversos de los niveles altos de calcio en la dieta, esto puede sugerir que la zeolita ejerce su efecto en el pollo por intercambio iónico reversible de calcio, manteniéndolo en la forma disponible y por lo tanto mejorando la utilización mineral. Sin embargo, Leach y Edwards (1991) sugirieron que las zeolitas pueden reducir la disponibilidad de fósforo en vez de aumentar la utilización del calcio en la dieta.

Las zeolitas adicionadas tanto naturales como sintéticas pueden contener calcio, aluminio, sodio y otros elementos que pueden afectar el balance mineral, por lo tanto no es posible determinar si los cambios son producidos por la zeolita como tal o por estos elementos.

Los efectos de las zeolitas sobre la eficiencia alimenticia podrían ser debidos a una reducción en la velocidad de paso en el intestino, la inmovilización de enzimas y su influencia en la microflora del intestino. La posible mejora en la utilización de nutrientes puede ser atribuida a una reducción o redistribución de la microflora del intestino. De este modo se ha reporto que al realizar el conteo bacterial en las secciones distal y proximal del intestino fue significativamente más bajo cuando se había proporcionado una dieta con zeolita (Olver, 1997).

Las zeolitas pueden facilitar el drenaje de sangre de las vellosidades y aumentar la actividad de las células que la bordean, las cuales a su vez podrían mejorar la digestión y absorción de nutrientes. Además las zeolitas mejoran la energía metabolizable aparente y la digestión verdadera de la proteína en el tracto digestivo (buche, proventrículo, molleja, intestino delgado y grueso), así como el número, tamaño y forma de las vellosidades intestinales, además pueden traer beneficios en los órganos del metabolismo como hígado, páncreas y riñones.

3. ANTECEDENTES

Desde los primeros estudios sobre los materiales zeolíticos de tipo Na-P, se tenía la premisa de que este tipo de aluminosilicatos presentaba diferentes fases cristalinas (Nery, Mascarenhas, & Cheetham, 2003; Barrer, Baynham, Bultitude, & Meier., 1959). En el año 1959, Barrer y colaboradores reportan tres polimorfos para la zeolita tipo Na-P: cúbico, tetragonal y ortorrómbico, posteriormente estos resultados fueron discutidos por otros investigadores.

Hansen y colaboradores reportan en 1990 la zeolita Na-P de alto contenido de silicio y de fórmula química $\text{Na}_{3,6}\text{Al}_{3,6}\text{Si}_{12,4}\text{O}_{32}\cdot 14\text{H}_2\text{O}$ refinada en una celda unidad tetragonal de dimensiones $a=9,9989(4)\text{Å}$, $c=10,0697(4)\text{Å}$ y con grupo espacial $I4_1/amd$, el cuál presenta la más alta simetría posible para la familia de las estructuras análogas a la **GIS**; esta zeolita se menciona en este trabajo como la Na-P (HS) (Håkansson, Fälth, & Hansen, 1990).

Por otra parte, el material zeolítico Na-P ha sido sintetizado a partir de fuentes de silicio tales como cenizas volantes (Querol, Plana, Alastuey, & López, 1997), silicato de sodio comercial (Huo, y otros, 2012) tamo de arroz (Bohra, Kundu, & Naskar, 2014), diatomita natural (Sanhueza, Kelm, & Alfaro, 2011), diatomita modificada y vidrio de aluminosilicato, en donde generalmente se emplea aluminato de sodio como fuente de aluminio y en algunos casos se usa papel aluminio metálico sin realizarse una pre-extracción. La zeolita Na-P también fue sintetizada a partir de zeolitas naturales tales como la Clinoptilolita (Wang, Lin, & Pang, 2008); de igual manera se ha utilizado como precursor para sintetizar zeolitas tipo **ANA**, **MOR**, **PHI**, **YUG**, **HEU**, **EPI** y **BRE**. Otro método sintético empleado para la síntesis de zeolitas Na-P es el mediado por radiación de microondas, donde Sathupunya, reporta la síntesis de este material a partir de

sílice pirogénica e hidróxido de aluminio a una temperatura de 110°C y tres horas de reacción (Sathupunya, Gulari, & Wongkasemjit, 2002).

Por otra parte la zeolita Na-P presenta grandes propiedades como intercambiador iónico, siendo usada para la remoción de muchas especies iónicas en el agua incluyendo el amonio. En un estudio realizado para evaluar la selectividad de la zeolita Na-P por el ion amonio (Wang, Lin, & Pang, 2008), se encontró que el intercambio iónico del ion amonio por el sodio contenido en la zeolita es un proceso espontaneo con un ΔG de -1,4 KJ/mol a 15°C. Además del intercambio iónico, esta zeolita puede también almacenar nitrógeno en forma de sales nitrogenadas las cuales se absorben mediante el proceso de oclusión y pueden ser liberadas lentamente en el medio (Park, 2005).

Varios estudios han determinado la gran variabilidad y efectos que tienen las zeolitas en los pollos de engorde, por ejemplo Lon-wo y colaboradores en sus estudios con zeolitas llegaron a la conclusión que el material incremento el rendimiento y la productividad de los pollos de engorde, disminuyendo el costo de vida por cada ave (Lon Wo & M., 1996). Por el contrario, Willis encontró no se puede generalizar el uso de zeolita como satisfactoria, debido a que esta varia en su origen influyendo en los resultados al usarse como aditivo nutricional (Willis, Quarles., & J., 1982).

Estudios de Cuca y colaboradores encontraron que uno de los mayores factores que afectan el valor de la carne del pollo de engorde es la nutrición, la cual representa de 60-70% de los costos en la producción (Cuca, Ávila, & Pro, 1996); por otra parte Orozco y colaboradores estudiaron como se distribuía los valores de la producción de pollos de engorde, llegando a la conclusión que el 15,3% de los costos eran del pago de personal, 13,50% adquisición de los insumos (pollos) y el más alto debido a los costos de producción con un 71,20% (Orozco, Meleán, & Romero, 2004).

Lon-Wo y colaboradores utilizaron 1680 pollos con edades que varían de 7 a 50 días de nacidos, aplicando en la dieta 5% de diferentes tipos de zeolitas; concluyendo que la clinoptilolita presenta mejores resultados en el tiempo de acabado (Lon Wo, Pérez., & Gonzáles, 1987).

Calderón adicionó 10% de clinoptilolita en la dieta de las aves, mostraron un rápido crecimiento y una disminución en la cantidad y costo del alimento. Llegando a la conclusión de que debido la absorción natural de zeolitas, estas dejan moléculas de nutrientes retenida en el sistema digestivo por más tiempo y por ello hay en mejor aprovechamiento de los nutrientes (Calderón, 2004).

Acosta y colaboradores trabajaron con zeolita natural tipo Clinoptilolita, esta se suministró en la dieta en un porcentaje de 0 y 1% a pollos de engorde de 1 a 42 días de nacidos, probando en diferentes etapas de crianza de los pollos empezando con la de crecimiento (14 ó 21 días), seguida de crecimiento - finalización (30 ó 35 días). Estas pruebas no mostraron mejora en el peso vivo pero si en la conversión alimenticia, teniendo menor consumo de alimento para un mejor rendimiento en el canal y una menor deposición de grasa abdominal (Acosta, Lon Wo, & Dieppa., 2005).

Lema reporta que la inclusión de zeolita en la dieta en un 4% para pollos en la etapa final; generando incremento de peso en las aves, mejorando la conversión respecto al consumo, incrementando el tiempo de retención de alimento en el tracto gastrointestinal y aumentando el rendimiento del canal (Lema G. , 2008).

Arroyo y colaboradores utilizaron 1600 pollos de 1 a 47 días, estudiaron el efecto de la zeolita agregándola en 2,5 y 5% al alimento, con ello concluyeron que al adicionar 2,5 % hubo un mejor rendimiento del canal, y tanto en 2,5 y 5 % de zeolita hubo una disminución del consumo del alimento mejorando la conversión alimenticia en las diversas etapas de producción (Arroyo, Muñiz, & Rojas, 2002).

Lema menciona en su trabajo que la adición de zeolita natural tipo Clinoptilolita acelera el crecimiento e incrementa la conversión del peso, reduciendo el contenido de amonio en los excrementos de los animales. El realizó las pruebas en aves, añadiendo 5% de zeolita en la alimentación por un periodo de 15 días, terminado este estudio encontró que las aves aumentaron de peso, la eficiencia mejoro de un 25% a 30% respecto a la obtenida para aves de control alimentadas sin zeolita. También se observó que disminuyo la mortandad, ya que las que no consumieron zeolita fallecieron de un 5 a 10% de la población de las aves, por el contrario las que consumieron zeolita no fallecieron; una explicación a estos resultados es que la clinoptilolita actúa como punto de anclaje para las micotoxinas, absorbiendo toxinas que pueden ser nocivas para los animales, también ayudan a controlar las aflotoxinas en el pienso por lo que se reduce la mortalidad por estrés digestivo (Lema J. , 2008).

Straková y colaboradores realizaron un estudio con zeolita tipo Clinoptilolita adicionándolas en un porcentaje del 0,5, 1,5 y 2,5% a la comida, para evaluar el comportamiento productivo en la calidad de canal y deposición de calcio y fosforo en los huesos, concluyeron que al adicionar 2,5 % de la zeolita en la dieta de los pollos de engorde se ve un mejor aprovechamiento de los nutrientes, puesto que tuvieron una mejor conversión o aprovechamiento de la proteína sin presentar acumulación de minerales (Ca y P principalmente) en los huesos (Straková, Pospíšil, Suchý, Steinhauser., & Herzig., 2008).

Karamanlis y colaboradores realizaron un estudio con 5200 pollos de engorde (Broile de la línea Cobb 500) de un día de nacido, a estos se les incorporo en la dieta zeolita natural (clinoptilolita) en un 2% obtenida de Grecia, la cual poseía 88% de clinoptilolita de calcio. Se dio como suplemento alimentario para estudiar el crecimiento de las aves y la calidad de la cama; obteniéndose una tasa de crecimiento mayor en un porcentaje de 0,05% (Karamanlis, y otros, 2008).

Estudios realizados por Yacela, Mejía y colaboradores señalan que los aditivos alimenticios no son indispensables en el sentido de que no son nutrientes y por lo tanto, no forman parte esencial del organismo ni participan en procesos metabólicos, substituyendo a los nutrientes conocidos, pero a su vez son necesarios para mejorar o preservar la calidad original de los ingredientes, evitando su deterioro (Mejía, Rubio, Calatayud, Rodriguez, & Quintero, 2001) y (Yacela, y otros, 2009).

Collazo señala que los efectos de la zeolita sobre la eficiencia alimenticia podrían reducir la velocidad de paso del alimento y reducir o pre distribuir la microflora del intestino, facilitando así el drenaje de sangre de las vellosidades y aumentando la actividad de las células que las rodean, las cuales a su vez podrían mejorar la digestión y absorción de nutrientes (Collazos, 2010).

Eleroglu trabajo con zeolita natural estudiando el efecto Ca-Zeolita en los huesos y algunas variables en la sangre. Utilizó 240 pollos por un periodo de 42 días, incluyendo en la dieta zeolita en un porcentaje de 0, 1, 3 y 5%. En este trabajo se concluyó que la inclusión de Ca-Zeolita no tuvo efecto significativo sobre la concentración de glucosa, sin encontrar diferencia en las cenizas, peso específico ni contenido de Ca. (Eleroglu & Yalcin, 2012) También estudió la influencia de Ca-Zeolita natural, principalmente con Clinoptilolita y Modernita, utilizándolas como suplemento dietario en 0, 1, 3 y 5% de Ca- Zeolita, se evaluó el consumo de agua y características del canal. Este estudio no tuvo diferencia alguna al incluir diferentes porcentajes de Ca-Zeolita natural en el consumo de agua, consumo alimento y características de la canal (Eleroglu, Yalcin, & Yildirim, 2011).

Finalmente, Ramos en la inclusión de clinoptilolita natura en un porcentaje del 2,35 y 3,5 % en 108 pollos de engorde, aumento los niveles de glucosa en el suero sanguíneo. Al realizar esta inclusión no se encontró deferencias significativa en el peso de la parte seccional principal (Pernil) y la parte secundaria (Molleja y patas);

tampoco se observó una disminución en el costo del alimento consumido (Ramos, 2013).

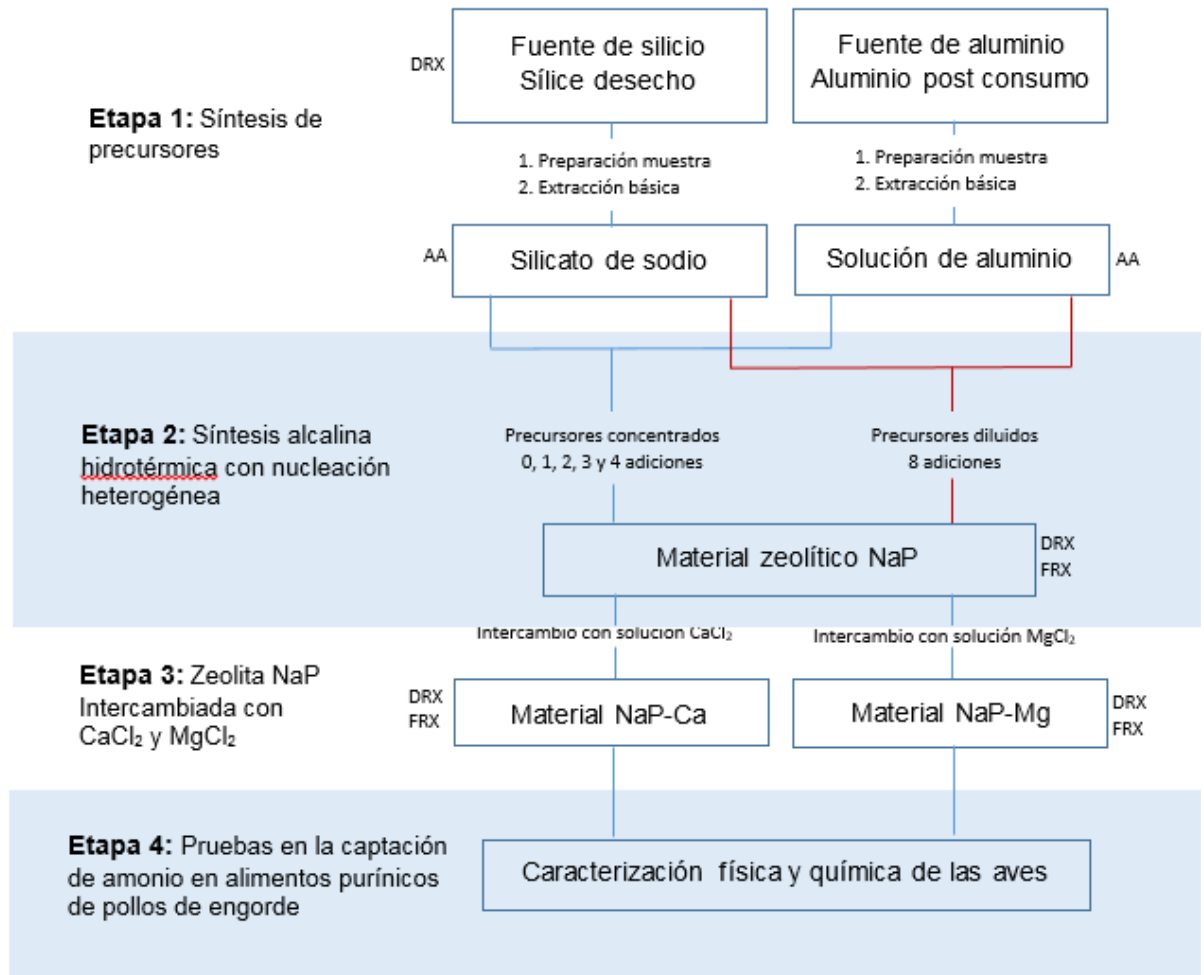
4. HIPÓTESIS

Se puede sintetizar una zeolita tipo Na-P mediante el uso de material post-consumo con una relación molar de Si/Al=1,3. Esta zeolita sintética al poseer propiedades similares a la zeolita natural, podrá ser incorporada como aditivo en la alimentación de las aves obteniéndose un efecto positivo, mejorando el aprovechamiento de los nutrientes y disminuyendo los índices de conversión alimenticia al reducir el consumo de purina.

5. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos establecidos en el presente trabajo se planteó siguiente diagrama experimental.

Figura 7. Metodología experimental general.



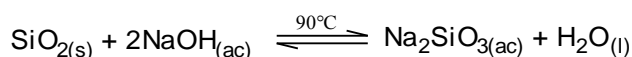
EQUIPOS UTILIZADOS

1. Los análisis semicuantitativos de **FRX** se llevaron a cabo en el laboratorio de difracción de rayos X, Universidad Industrial de Santander empleando dos equipos marca BRUKER modelos S8 TIGER.
2. Los análisis de absorción atómica se llevaron a cabo empleando un espectrómetro de absorción atómica Thermo Electrón S Series para Si y Al.

5.1. ETAPA 1: SÍNTESIS DE PRECURSORES

5.1.1. Obtención solución de silicato. La sílice post-consumo fue obtenida de laboratorios de síntesis orgánica de desechos cromatográficos. A esta se le realizó un tratamiento manual para limpiarla, retirando inicialmente contaminantes grandes tales como algodones entre otros, posteriormente se realizó un método de purificación siguiendo el protocolo Texeira y Amaya (Teixeira, Mathias, & Canela, 2003) (Amaya, 2013). Esta sílice se codificó como **SL1** y se caracterizó por **DRX**.

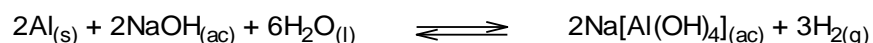
La sílice **SL1** se puso a reaccionar estequiometricamente con NaOH 3M, manteniendo una agitación constante de 750 rpm durante media hora, seguida de un calentamiento durante 3 horas. Según la reacción química que se muestra a continuación.



Reacción 1. Solubilización del óxido de silicio como silicato de sodio

Luego de transcurrida las 3 horas se filtró la solución, el filtrado fue codificado como **PSi1** y se cuantifico por **AA** para Si; el sólido del residuo se puso a secar a 90 °C por 24 horas se pesó y nombró como **SL2** para ser caracterizado por **DRX**.

5.1.2. Obtención solución de aluminio. El aluminio post-consumo obtenido de desechos de empaques de comida y laboratorios de investigación se lavó, seco y disminuyo su tamaño manualmente, a continuación se realizó una extracción básica al reaccionar estequiometricamente con NaOH 5M manteniendo agitación constante, según la **Reacción 2**; al finalizar el desprendimiento de hidrogeno el crudo se filtró, el filtrado obtenido se codificó como **PAI1** y se cuantifico la concentración de Al por **AA**, el sólido fue codificado como **AL1** para ser caracterizado por **DRX**.



Reacción 2. Solubilización de aluminio como solución de aluminato

5.2. ETAPA 2: SÍNTESIS ALCALINA HIDROTÉRMICA CON NUCLEACIÓN HETEROGÉNEA.

La síntesis fue realizada en autoclaves de teflón de 65mL, los precursores sintetizados en la **Etapa 1** se adicionaron gota a gota manteniendo agitación constante de 750 rpm y una relación molar Si/Al de 25, terminada la mezcla el crudo se agitó a 750 rpm por 30 minutos a temperatura ambiente, seguido de un proceso de maduración 24 horas a temperatura ambiente, finalmente se realizó un proceso de envejecimiento 24 horas a 90 °C .

Las condiciones anteriores se mantuvieron constantes, variando como parámetros las concentraciones de los precursores y las adiciones de aluminato.

Precursores diluidos

Se mezclaron los precursores **PSi1** y **PAI1** diluido a 50000 mg/L, se siguió la metodología de agitación, maduración y envejecimiento establecida anteriormente. En el proceso de envejecimiento se agregó cada 24 horas solución de aluminio hasta completar 8 adiciones, al finalizar las adiciones se filtró el crudo de reacción; el sólido se lavó, se secó a 90 °C y se codificó como **ZLS1**.

Precursores concentrados

La síntesis se inició adicionando los precursores concentrados de silicio (60000mg/L) y aluminio (100000mg/L) bajo agitación y manteniendo una relación Si/Al de 25. Este gel se dejó homogenizar durante 30 minutos a 750 rpm y luego se realizó un proceso de maduración a temperatura ambiente durante 24 horas. Posteriormente se realizó un proceso de envejecimiento a 90°C por 24 horas. Al término de este tiempo, se adicionó un volumen de solución de aluminio igual al empleado en la síntesis y de igual concentración, manteniendo constante la temperatura y la agitación a 750 rpm, luego se dejó agitar durante 30 minutos y posteriormente se suspendió la agitación y se procedió a continuar con el envejecimiento. Para observar el efecto que tienen las adiciones sobre el material zeolítico sintetizado, se realizó un estudio para una, dos, tres y cuatro adiciones de la solución de aluminio; las adiciones se realizaron cada 24 horas tomando como referencia el tiempo en el que inicia el envejecimiento. Finalizado el último periodo de envejecimiento para el respectivo ensayo, la reacción se detuvo y se procedió a filtrar, lavar, secar y caracterizar por **DRX**. Los sólidos obtenidos se codificaron como **ZLS2, ZLS3, ZLS4, ZLS5 Y ZLS6** para 0, 1, 2, 3 y 4 adiciones (de enriquecimiento) de aluminio.

Según los resultados obtenidos se seleccionó las condiciones de síntesis tales que formaran la fase zeolítica NaP con mejor cristalinidad y menor grado de impurezas, con el fin de replicar la síntesis en autoclaves de teflón de 1000mL, manteniendo un volumen del crudo de reacción en el autoclave de 67%.

5.3. ETAPA 3: ZEOLITA NA-P INTERCAMBIADA CON CaCl₂ y MgCl₂

En esta etapa se realizaron procesos de intercambio catiónico en el material zeolítico empleando soluciones sintéticas de CaCl₂ y MgCl₂ 0,07M, para ello se tomó 5g del sólido **ZLS1** y se mezcló con 200mL de la solución a intercambiar, manteniendo una agitación constante de 750rpm durante 2horas. Terminado el tiempo de intercambio el crudo se filtró, el sólido obtenido se lavó y se secó a 90°C.

Los sólidos se codificaron como **IL1** para el intercambio de Na-P con CaCl₂ y **IL2** para el intercambio de Na-P con MgCl₂, para posteriormente ser moturados y caracterizados por **FRX** y **DRX**.

5.4. ETAPA 4: PRUEBAS EN LA CAPTACIÓN DE AMONIO EN ALIMENTOS PURÍNICOS DE POLLOS DE ENGORDE.

5.4.1. Adición de la zeolita a la purina de los pollos de engorde. Considerando la naturaleza catiónica del material zeolítico Na⁺, Na⁺-Mg²⁺ y Na⁺-Ca²⁺ se procedió a realizar una mezcla manual en un mortero como se muestra en la **Figura 8**, manteniendo una relación purina/zeolita del 5% hasta lograr obtener una mezcla de apariencia homogénea, dichas mezclas se empacaron y se dispusieron para el alimento de los pollos de engorden, las mezclas se codificaron como **PL1** para purina (testigo), **PIL1**, **PIL2** y **PIL3** para las mezclas purina/zeolita Na⁺, Na⁺-Mg²⁺ y Na⁺-Ca²⁺ respectivamente.

Figura 8. Procedimiento de homogenización Purina/Zeolita al 5%.



Fuente: Los autores

5.4.2. Instalaciones del ensayo. El galpón se construyó en la vereda El Aguirre, Lebrija-Santander, según las características de clima y población de estudio (12 aves). Las dimensiones fueron 2m de ancho, 4m de largo y 2m de alto, internamente se dividió en cuatro áreas iguales de 2m², esto con el fin de lograr separar las cuatro poblaciones de estudio según el alimento suministrado como lo muestra la **Figura 9**. La construcción se realizó teniendo en cuenta las recomendaciones del manual de pollos de engorde para un buen manejo del lugar cumpliendo con todas las normas establecidas (Coob, 2012).

Figura 9. Instalación estudio galpón para 12 pollos de engorde.



Fuente: los autores

5.4.3. Preparación para el recibimiento de los pollos. El galpón se desinfectó 15 días antes al recibimiento de los pollos con hipoclorito de sodio al 15%, se lavaron paredes, piso, vigas, techos recipientes de comida y bebida, posteriormente se dejó secar la instalación. Luego se procedió a cubrir el piso del galpón con tamo de arroz a una altura de 4cm, se dispuso instalaciones eléctricas en cada división con bombillos amarillos de 60 Watts.

Afuera de cada división del galpón se manejó un sistema de goteo continuo para garantizar el suministro de agua; el agua se purificó con hipoclorito de sodio a una concentración de 5 ppm y sulfato de aluminio.

5.4.4. Recepción de aves. Antes de disponer las aves en el galpón se calentó previamente el mismo por dos horas, se llenaron los comederos con los 4 diferentes tipos de comida y suministros de agua. Antes de ingresar al galpón, se dividieron 3 pollos por división, estos se pesaron y marcaron para poder distinguirlos dentro del galpón (1.azul, 2.morado y 3.sin marca) como lo muestra la **Figura 10**.

Figura 10. Primer día pollos de engorde.



Fuente: Los autores

5.4.5. Crianza de las aves. Los pollos de engorde utilizados para el estudio fueron machos de 12 días de nacidos, vacunados con Newcastle y Gumboro (Coob, 2012).

Durante las 2 primeras semanas de crianza los pollos recibieron luz las 24 horas del día, siendo suministradas en el día con luz natural y durante la noche luz artificial (bombillos de 60watts), esto se hizo con el fin garantizar el calor del galpón y la constante alimentación de los pollos engorde.

Para evitar la concentración de gases nocivos se abrieron las cortinas durante el día favoreciendo la renovación del aire dentro del galpón, también se llevó un control del peso en las aves y comida consumida, siendo registrados estos valores cada 8 días.

5.4.6. Sacrificio de aves. Se pusieron las aves en ayuno 4 horas antes de la muerte, el sacrificio se realizó por corte yugular para garantizar desangrado y que los órganos internos no se hincharan. Posterior al sacrificio se recogió en tarros de orina muestras de sangre.

Luego del sacrificio los pollos se sumergieron en agua caliente para eliminar plumas y proceder a la evisceración para finalmente obtener peso del pernil y órganos internos.

5.4.7. Estudio del rendimiento de los componentes del canal. Con los cuerpos de los pollos desangrados se procedió a desplumar y cortar, tomando la parte seccional primaria (pierna y muslo), las menudencias (mollejas patas) y los intestinos el duodeno y páncreas.

La parte seccional primaria (muslo-pernil) se pesó, se retiró la carne del hueso, para ser nuevamente pesado y luego calcinado a 500°C durante 24 horas, posteriormente se molturaron y codificaron como se observa en la **Tabla 2**, los polvos de los huesos se analizaron por **DRX** y **FRX**.

Con los intestinos y menudencias se realizó una caracterización física que consistió en tomar peso y medida, para observar si hubo un cambio significativo en las características de los órganos del sistema digestivo.

Tabla 2. Codificación huesos calcinados para los diferentes tipos de alimento suministrados a los pollos de engorde.

TIPO COMIDA SUMINISTRADA	CLASIFICACIÓN POLLO	Nombre DRX y FRX	
		Ensayo 1	Ensayo 2
Purina Normal	1	HLP1	HLP13
	2	HLP2	HLP14
	3	HLP3	HLP15
Purina/zeolita Na ⁺	1	HLP4	HLP16
	2	HLP5	HLP17
	3	HLP6	HLP18
Purina/zeolita Na ⁺ - Mg ²⁺	1	HLP7	HLP19
	2	HLP8	HLP20

	3	HLP9	HLP22
Purina/zeolita Na ⁺ - Ca ²⁺	1	HLP10	HLP23
	2	HLP11	HLP24
	3	HLP12	HLP25

5.4.8. Estudio de metabolitos en suero sanguíneo. Antes del sacrificio o de los pollos de engorde se les realizó la medición de azúcar mediante un Glucómetro marca ACCU-CHEK de ROCHE **Figura 11**, esto se hizo tomando una muestra de sangre de la vena del ala derecha. La sangre recogida el día del sacrificio se le realizó un análisis semicuantitativo por **FRX**.

Figura 11. Equipo utilizado en la medición de glucosa.



Fuente: Los autores

Ensayo 1.

El tiempo de estudio del ensayo fueron 10 días, donde solo se consideraron los cambios obtenidos en los órganos principales, menudencia y pernil en relación con la comida consumida-peso ganado, se analizaron los huesos calcinados por **DRX** y **FRX**, siendo codificados como se muestra en la **Tabla 2**.

Ensayo 2

Este ensayo se realizó dos meses posterior al primer estudio, en este se consideraron todos los puntos descritos en la metodología, tomando un tiempo de crianza de 1 mes para los pollos de engorde.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Etapa 1: Síntesis De Los Precursores

6.1.1. Obtención solución de silicato. Se realizó la solubilización de **SL1** con NaOH 3M, siguiendo la **Ecuación 1**, al finalizar esta reacción se obtuvo un residuo sólido codificado como **SL2**, presentando un porcentaje de extracción del 90,1% p/p .

Mediante el programa comercial *SERCH-MATCH* se realizó el análisis cualitativo por comparación, obteniendo como única fase para el **SL1** cuarzo (SiO_2) con **PDF: 000-85-0457**, y para el **SL2**, luego del tratamiento básico se mantiene la fase de cuarzo aunque cambia su número **PDF: 85-0794**, También se observa una disminución del material amorfo después de realizar el proceso de extracción básico alrededor de 10-2Teta. Los perfiles de difracción se observan en las **Figuras 12 y 13** respectivamente.

Figura 12. Perfil de **DRX** del sólido **SL1**

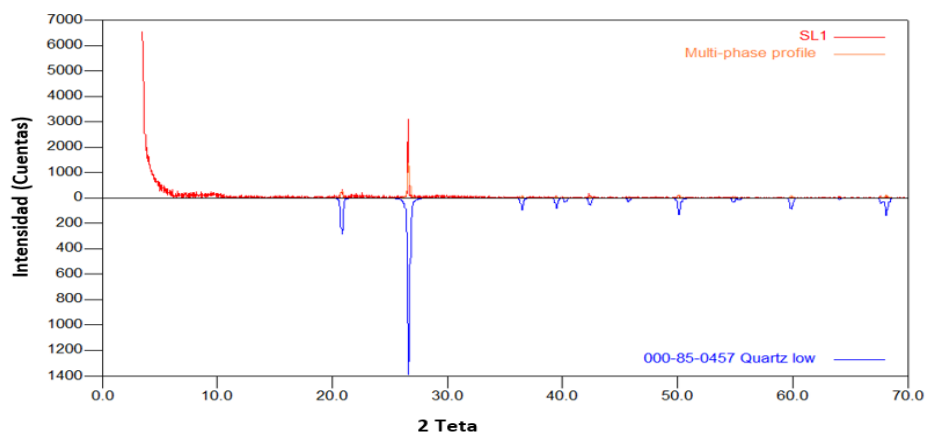
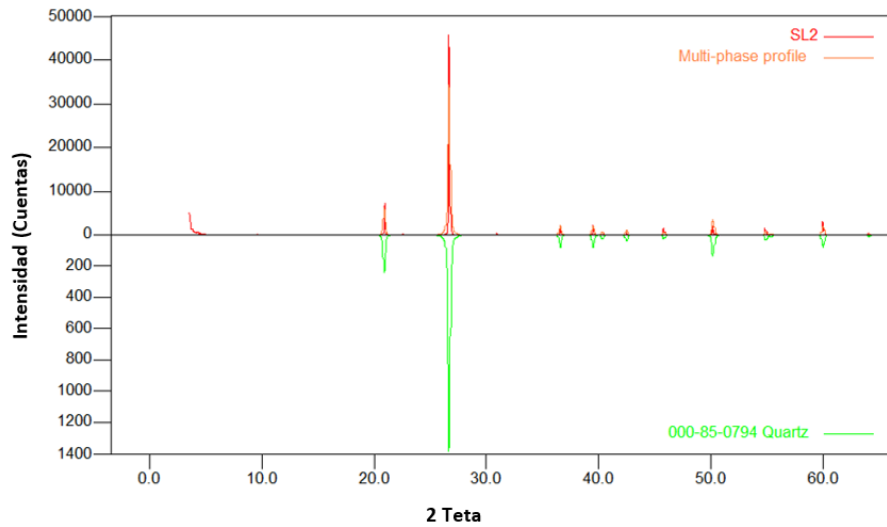
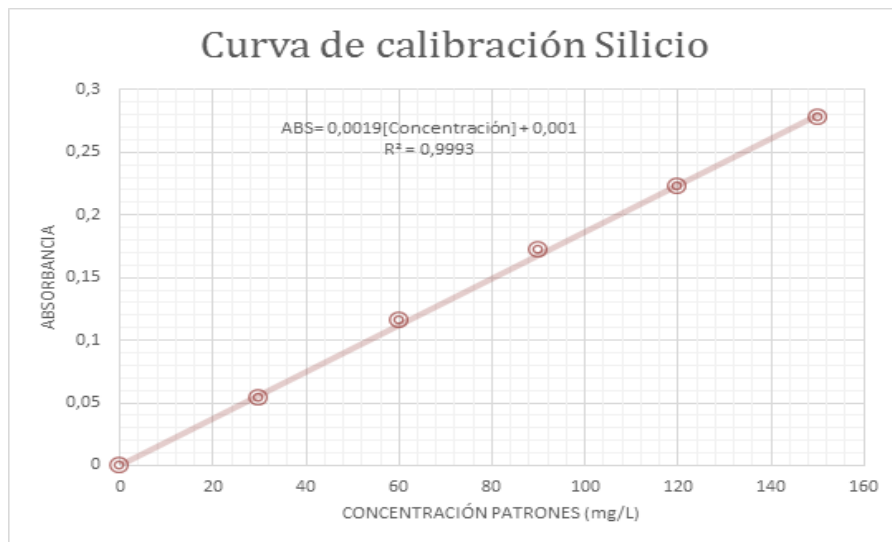


Figura 13. Perfil de **DRX** del sólido **SL2**



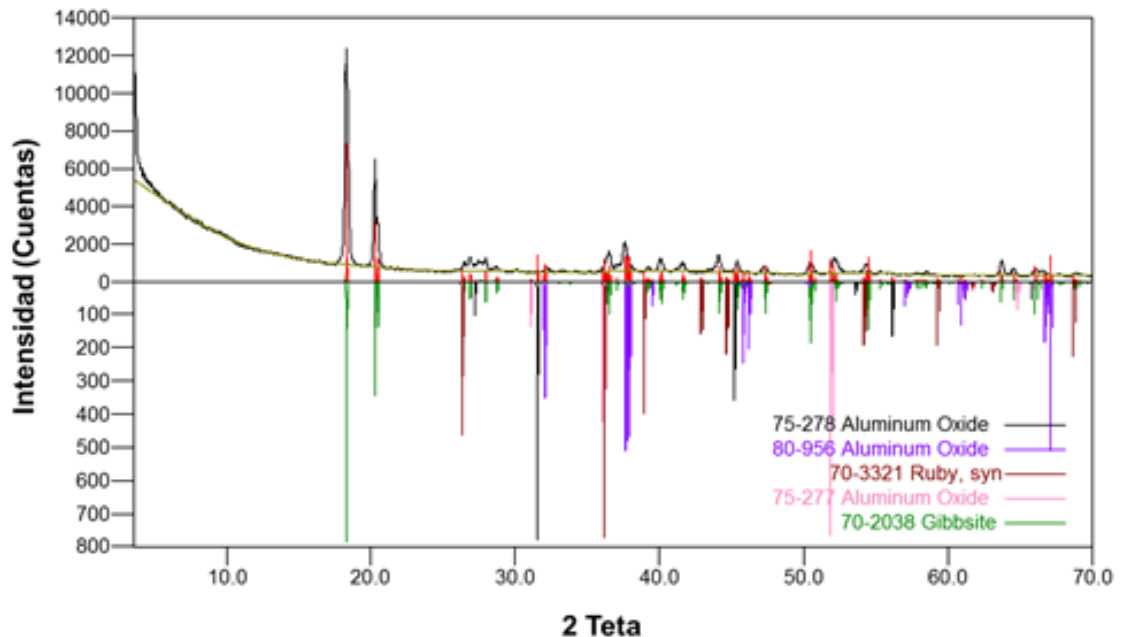
De la reacción también se obtuvo una solución de silicio solubilizado en medio acuoso; el cual se cuantificó empleando el método de absorción atómica para el silicio, realizando una curva de calibración **Figura 14**, la cual presenta un factor de correlación de $r^2=0,9993$ siendo un valor aceptable para el ajuste de la curva, por lo cual la ecuación de la recta permite determinar la concentración del silicio siendo de 40244,2083 mg/L.

Figura 14. Curva de calibración para el Silicio obtenida por Absorción Atómica



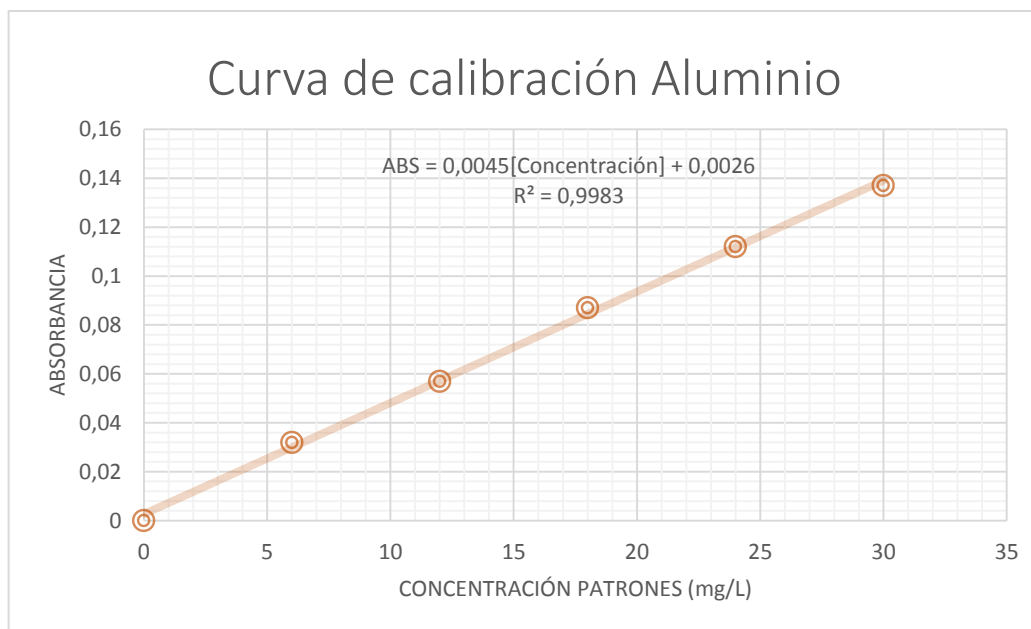
6.1.2. Obtención solución de aluminio. El aluminio post-consumo reaccionó con NaOH 5M según la **Ecuación 2**, la reacción es rápida, debido a que es una reacción exotérmica además se evidenció la liberación de H₂ generado desde la reducción del H^{δ+} del agua. Al finalizar esta reacción se obtuvo un residuo codificado como **AL1**, evidenciado un porcentaje de extracción de 82,89%, además el análisis cualitativo por el programa *SERCH-MATCH* presentando como fases óxidos de aluminio con **PDFs 75-277, 75-278, 70-3321 y 80-956** junto con la fase de *Gibbsita PDF 70-2038*, esta última se explica por el procesamiento en la producción del papel aluminio junto con los residuos que quedan luego de su uso.

Figura 15. Perfil de **DRX** del sólido **AL1**



En el filtrado se tiene una solución de aluminio solubilizado en medio acuoso; se cuantifico empleando absorción atómica para el aluminio y se realizó una curva de calibración la cual se observa en la **Figura 16**, presentando un factor de correlación de $r^2=0,9983$ siendo un valor aceptable para el ajuste de la curva, por lo cual la ecuación de la recta es utilizada para obtener como concentración 94862,076 mg/L.

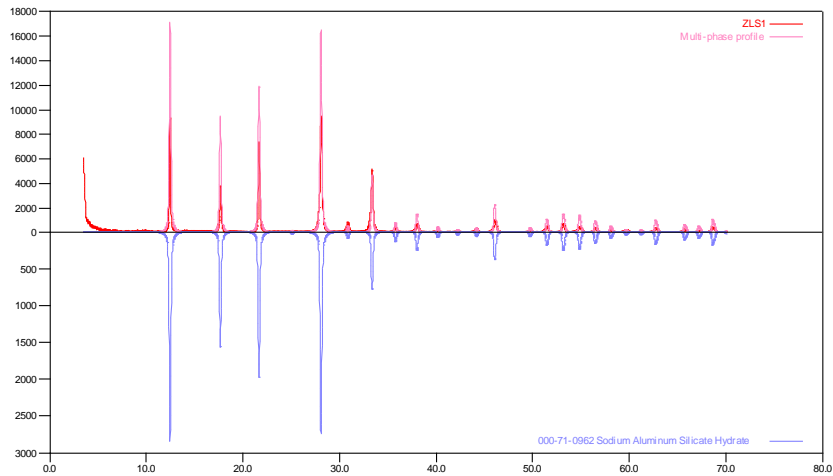
Figura 16. Curva de calibración para el Aluminio obtenida por Absorción Atómica



6.2. ETAPA 2: SÍNTESIS ALCALINA HIDROTÉRMICA CON NUCLEACIÓN HETEROGÉNEA

6.2.1. Precursores diluidos. El sólido codificado como **ZLS1** fue analizado por **DRX** y **FRX**, dando como resultado en un análisis cualitativo por comparación utilizando el programa comercial *SERCH-MATCH* una fase pura de *sodio aluminosilicato hidratado de fórmula $Na_6Al_6Si_{10}O_3(H_2O)_{12}$* y **PDF: 71-0962** como se observar en la **Figura 18**, este material presenta una relación molar *Si/Al 1,66*, grupo espacial tetragonal y constantes de celda $a=10,04300\text{Å}$ $c=10,04300\text{Å}$.

Figura 17. Perfil de DRX del sólido ZLS1.

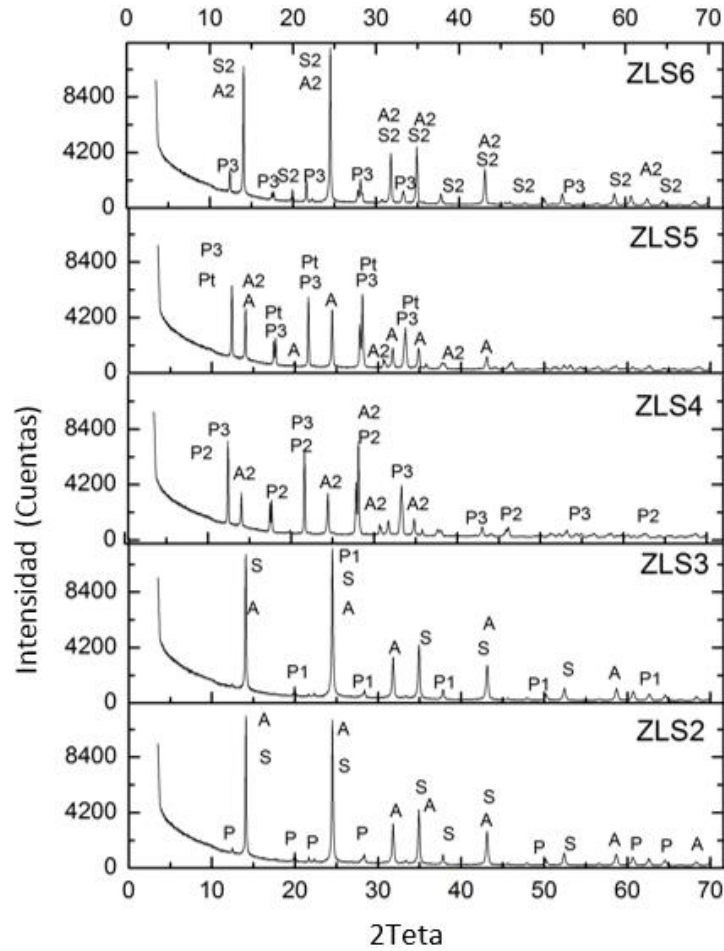


Estos resultados son congruentes con los obtenidos en estudios previos realizados en el grupo GIQUE (Amaya, 2013) donde manteniendo la relación Si/AL de 25 y realizando 4 adiciones se obtuvo un tercio de la masa de zeolita NaP al comparar con la metodología desarrollada en este trabajo.

Estos resultados indican que terminado cada envejecimiento se consume el aluminato agregado casi en su totalidad, siendo este el reactivo límite en la formación de la zeolita NaP, y dejando un exceso del silicato debido a la cantidad de volumen empleado. Un método, para consumir este silicato en exceso es realizar las adiciones de aluminato, pues se va consumiendo el silicato sin reaccionar de modo que no se altere la estructura cristalina del sólido obtenido.

6.2.2. Precursores concentrados. En esta etapa se estudió el número de adiciones agregados al crudo de reacción, obteniéndose los sólidos **ZLS2** sin adición, **ZLS3** 1 adición, **ZLS4** 2 adiciones, **ZLS5** 3 adiciones y **ZLS6** 4 adiciones, los cuales se analizaron por **DRX**, el resultado obtenido se observa en la **Figura 19** donde se identificaron las diferentes fases utilizando el programa comercial **SEARCH MATCH**, las cuales se correlacionan en la **Tabla 3**.

Figura 18. Comparación DRX de las muestras ZLS2, ZLS3, ZLS4, ZLS5 y ZLS6.



Fuente: Los Autores.

Tabla 3. Relación Letras de la **Figura 19** con el tipo de zeolita.

LETRA IMAGEN	FÓRMULA	PDF	RELACIÓN SI/AL
A	$\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{OH})_2 4\text{H}_2\text{O}$	000-41-0009	1
A1	$\text{Na}_6(\text{AlSiO}_4)_6 8\text{H}_2\text{O}$	000-40-0102	1
A2	$\text{Na}_8\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_2$	000-71-0962	1
S	$\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})$	000-76-1639	1
S2	$\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$	000-11-0401	1
P	$\text{Na}_{3,552}(\text{Al}_{3,6}\text{Si}_{12,4}\text{O}_{32})(\text{H}_2\text{O})_{10,656}$	000-80-0699	3,4
P1	$\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32} 12\text{H}_2\text{O}$	000-39-0219	1,6
P2	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_8\text{O}_{32})(\text{H}_2\text{O})_{15,17}$	000-89-6322	1
P3	$\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}(\text{H}_2\text{O})_{12}$	000-71-0962	1,6

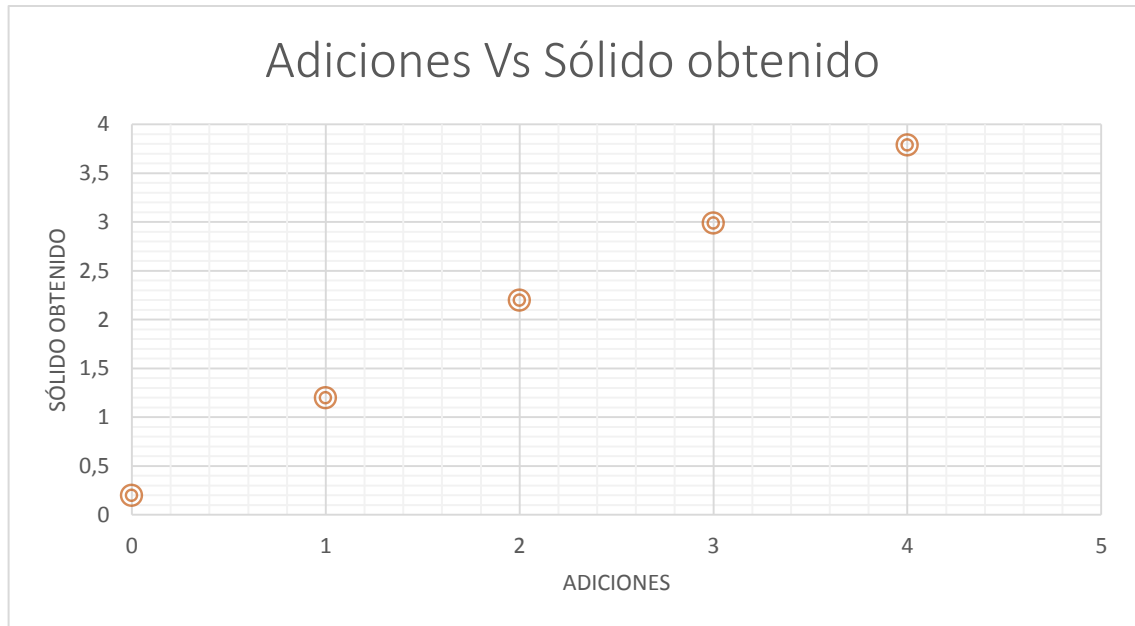
En la **Figura 19** se observa que a medida que aumentan las adiciones no se logra estabilizar una única fase; por el contrario comienza una dinámica de formación-transformación de varios tipos de fases zeolíticas tipo Na-P (P), Sodalita (S) e hidroxiluminosilicatos hidratados (A) de diferente relación molar Si/Al, además la cristalinidad de estas fases zeolíticas disminuyen a medida que aumentan las adiciones.

Por otra parte se observa que la cantidad de sólido obtenido está relacionada directamente con el aumento de las adiciones comprobando que se trata de una síntesis hidrotérmica heterogénea como se observa en la **Tabla 4**, siendo efectivamente el aluminato el reactivo límite de la reacción, pues aun variando la concentración de los precursores la cantidad de sólido obtenido crece linealmente como se observa en la **Figura 20**, este hecho concuerda con los resultados obtenidos por Amaya al realizar 4 adiciones de aluminato (Amaya, 2013).

Tabla 4. Cantidad de sólido obtenido para la síntesis con precursores concentrados.

Adiciones	Sólido Obtenido
0	0,20
1	1,20
2	2,32
3	2,99
4	3,79

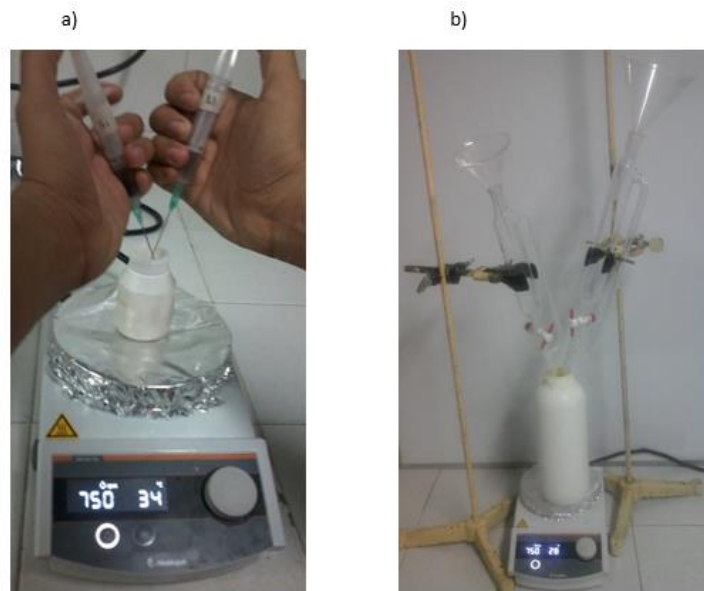
Figura 19. Relación lineal del sólido obtenido entra más adiciones de aluminato.



Con los resultados de precursores concentrados y diluidos se puede concluir que la fase de zeolita NaP se mantiene estable en la que se utilizan precursores diluidos, ya que se obtiene un solo tipo de fase libre de impurezas de otra clase de átomos diferentes de Si, H, O, AL y Na, presentando buena cristalinidad al igual que masa de sólido obtenido; en cambio en la síntesis de precursores concentrados se observan que no se forma una única fase cristalina y que el grado de cristalinidad disminuye presentando mejores resultados en 0 y 1 adición de aluminato, dicha síntesis no es factible por la poca cantidad de sólido obtenido.

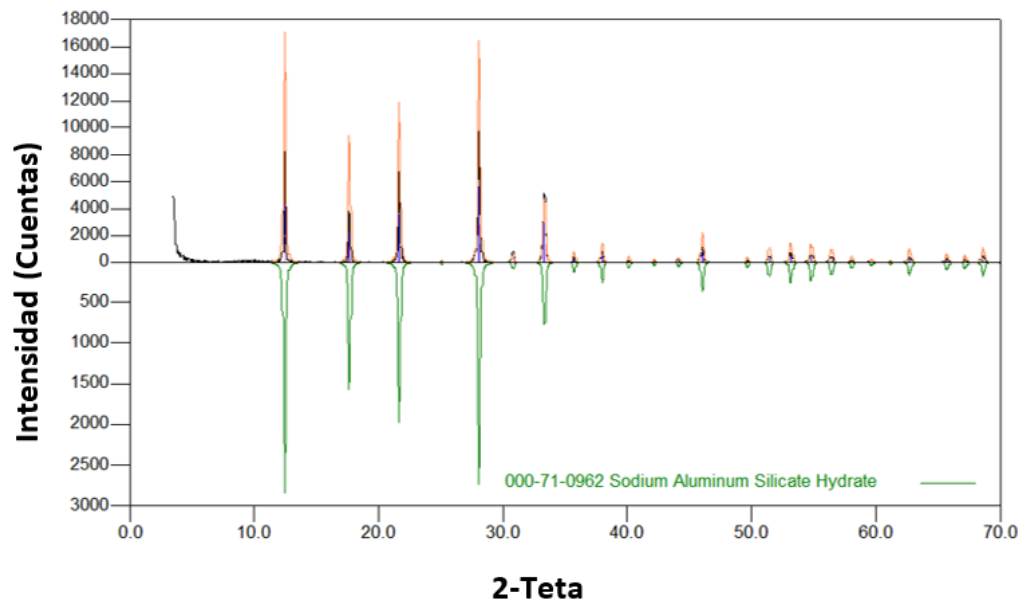
Una vez establecidas las condiciones se realizó la síntesis en autoclaves de mayor volumen **Figura 21**, manteniendo un relación crudo volumen de autoclave de 63,3%, obteniendo como resultado el sólido con código **ZLS7** el cual se analizó por **DRX**, el perfil obtenido se observa en la **Figura 22** donde se identificó una única fase utilizando el programa SEARCH MATCH

Figura 20. Montaje síntesis para a) Autoclaves de teflón de 65mL b) autoclaves de teflón de 1000mL.



Fuente: Los autores

Figura 21. Perfil DRX síntesis hidrotérmica de precursores diluidos en autoclaves de 1000mL



Como se puede observar en la **Figura 22**, la cristalinidad del material es buena ya que mantiene una fase pura de sodio aluminio silicato hidratado de fórmula $\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_3(\text{H}_2\text{O})_{12}$ y **PDF**: 71-0962, de relación molar Si/Al 1,66, grupo espacial tetragonal y constantes de celda $a=10,04300\text{Å}$ $c=10,04300\text{Å}$, exactamente igual a de la **Figura 17** de autoclaves de 65 mL, a este sólido se le realizó un análisis semicuantitativo por **FRX** cuyos resultados se presentan en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Resultados análisis elemental por **FRX** síntesis autoclave de 1000mL.

Elemento	Concentración (%)	Óxido	Concentración (%)
Si	17,95	SiO ₂	38,24
Al	13,16	Al ₂ O ₃	24,86
Na	11,65	Na ₂ O	15,71
K	0,063	K ₂ O	0,079
Ca	0,063	CaO	0,0237
Fe	0,063	TiO ₂	0,0158
Ti	0,063	Fe ₂ O ₃	0,0237
Cl	0,0079	Cl	0,0079
Si/Al	1,3	H ₂ O	21,13

Según los datos de **FRX** la relación molar Si/Al es baja, por lo que no se puede traar de una NaP_t de alta relación molar Si/Al=3,4 y geometría tetragonal, si se observa el **PDF** de esta fase posee constantes de celda $a = b = 10,043 \text{ Å}$ y grupo espacial $I\bar{4}$, esto es contrario al polimorfo refinado y caracterizada por *Hansen* que posee constantes de celda de $a=10 \text{ Å}$ y $c=10,7 \text{ Å}$ y *grupo espacial* $I4_1/am$ (Hansen, Hakansson, Landa, & Fäilth, 1993), ya que esto no coincide con la literatura se indexó la fase para conocer los parámetros de celda de la zeolita NaP sintetizada, los resultados obtenidos de este proceso se observan en la **Tabla 6**, estos resultados son más coherentes a los esperado de la zeolita NaP.

Tabla 6. Resultados indexado Zeolita NaP.

Parámetros	ZLS7
Sistema cristalino	Cúbico
Constantes(Å)	A=10.063
Volumen(Å ³)	1013.9(2)
Grupo espacial	I-43M
Líneas indexadas	26
M(20)	127.0
F	97,6

Una vez determinados los parámetros de síntesis se procedió a sintetizar en mayor masa el material zeolítico NaP.

6.3. Etapa 3: ZEOLITA Na-P INTERCAMBIADA CON CaCl₂ y MgCl₂

Luego de realizar los procesos de intercambio en la zeolita NaP empleando las soluciones sintéticas de CaCl₂ y MgCl₂ se obtuvieron los sólidos **IL1**, **IL2**, cuyos perfiles experimentales se observan en la **Figura 23** y cuyas fases identificadas se registran en la **Tabla 7**.

Figura 22. Perfiles DRX **IL1, IL2 Y ZLS1**.

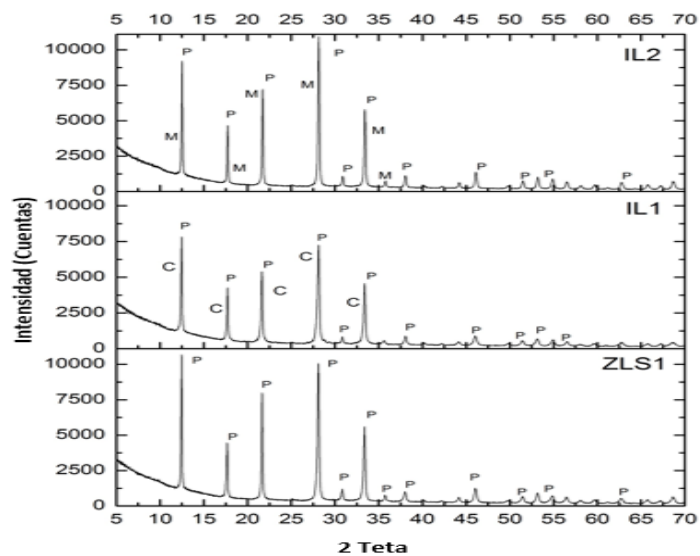


Tabla 7. Relación Letras de la **Figura 22** con el tipo de fase cristalina.

Simbolo	Fórmula	PDF
P	$\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_3(\text{H}_2\text{O})_{12}$	71-0962
C	$(\text{Ca}_3\text{Al}_6\text{Si}_9\text{O}_{30})^*15\text{H}_2\text{O}$	51-1499
M	$(\text{Mg}_{2.85}\text{Al}_{5.7}\text{Si}_{10.3}\text{O}_{32})^*14\text{H}_2\text{O}$	16-0604

En los perfiles se observa que después de realizar el proceso de intercambio no se presentan cambios en la estructura del material **Figuras 23**, este hecho me indica que sin importar el catión con el cual se haya realizado el intercambiado, la zeolita P siempre mantiene su misma fase cristalina *sodio alumino silicato hidratado*. Al realizar el intercambio con CaCl_2 se observa una nueva fase cristalina correspondiente a Garronite Calcian, **PDF 51-1499** cuya fórmula es $(\text{Ca}_3\text{Al}_6\text{Si}_9\text{O}_{30})^*15\text{H}_2\text{O}$, grupo espacial tetragonal y constantes de celda $a=9,958\text{Å}$ $c=10,386\text{Å}$, para el intercambio con MgCl_2 se observa que la nueva fase cristalina correspondiente a alumino silicato de magnesio **PDF 16-0604** y cuya fórmula es $(\text{Mg}_{2.85}\text{Al}_{5.7}\text{Si}_{10.3}\text{O}_{32})^*14\text{H}_2\text{O}$, grupo espacial cubico y constante de celda $a=9,996\text{Å}$. Esto indica que efectivamente se realizó el intercambiando sodio-calcio, y sodio-magnesio, confirmándose al realizar un análisis semicuantitativo de **FRX**, los resultados se observan en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Análisis Químico **FRX IL1** y **IL2**.

Elemento	Concentración (%)		Óxido	Concentración (%)	
	IL1	IL2		IL1	IL2
Si	19,37	19,10	SiO₂	41,44	40,86
Al	13,34	13,75	Al₂O₃	25,19	25,98
Na	9,64	11,31	Na₂O	13,01	15,24
Mg	-----	0,46	MgO	-----	0,76
K	0,05	0,025	K₂O	0,058	0,033
Ca	2,30	0,017	CaO	3,20	0,025
Fe	0,016	0,017	Fe₂O₃	0,025	0,016
Ti	0,016	0,017	TiO	0,025	0,016
Cl	0,008	0,017	Cl	0,008	0,016
Si/Al	1,34	1,37	H₂O	17,044	17,05

Con los valores de **FRX** de la **Tabla 8** se determinó el porcentaje de intercambio de calcio y magnesio en el material y las moles fijadas por gramo de zeolita, estos valores se presentan en la **Tabla 9** se intercambió.

Tabla 9. Porcentaje de cationes retirados de la solución y moles fijadas en la zeolita de Ca^{2+} y Mg^{2+} .

Código	% intercambio	Moles fijadas por 1 g de zeolita
IL1	66,5	$3,78 \cdot 10^{-4}$
IL2	9,61	$1,12 \cdot 10^{-3}$

Se puede establecer que las zeolitas P sintetizada presentan mayor capacidad de intercambio para el catión Ca (II) que para el catión Mg (II) tal como se muestra en la **Tabla 9**, esto es concordante con los resultados de Avendaño, esta capacidad se puede explicar mediante el proceso en el cual los iones que se encuentran originalmente ocupando los sitios catiónicos de la zeolita son desplazados por los intercambiables, Según Carland y Aplan las zeolitas poseen afinidad por los cationes alcalinos y alcalinotérreos siguiendo la secuencia $\text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} \gg \text{Mg}^{2+}$ (Avendaño, 2011).

6.4. ETAPA 4: PRUEBAS EN LA CAPTACIÓN DE AMONIO EN ALIMENTOS PURÍNICOS EN POLLOS DE ENGORDE POLLOS.

6.4.1. Adición de la zeolita a la purina. En total se utilizó 30Kg de purina marca *Italco* distribuido en los cuatro estudios, Purina sola (testigo) y Zeolita/purina al 5% de Na^+ , $\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}$ y $\text{Na}^+-\text{Mg}^{2+}$. A cada una de estas comidas se les realizó análisis de **DRX** y **FRX** luego de la homogenización de las mezclas estas fueron codificadas como **PL1**, **PIL1**, **PIL2** y **PIL3**, los resultados se muestran en la **Figura 24** y **Tabla 10**.

Figura 23. Perfiles DRX purina marca Italco, sin zeolita, con zeolita Na, Ca y Mg.

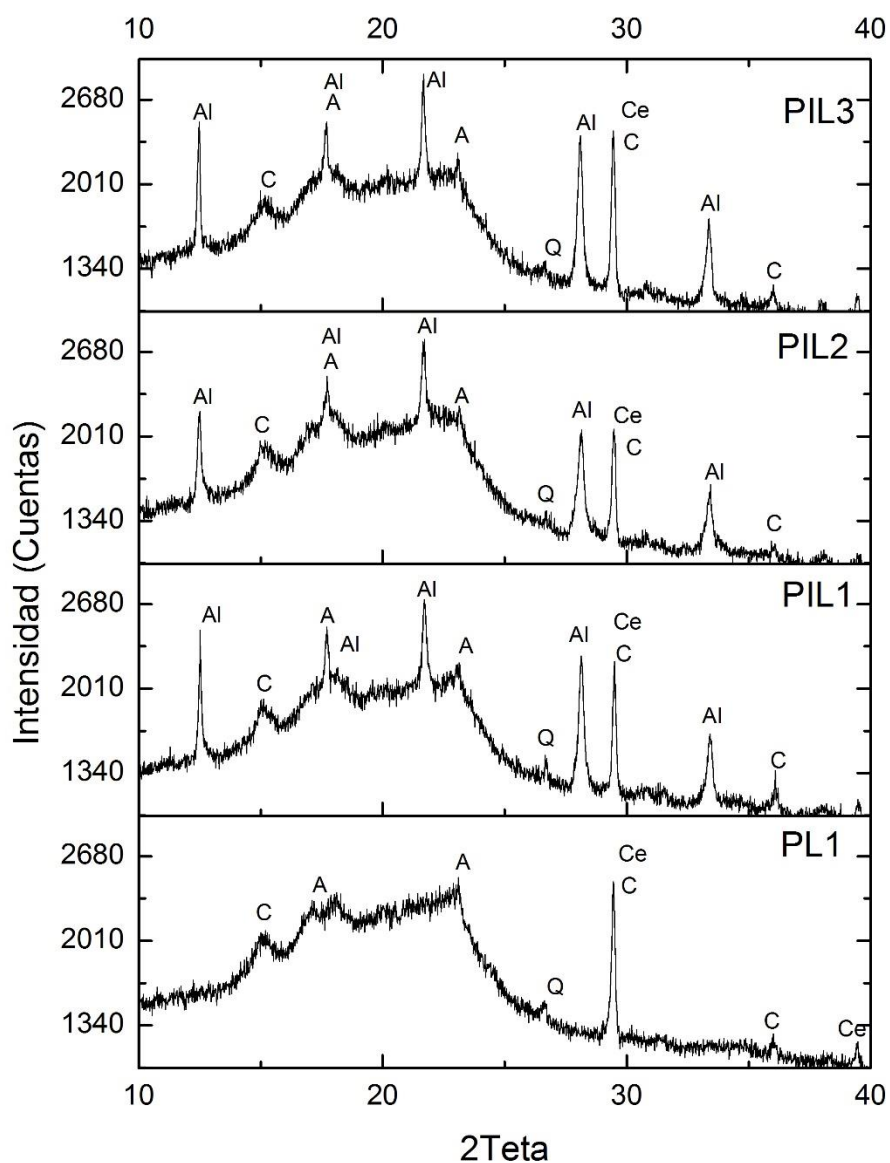


Tabla 10. Relación símbolo de la **Figura 23** con la fase cristalina.

Código	Fase	PDF	Nombre
C	CaCO ₃	72-1652	Calcita
Q	SiO ₂	85-0794	Cuarzo
Al	Na ₆ Al ₆ Si ₁₀ O ₃₂ (H ₂ O) ₁₂	71-0962	Zeolita P
A	(C ₆ H ₈ O ₄) _n	43-1858	Amilosa
Ce	(C ₆ H ₁₂ O ₆) _x	03-0289	Celulosa

Tabla 11. Análisis cualitativo por FRX de **PL1, PIL1, PIL2 y PIL3.**

Elementos	Concentración (%)			
	PL1	IPL1	IPL2	IPL3
Na ₂ O	0,43	1,61	1,42	1,80
CaO	1,53	1,50	1,55	1,53
P ₂ O ₅	1,35	1,12	1,15	1,17
K ₂ O	0,59	0,47	0,47	0,47
MgO	0,56	0,52	0,50	0,52
SiO ₂	0,27	1,76	1,74	1,80
Al ₂ O ₃	0,10	1,45	1,34	1,45
L.O.I	94,93	91,33	91,58	90,99

En la **Figura 24** se puede observar que para los 4 perfiles de **DRX** no varían las fases cristalina características de la purina marca *italco*, luego de agregar cualquiera de los tres tratamientos zeolíticos aparece una nueva fase cristalina perteneciente a zeolita NaP, sin ser reconocidas las fases de los intercambios de calcio y magnesio lo que corroborando que el intercambio no fue eficiente, pero aun así si se logró incorporar el catión deseado cierto porcentaje. La **Tabla 10**, confirma lo expuesto, ya que se observa un aumento de la proporción los óxidos de sodio y silicio sin tener variación en los de calcio y magnesio.

6.4.2. Estudio del rendimiento de los componentes del canal

PESO GANADO Y COMIDA CONSUMIDA

Considerando que se trabajaron 4 grupos de estudio, variando la composición del alimento suministrado, en esta etapa se estudió la cantidad de comida consumida respecto al peso ganado durante el tiempo de crianza, los resultados para el primer ensayo se presentan en las **Tabla 12**.

Tabla 12. Resultados control peso aves primer ensayo.

Tipo de Zeolita		Peso inicial pollo (g)	Peso final Pollos (g)	Total comida Consumida (g)	Diferencia Peso Final-Inicial (g)	Promedio peso Ganado
Na	1	260	365	706	105	70,6
	2	219	277		58	
	3	269	318		49	
Na-Ca	1	287	319	875	32	77,33
	2	269	307		38	
	3	259	421		162	
Na-Mg	1	280	312	1200	32	63,33
	2	298	404		106	
	3	265	317		52	
Purina	1	280	381	1475	101	98
	2	297	415		118	
	3	287	362		75	

Si se observan los datos de la **Tabla 12**, la comida consumida por los pollos en el tratamiento Purina/Zeolita-Na es menor que la mitad de lo que consumieron los pollos testigo (purina), aunque si se compara el peso promedio ganado por pollo para Purina/Zeolita-Na este posee 27,4 g menos que la Testigo (Purina). Sin embargo, este no sería un parámetro confiable de comparación, ya que la ganancia de peso de los pollos no fue homogéneo para cada ensayo, lo que no da una media confiable, en cambio, si se compara el pollo más pesado por estudio se logra concluir que se obtienen una mayor ganancia por peso vivo de pollo para purina/Zeolita-Ca con un peso de 162g en comparación con el testigo siendo este valor 118g; con estos datos no se logra concluir cual fue el mejor estudio, por lo cual se introduce otra forma de comparación mediante el cálculo de índice de conversión alimenticia **Tabla 12**, acá se hace evidente que para la alimentación que poseía los cationes Na^+ - Ca^{2+} y Na^+ este valor se reduce a la mitad en comparación con el testigo, lo que indica un mejor aprovechamiento de los nutrientes; con ello se corrobora que Na^+ - Ca^{2+} y Na^+ fueron los que tuvieron un menor consumo de alimento y mejor conversión alimenticia.

Tabla 13. Comportamiento productivo pollos de engorde alimentados con diferentes tipos de Cationes-Zeolita para el primer ensayo.

variable	Na ⁺	Na ⁺ -Ca ²⁺	Na ⁺ -Mg ²⁺	Purina sola
Incremento peso (g)	70,6	77,33	63,33	98
Consumo purina marca Italco (g)	706	875	1200	1475
Índice de Conversión alimento	6,72	5,401	11,32	12,5

Con base en los resultados obtenidos en el primer ensayo, se procedió a realizar un segundo estudio el cual tuvo una duración de 20 días, los resultados obtenidos se observan en la **Tabla 13**.

Tabla 14. Resultados control peso aves segundo ensayo.

Tipo de Zeolita		Peso inicial pollo (g)	Peso final Pollos (g)	Total comida Consumida (g)	Diferencia Peso Final- Inicial (g)	Promedio peso Ganado
Na	1	86	265	3808	179	265,33
	2	151	527		376	
	3	120	361		241	
Na-Ca	1	115	225	3416	110	122,67
	2	93	221		128	
	3	95	225		130	
Na-Mg	1	174	492	3920	318	257,33
	2	102	384		282	
	3	99	271		172	
Purina	1	81	401	4816	320	341,66
	2	154	592		438	
	3	128	395		267	

En este estudio se da por terminada la fase de levante de los pollos de engorde; observando que el consumo de alimento aumenta para las pruebas de Purina/Zeolita, pero, aun así sigue siendo menor al ser comparada con la prueba testigo (Purina) como se muestra en la **Tabla 14**, resultando un menor consumo

de alimento para Purina/Zeolita-Na-Ca, aunque el efecto promedio peso ganado no es bueno, por otra parte se observa el índice de conversión alimenticia en la **Tabla 14**, donde se concluye que este valor es menor para el estudio Purina/Zeolita-Na, por otra parte, para calcio aumenta drásticamente comparado con el estudio de la **Tabla 12**; pero en la prueba testigo disminuye a 11 en contraste de 10 para sodio, lo que indica que tanto para el estudio de 10 días como para la fase final de levante 20 días, el alimento Purina/zeolita-Na es el que brinda mejores índices de conversión de alimento disminuyendo el consumo de comida significativamente.

Tabla 15. Comportamiento productivo pollos de engorde alimentados con diferentes tipos de Cationes-Zeolita para el segundo ensayo.

variable	Na	Na ⁺ -Ca ²⁺	Na ⁺ -Mg ²⁺	Purina sola
Incremento peso (g)	265,33	122,67	257,33	341,66
Consumo purina maraca Itlaco (g)	3808	3416	3920	4816
Índice de Conversión alimento	10,05	26,27	22,79	11,00

Estos resultados contrastan con los encontrados por Prvuloviae y colaboradores en donde trabajan con 300 pollos de engorda agregando a la alimentación 5% de zeolita (Clinoptilolita), en los que el efecto sobre la ganancia de peso y conversión alimenticia no fue significativa (Prvuloviae, Kosareiae, Popoviae, & Gordana, 2008).

Por otra parte en otros trabajo ya se ha mencionado que al agregar zeolita a la dieta se mejora el comportamiento productivo luego de trabajar con un suplemento de zeolita (Clinoptilolita) de 0,5%, 1,5% y 2,5% en el alimento, para pollos de engorda del tipo híbrido Ross 308 de 1 a 40 días de edad; observando mayores pesos para los pollos de engorda que reciben en su alimentación este aditivo (Strakova, Pospisil, Suchy, Steinhauser, & Herzig, 2008). Estos datos concuerdan

con nuestros estudios realizados, ya que se observó un aumento de peso a menor consumo de alimento; por otra parte Alvear y colaboradores en su estudio logran mejorar el aprovechamiento del alimento, obteniéndose buenos niveles de conversión alimenticia para dietas mezcladas con 4% de zeolita (Clinoptilolita) y un mejor rendimiento económico en dietas mezcladas con 6% de zeolita, aun así no se logra estandarizar estos resultados con un solo porcentaje de zeolita obteniendo buenos índices de conversión alimenticia y mejor rendimiento económico (Alvear, Quilambaqui, Álvarez, & Rodríguez, 2005).

Comparando los índices de conversión alimenticia en estudios realizados por Chalacán y Cervantes en los que se reportan que al aumentar el porcentaje de zeolita natural disminuye el índice de conversión alimenticia, podemos decir que los estudios con zeolita sintética mejoran estos índices, logrando un menor consumo de alimentación (Chalacán, 2001) (Cervantes, 2005).

Willis y colaboradores generalizan que el uso de zeolitas naturales no es satisfactorio debido a que este varía según su origen, influyendo en los resultados al ser utilizadas como aditivo nutricional, en cambio una zeolita sintética tiene la ventaja de poseer una mayor superficie específica libre de impurezas y sin obstrucción de los canales, logrando un mayor intercambio catiónico ante las naturales (Willis, Quarles., & J., 1982), este hecho puede corroborarse ya que el estudio evidencia que el uso de zeolitas sintéticas en la dieta logra un menor consumo de comida, con un mejor índice de conversión alimenticia; indicando que se disminuye el costo en la producción del pollo de engorde ya que la nutrición tiene aproximadamente un gasto en alimentación del 60 a 70% (Cuca, Ávila, & Pro, 1996).

Lon-Wo reporta que al trabajar con zeolitas clinoptilolita como aditivo alimenticio al 5% se obtiene una disminución de consumo de alimento de 100g por ave y una conversión alimenticia de 22,27 para un estudio de 42 días, resultados parecidos a

los obtenidos con la diferencia que en este estudio el consumo disminuye en 760g y la conversión alimenticia mejora a 10,05, Lon-Wo, en su estudio trata de dar una explicación de porqué se da este hecho, mencionando que el uso de zeolitas permite obtener una mayor eficiencia metabólica y menor excreción de nitrógeno (Lon-Wo, 2003). Además, la zeolita disminuye la velocidad de tránsito del alimento dentro del tracto gastrointestinal en el intestino delgado; ayudando a la inmovilización de enzimas e influyendo en la microflora del intestino; Olver indica que al realizar un conteo bacterial en la sección distal y proximal del intestino se encuentra un menor número de bacterias indígenas cuando no se proporciona una dieta con zeolita a las aves; esto indica el favoreciendo de la asimilación de las proteínas, alterando el pH intestinal y crecimiento de bacterias que capturan el nitrógeno, por lo que es justificable el aumento de peso de las aves al tener mejor aprovechamiento del alimento (Olver, 1997).

Otra posibles explicaciones a esto hecho, es que la zeolita P tiene una mayor afinidad por el amonio que por el ion sodio, calcio o magnesio, por lo que la zeolita podría ser un reservorio de nitrógeno en el sistema digestivo del pollo de engorde, produciendo a su vez que los iones amonio liberados en la ingesta del alimento sean mejor aprovechados para la elaboración de las proteínas que el animal necesita.

RENDIMIENTO DEL CANAL (PERNIL), MENUENCIAS Y ÓRGANOS

Luego de ser sacrificados y desplumados los pollos se tomaron las medidas de patas, picos y órganos, esto con el fin de realizar una caracterización física y poder observar alguna anomalía en las partes del pollo que se escogieron para el análisis, los resultados se observan en la **Tabla 15 y 16**.

RESULTADOS PRIMER ENSAYO

Tabla 16. Medidas pico, patas y pernil del pollo para los 4 diferentes estudios primer ensayo.

Tipo de Comida	Medida pico (cm)	Medida Pernil (cm)	Peso Pernil (g)	Peso Cenizas Hueso Pernil (g)	Peso Pata (g)	Peso Cenizas Pata (g)
Na	3,0	9,5	11,81	0,5	7,73	0,37
	3,0	9,5	7,84	0,78	10,23	0,47
	3,5	9,5	9,15	0,62	8,3	0,35
Na-Ca	3,0	9,0	8,13	0,58	11,09	0,54
	3,0	9,5	9,18	0,63	10,61	0,56
	3,0	9,5	9,88	0,51	5,9	0,25
Na-Mg	3,0	10,0	6,72	0,55	10,64	0,47
	3,2	10,0	7,74	0,67	8,77	0,32
	3,2	10,0	8,61	0,56	9,72	0,38
Purina	3,0	10,0	9,96	0,83	10,58	0,43
	3,0	10,5	8,47	0,73	10,06	0,42
	3,2	10,0	10,67	0,85	9,28	0,36

RESULTADOS SEGUNDO ENSAYO

Tabla 17. Medidas pico, patas y pernil del pollo para los 4 diferentes estudios segundo ensayo

Tipo de Comida		Peso Pernil+Pata (g)	Peso Pernil (g)	Promedio Peso Pernil (g)	Peso Hueso Pernil (g)	Peso Cenizas Huesos Pernil (g)	Peso Pata (g)
Na	1	46	36	35,66	11,54	0,65	10
	2	28	22		9,14	0,51	6
	3	60	49		15,37	0,91	11
Na-Ca	1	45	35	36	9,7	0,70	10
	2	48	36		10,13	0,71	12
	3	51	36		11,2	0,74	12
Na-Mg	1	60	49	35,66	9,18	0,79	11
	2	43	34		9,11	0,62	9
	3	32	24		6,7	0,6	12
Purina	1	56	44	44,33	15,54	0,94	12
	2	71	50		15,67	1,19	15
	3	44	33		13,33	0,79	11

Como se puede observar en la **Tabla 16**, no se observa diferencia alguna entre las medidas de pico, pernil, peso patas y cenizas de las mismas, siendo estos valores prácticamente homogéneos para los 4 estudios; por consiguiente no se realiza la toma de datos de estas partes seccionales del pollo para el estudio de la fase final de levante, en cambio los valores del peso de los estudios del pernil no presentan una homogeneidad concluyente, lo que se vuelve a reflejar en el segundo estudio, cabe destacar que los pesos difieren entre la **Tablas 16 y 17**, esto es congruente ya que el consumo del alimento aumentó más del doble; con estos resultados no se logra determinar cuál estudio fue más eficiente en cuanto a la producción de carne, ya que los pesos son similares si se compara el pollo más pesado en cada estudio, lo que indica que aunque el consumo de purina es menor hay un mejor aprovechamiento de los nutrientes siendo estos mejor absorbidos en el intestino delgado.

Ya que en las observaciones físicas antes mencionadas no se logra determinar diferencia alguna en la ganancia de peso del pernil ni en las cenizas, se realiza un análisis químico, mediante **DRX** para el estudio de 10 y 20 días, este análisis no arroja diferencias entre las fases cristalinas encontradas por lo que en la **Figura 25** solo se observan los perfiles de comparación del estudio de la fase final de levante para los pollos de engorde, observándose solo una disminución poco significativa de la intensidad en **HLP13**. En la **Tabla 17** se logran identificar las mismas fases cristalinas sin obtener diferencia alguna que influyera en el óptimo desarrollo de los huesos de los pollos de engorde, aunque unas varían su número de PDF siempre se mantienen los mismos elementos.

Figura 24. Comparación análisis DRX, HLP13, HLP16, HLP19 Y HLP22.

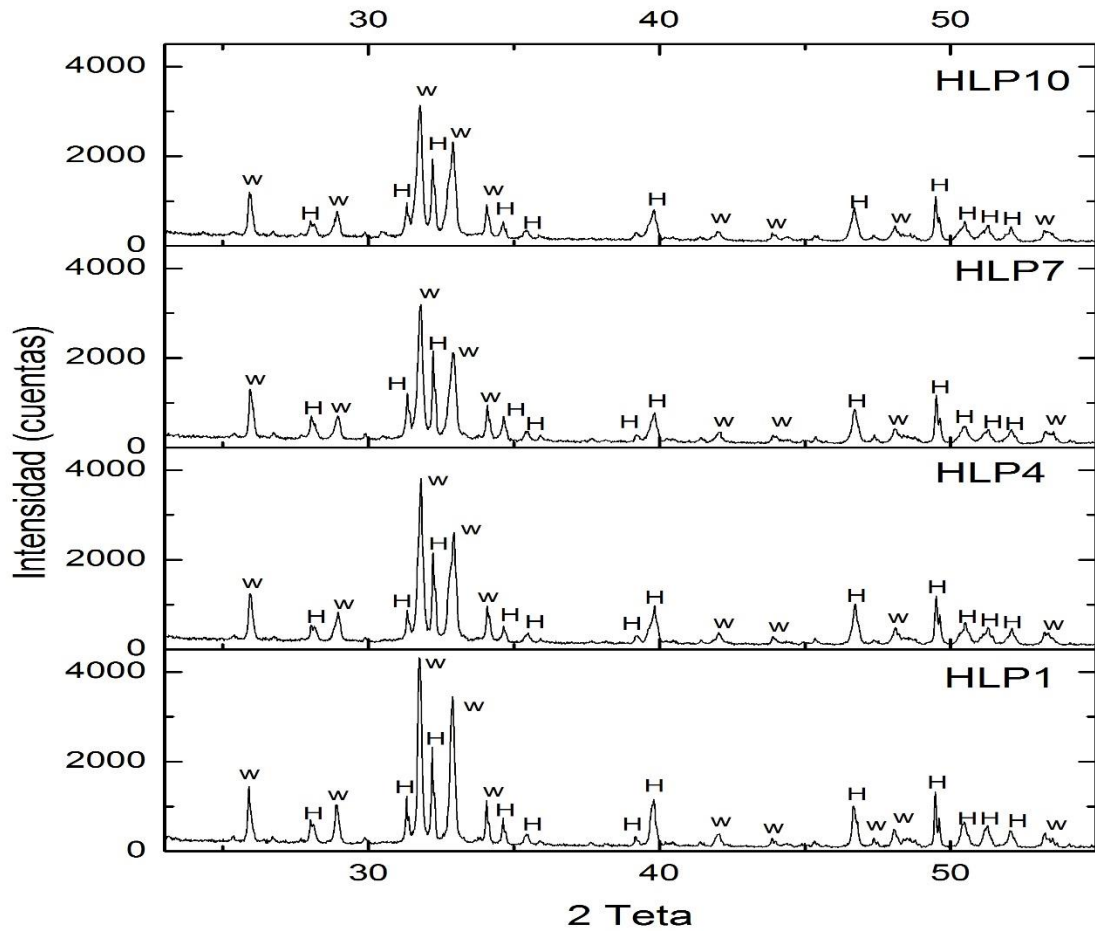


Tabla 18. Relación Letras de la **Figura 25** con el tipo de fase cristalina de los huesos segundo ensayo.

PDF	Nombre	FÓRMULA
89-2064	Calcio magnesio hidrogeno fosfato	$\text{Ca}_{18} \text{Mg}_2 \text{H}_2 (\text{PO}_4)_{14}$
000-70-2064	Hidroxiapatita	$\text{Ca}_5 (\text{PO}_4)_3 (\text{OH})$

Para corroborar que aunque en **HLP13** disminuye la intensidad de las señales observadas, no varían el porcentaje de elementos se realizó un análisis semicuantitativo por **FRX**, cuyos resultados se observan en la **Tabla 18**.

Tabla 19. Resultados **FRX** huesos pollos segundo ensayo.

Elemento	Concentración (%)			
	Purina	Purina/Zeolita-Na	Purina/Zeolita-Na-Ca	Purina/Zeolita-Na-Mg
Ca	37,08	38,62	39,30	39,06
P	16,57	15,79	15,63	15,56
Na	2,51	2,56	2,41	2,86
K	1,88	1,18	1,26	1,02
Cl	1,15	1,16	1,14	1,26
Mg	1,04	0,93	0,81	0,84
S	0,51	0,73	0,62	0,66
Zn	0,07	0,09	0,08	0,08
Si	0,06	0,07	0,05	0,04
Fe	0,04	0,04	0,03	0,04
Al	0,02	0,03	0,01	0,02
Sr	0,02	---	---	0,01
Elementos minoritarios				
Pb	---	0,01	---	---
Cu	37	76	54	70
Ni	29	25	24	25
Br	25	19	27	21
Rb	24	--	---	---
Mo	---	16	---	---
Sr	---	85	93	---

Con el análisis semicuantitativo de **FRX** se logra determinar el porcentaje de los elementos presentes en los huesos para los cuatro diferentes estudios de 20 días (Finalización fase levante), aunque se observa una leve variación no se considera como un cambio significativo.

Órganos

Con los pollos sacrificados y desplumados se procedió a abrir y sacar los órganos, para realizar la caracterización física de pesos y medidas, estos resultados se presentan en la **Tabla 19** primer estudio (10 días) **Tabla 20** segundo estudio (20 días).

Tabla 20. Resultados análisis físicos molleja, páncreas y duodeno (10 días) con los diferentes tipos de tratamiento.

Tipo alimento	Molleja		Páncreas		Duodeno		
	Peso (g)	Medida (cm) Ancho*Largo	Peso (g)	Medida (cm) Ancho*Largo	Peso (g)	Medida (cm) Ancho*Largo	
Na	1	14	3*4	4	2*7	5	2*11
	2	10	3*4	5	2*7	4	1,5*10
	3	13	3*4	6	2*8	4	2*8,5
Na-Ca	1	11	3*3,2	2	4*5	1	4*4,2
	2	1	1,5*5,5	2	2*6	3	1*8,5
	3	4	0,5*10	3	2*5	1	2*11,5
Na-Mg	1	13	3,3*3,8	4	3,2*4	1	3,3*4
	2	2	1,5*8,5	3	2*4	2	0,5*9
	3	4,5	3,2*4	5	1,5*1	5	2*10
Purina	1	15	3*4	2	1,5*2	4	2*9
	2	14	3,5*4,2	1	1*2	5	1,5*9
	3	16	3,2*4	2	2*5	4	1,5*9

El páncreas es uno de los principal motores del sistema digestivo, debido a que es allí donde se produce la digestión enzimática de grasas y proteínas, por lo que observa cuál de estos estudios presento un mejor resultado, obteniéndose que cuando se suministra Purina/Zeolita-Na se hace notorio un mejor desarrollo de casi todos los órganos especialmente en páncreas.

RESULTADOS ESTUDIO SEGUNDA COCHADA

Tabla 21. Resultados análisis físicos molleja, páncreas y duodeno pollos (20 días) con los diferentes tipos de tratamiento.

Tipo alimento	Molleja		Páncreas		Duodeno		
	Peso (g)	Medida (cm) Ancho*Largo	Peso (g)	Medida (cm) Ancho*Largo	Peso (g)	Medida (cm) Ancho*Largo	
Na	1	15	3,5*4	4	2,3*6,1	3	2*3,2
	2	16	4*3,9	8	1,4*6	3	1,6*3,9
	3	18	3,8*4	12	2,9*10	7	2*4
Na-Ca	1	12	3,2*4	2	1,8*6,9	4	1*4
	2	14	3,3*4	3	2*7,4	4	1,8*3
	3	13	3,3*3	2	2,2*4	1	2*3
Na-Mg	1	19	4*4	8	2,3*9	4	4*1,40
	2	16	4*4	6	2*9,2	4	1,7*4
	3	10	3*4	2	1,3*7	2	1,4*3
Purina	1	16	3,2*4,1	4	2*7,4	3	2*3,2
	2	16	3*4,2	7	5,4*3	6	2*4
	3	17	4,2*4	4	2,8*7	3	1,4*4,4

En el segundo estudio de órganos de pollos de engorde **Tabla 20**, se observa que ya la variación de pesos es menor, debido a que en esta etapa ya el sistema digestivo de las aves está completamente desarrollado, aunque se ve una pequeña variación en sodio no es considerada significativa respecto a la testigo, lo que indican que no hay variación en los órganos al adicionar zeolita a la comida. Estos resultados se corroboran en la **Figura 26**, donde se presentan los diferentes órganos para cada uno de los estudios (ensayo 2) sin identificar diferencia alguna.

Figura 25. Fotos órganos segundo estudio (20días) a) Molleja b) páncreas c) duodeno, en orden de prueba testigo, Purina/zeolita-Na, Purina/zeolita-Na-Ca, Purina/zeolitaNa-Mg.

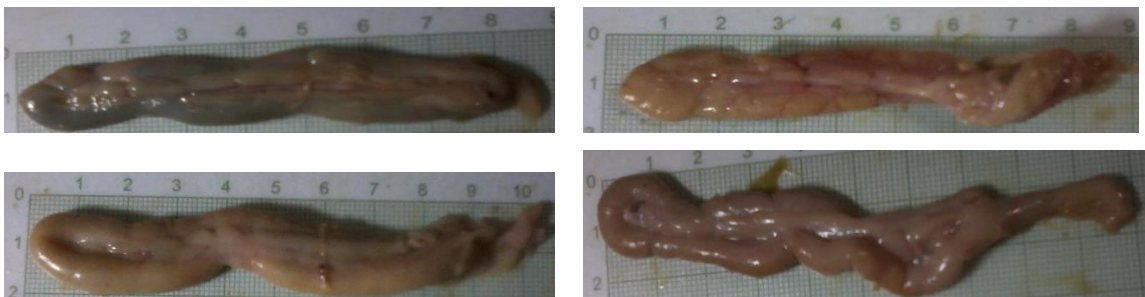
a)



b)



c)



Los resultados obtenidos son similares a los de Eleroglu y colaboradores donde se realizó una investigación para evaluar el efecto de Ca-Zeolita en los huesos. utilizando un total de 240 pollos de un día de edad sin sexar de la línea Ross 308, estos fueron sometidos a experimentación durante 42 días con 0, 1, 3 y 5% de zeolita en la dieta, la inclusión de zeolita-Ca no tuvo efecto significativo sobre las características de la tibia (peso de la tibia, cenizas, volumen, peso específico y contenido de Ca y P) al adicionar un porcentaje de 5% de zeolita en la dieta de los pollos de engorde, logrando un mejor aprovechamiento de los nutrientes sin presentar acumulación de minerales en los huesos; los resultados obtenidos en el estudio realizado son similares a los ya mencionados debido a que las cenizas de los huesos del pernil en el análisis de **FRX** (Tabla 18) no presenta diferencia de concentración de Ca y P.

En los resultados del pernil se observa que aunque el consumo de alimento fue menor el peso vivo y peso de la carne no variaron, resultados similares obtuvieron Acosta y colaboradores al utilizar 1400 pollos de engorda híbridos comercial EB-34 de 1 a 42 días de edad, suministrando 0 y 1% de zeolita tipo clinoptilolita a una dieta tradicional con diferentes tipos de dietas para crecimiento (14 o 21 días), en este estudio se encuentra una diferencia significativa en el costo de alimentación/ peso vivo, con indicadores de menor costo por tonelada de canal, pechuga y pierna más muslo (Acosta, Lon Wo, & Dieppa., 2005).

6.4.3. Estudio de metabolitos en suero sanguíneo

GLUCOSA

Los niveles de glucosa se midieron con un Glucómetro marca *ACCU-CHEK* de *ROCHE*, tomando la sangre del ala derecha de cada pollo de engorde, los resultados son los presentados en la **Tabla 19**.

Tabla 22. Niveles de glucosa para los pollos de engorde de la segunda cochada en los cuatro diferentes estudios.

Glucosa (mg/dL)	Testigo (Purina)			Purina/Zeolita-Na			Purina/Zeolita-Na-Ca			Purina/Zeolita-Na-Mg		
	222	207	205	216	216	215	210	209	213	214	206	202
Promedio	211			215			210			207		

Según los resultados presentados en la **Tabla 21**, los niveles de glucosa no presentan diferencias significativas en los pollos de engorda, lo que indica que aunque se cambie la dieta de las aves no se producen una alteración en este parámetro.

SANGRE

La sangre recogida el día de la muerte de los pollos por corte en la yugular, se guardó y refrigeró a -5°C , a esta, se le tomó un análisis semicualitativo por **FRX**, los resultados se presentan en la **Tabla 23** para testigo, **Tabla 24** para Purina/Zeolita-Na, **Tabla 25** para Purina/Zeolita-Na-Mg y **Tabla 26** para Purina/Zeolita-Na-Ca.

Tabla 23. Resultados análisis cuantitativo por **FRX** sangre de pollos de engorde alimentados con purina.

Elemento	Número atómico	Concentración*	Concentración**	Concentración***
CH₂	-----	Matriz		
Cl	17	0,12%	0,12%	0,14%
S	16	0,09%	0,09%	0,09%
Na	11	0,04%	0,05%	0,04%
K	19	0,04%	0,04%	0,05%
P	15	0,02%	0,03	0,01%
Fe	26	91 mg/Kg	97 mg/Kg	-----
Ca	20	86 mg/Kg	85 mg/Kg	77 mg/Kg
Cu	29	-----	----	----
Si	14	27 mg/Kg	----	----
Zn	30	3 mg/Kg	----	----

*Pollo 1 ** Pollo 2 ***Pollo 3

Si se observa la **Tabla 23**, el pollo 2 que para el caso de alimento con purina era el pollo más pesado, presenta una mayor concentración de Fe entre sus elementos minoritarios.

Tabla 24. Resultados análisis cuantitativo por **FRX** sangre de pollos de engorde alimentados con purina/Zeolita-Na.

Elemento	Número atómico	Concentración*	Concentración**	Concentración***
CH ₂	---	Matriz		
Cl	17	0,11%	0,12%	0,12%
S	16	0,09%	0,09%	0,08%
Na	11	0,04%	0,03%	0,04%
K	19	0,04%	0,04%	0,04%
P	15	0,03%	0,03%	0,02%
Elementos minoritario				
Fe	26	86 mg/Kg	89 mg/Kg	84 mg/Kg
Ca	20	67 mg/Kg	94 mg/Kg	87 mg/Kg
Cu	29	3 mg/Kg	3 mg/Kg	4 mg/Kg

*Pollo 1 ** Pollo 2 ***Pollo 3

La **Tabla 24** indica que el pollo 2 para el caso de alimento con purina/Zeolita-Na era el más pesado posee una concentración mayor de Fe y Ca entre los elementos minoritarios.

Tabla 25 Resultados análisis cuantitativo por **FRX** sangre de pollos de engorde alimentados con purina/Zeolita-Na-Mg.

Elemento	Número atómico	Concentración*	Concentración**	Concentración***
CH ₂	---	Matriz		
Cl	17	0,13%	0,12%	0,12%
S	16	0,09%	0,07%	0,09%
Na	11	0,04%	0,05%	0,05%
K	19	0,04%	0,04%	0,04%
P	15	0,03%	0,02	0,03%
Elementos minoritario				
Fe	26	84 mg/Kg	79 mg/Kg	89 mg/Kg
Ca	20	90 mg/Kg	66 mg/Kg	49 mg/Kg
Cu	29	4 mg/Kg	4 mg/ Kg	----

*Pollo 1 ** Pollo 2 ***Pollo 3

Si se observa la **Tabla 25**, el pollo 1 que para el caso de alimento con purina/Zeolita-Mg era el más pesado posee una concentración mayor de Ca, pero menor de Fe.

Tabla 26. Resultados análisis cuantitativo por **FRX** sangre de pollos de engorde alimentados con purina/Zeolita-Na-Ca.

Elemento	Número atómico	Concentración*	Concentración**	Concentración***
CH₂	-----	Matriz		
Cl	17	0,11%	0,12%	0,12%
S	16	0,10%	0,07%	0,09%
Na	11	0,04%	0,05%	0,05%
K	19	0,05%	0,04%	0,04%
P	15	0,01%	0,02	0,03%
Elementos minoritario				
Fe	26	-----	----	-----
Ca	20	52 mg/Kg	56 mg/Kg	49 mg/Kg
Cu	29	4 mg/Kg	4 mg/ Kg	----

*Pollo 1 ** Pollo 2 ***Pollo 3

En estos resultados la concentración de elementos minoritarios es más baja que los otros estudios.

Los resultado de **FRX** en la sangre no dan grandes diferencias entre cada estudio, ni una tendencia general, solo se puede decir que los pollos con mayor peso en algunos estudio poseían una mayor concentración de hierro en sangre. Ahora si se observa el Zinc, este es detectado pero no logra ser semicuantificado en los estudios de Na, Ca y Mg, siendo una excepción para purina, es normal que se encuentre en el plasma sanguíneo Hierro y Zinc ya que son de gran importancia en la constitución del tejido sanguíneo; en el caso del estudio de purina/zeolita-Na-Ca no se logra detectar hierro, indicando fallas en el sistema digestivo y poca oxigenación del pollo, esto es coherente ya que fueron las aves que menos engordaron y crecieron, adicionalmente la concentración de calcio es menor que

todas las anteriores, este resultado no es coherente puesto que se suponía una mayor disponibilidad de este ion en la dieta, una posible explicación es que debida a la baja concentración no logro ser identificado por **FRX** ninguno de estos elemento.

Los resultados obtenidos de glucosa y sangre no son significativos, lo que coincide con el estudio realizado por Eleroglu y colaboradores donde al evaluar los efectos de diferentes cantidades de zeolita (0, 1, 3, 5%) en la dieta, y estudiar algunos parámetros de la sangre; no encuentran efecto significativo sobre la concentración de glucosa, concentraciones de Ca, P, Na y K a los 21 y 41 días de edad. Señalando que la zeolita no tiene efectos adversos en la sangre (Eleroglu, Yalcin, & Yildirim, 2011); por otra parte Prvuloviae y colaboradores indican que al incluir 5% de Zeolita (clinoptilolita) los índices bioquímicos hematológicos no fueron afectados (Prvuloviae, Kosareiae, Popoviae, & Gordana, 2008); estos resultados obtenidos en el estudio contrastan con los encontrados por Safaeikatouli y colaboradores que al experimentar con 300 pollos de engorda de un día de nacidos, con alimentación de zeolita de 1,5 y 3% encontraron que la glucosa y la hormona de crecimiento incrementaron significativamente en pollos que recibieron zeolita (Safaeikatouli, Jafariahangari, & Baharlouei, 2011).

7. CONCLUSIONES

Se logra la solubilización de aluminio y sílice post-consumo obteniendo concentraciones de 94862,07558 ppm y 40244,20825ppm respectivamente; con estos precursores se sintetizó la zeolita NaP pura con una buena obtención de sólido en autoclaves de teflón de 65mL. La síntesis se llevó a autoclaves de 1000mL, manteniendo la fase y mejorando la obtención de sólido.

Se realizó el intercambio catiónico con la zeolita NaP obtenida y las soluciones de 0,07M de CaCl_2 y MgCl_2 obteniendo un intercambio de 88,17 y 78,17 % respectivamente.

Se logró incorporar satisfactoriamente la zeolita en la purina del pollo de engorde obteniéndose buenos índices de conversión alimenticia, logrando reducir el consumo de alimento a menos de la mitad en los primeros 10 días y a la tercera parte en la finalización de la etapa de levante, se obtuvieron buenos índices de conversión alimenticia para el estudio Purina/Zeolita-Na, siendo esta la que mejor resultados mostro al poseer menor consumo de alimento e igual peso del vivo y carne de pollo en comparación con la testigo.

No se encontraron alteraciones en huesos, pesos vivos, carne pollo, órganos, menudencias, sangre y glucosa al agregar purina/zeolita a los pollos de engorde.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir los estudios incorporando diferentes porcentajes de zeolita al utilizado en la presente investigación.

Sería bueno realizar el estudio con la adición de zeolita desde el inicio de la crianza para evaluar los posibles efectos sobre la maduración del tracto gastrointestinal y la eficiencia en la reducción y el mejoramiento del índice de conversión alimenticia.

Estudiar las diferentes etapas de la crianza de las aves para observar sobre cual la adición de la zeolita muestra mejoras en la producción de los pollos de engorda. Para conocer mejor las alteraciones en los metabolitos sanguíneos se recomienda estudiar fosfatasa, creatinina y colesterol total.

9. DIVULGACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados parciales del presente proyecto fueron presentados en el IX Congreso de ciencias, tecnología e innovación química QUIMICUBA'2015, con el trabajo titulado “**SÍNTESIS DE ZEOLITA Na-P A PARTIR DE SÍLICE GEL POST-CONSUMO Y PAPEL ALUMINIO DE DESECHO COMERCIAL. ESTUDIO DE SU ACTIVIDAD EN LA CAPTACIÓN DE AMONIO EN ALIMENTOS PURÍNICOS DE POLLOS**” en la modalidad de presentación de poster realizada en octubre de 2015. El certificado de este congreso se presenta en el **Anexo 6**.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A., Lon Wo, E., & Dieppa. (2005). Efecto de la zeolita natural (Clinoptilolita) y de diferentes esquemas de alimentación en el comportamiento productivo del pollo ceba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 39(3), 319-325.
- Aguavil, J. (2012). *Evaluación del efecto de un probiótico nativo elaborado en base a Lactobacillus acidophilus y bacillus subtilis sobre el sistema gastrointestinal en pollos Broiler ross-308 en Santo Domingo de los Tsáchilas*. Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador, Santo Domingo .
- Alvear, S., Quilambaqui, M., Álvarez, P., & Rodriguez, A. (2005). *Evaluación de zeolitas naturales mezcladas en la dieta para la alimentación de pollos de engorde (Broiler) en el Cenae-Espol*. Tesis de licenciatura, Centro de Enseñanza Agropecuaria de la Escuela Politécnica del Litoral, Guayabil, Ecuador.
- Amaya, A. A. (2013). *Síntesis de zeolitas tipo Na-P a partir de sílice gel post-consumo y papel aluminio de desecho comercial. Estudio de su actividad como intercambiador iónico y fijador de amonio*. Tesis Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Santander, Bucaramanga.
- Arroyo, L., Muñiz, M., & Rojas, H. (2002). Inclusión de una zeolita (Clinoptilolita) en dietas de pollos de engorde. *15. Reunión Científica, Tecnológica, Forestal y Agropecuaria*. Veracruz, México.
- Auerbach, S. M., Carrado, K. A., & Dutta, P. K. (2003). *Handbook of Zeolite Science and Technology*. New York: Marcel Dekker.
- Avendaño, L. (2011). *Síntesis de zeolita LTA a partir de tamo de arroz. caracterización y aplicación como suavizante en aguas residuales industriales*. Tesis Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander.

- Baerlocher, C., McCusker, L. B., & Olson, D. H. (2007). *Atlas of zeolite framework types* (Vol. 6). Structure Commission of the international Zeolite Association. Elsevier.
- Barrer, R. M., Baynham, J. W., Bultitude, F. W., & Meier, W. M. (1959). Hydrothermal Chemistry of the Silicates. Part VIII. Low- temperature Crystal Growth of Aluminosilicates, and of Some Gallium and Germanium Analogues. *Journal of the Chemical Society*, 195-208.
- Bohra, S., Kundu, D., & Naskar, M. K. (2014). One-pot synthesis of NaA and NaP zeolite powders using agro-waste material and other low cost organic-free precursors. *Ceramics International*, 40(1), 1229-1234.
- Braga, A. A., & Morgon, N. H. (2007). Descrições estruturais cristalinas de zeólitos. *Química Nova*, 30(1), 178-188.
- Calderón, V. (2004). *Mineralogía, petrografía y química de las rocas volcánicas zeolitizadas del estado de Oaxaca: implicación económica*. Tesis Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Castrillón, Y. (2011). *Síntesis de Zeolita tipo faujasita a partir de la activación de illita para su aplicación en la eliminación de Cr y Ni de efluentes de la industria del galvanizado*. Tesis Pregrado, Universidad Industrial Santander, Bucaramanga, Santander.
- Cervantes, E. (2005). *evaluación de zeolitas naturales mezcladas en la dieta para la alimentación de pollos de engorde (Broiler) en el cenae-Espol*. Tesis Pregrado, Escuela Politécnica de Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Chalacán, O. (2001). *Respuestas de diferentes niveles de zeolita natural (Clinoptilolita), en el crecimiento de pollos broilers en Azcáubi-Pichincha*. Tesis Doctoral, Universidad Técnica del Norte.
- Choque, L. (2008). *Evaluación del estado oxidativo y salud intestinal en pollos de engorde en respuesta a la alimentación con grasas recicladas*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Collazos, G. (2010). La aplicación de zeolita en la producción avícola: Revisión. *Investigación Agraria y Ambiental*, 1(1), 17-23.

- Coob. (2012). *Guía de manejo del pollo de engorde*. Obtenido de http://cobb-vantress.com/languages/guidefiles/b5043b0f-792a-448e-b4a1-4aff9a30e9eb_es.pdf
- Cosma, D. G. (2008). *Utilización de una zeolita natural (clinoptilolita) en la alimentación de conejos en fase de engorde*. Tesis Pregrado, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.
- Cuca, G., Ávila, G., & Pro, M. A. (1996). *Alimentación de las aves*. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.
- Cundy, C. S., & Cox, P. A. (2005). The hydrothermal synthesis of zeolites: Precursors, intermediates and reaction mechanism. *Microporous and Mesoporous Materials*, 82(1), 1-78.
- Duchatel, J. (2005). *Aparato Digestivo*. (E. e. Bélgica, Ed.) Recuperado el 03 de 13 de 16, de Gut Flut: <http://www.mispalomos.com/portal/index.php?name=Sections&req=viewarticl>
- Eleroglu, H., & Yalcin, H. (2012). Dietary effects of Ca-Zeolite supplementation on water consumption and carcass characteristics of broiler. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 11(1), 43-51.
- Eleroglu, H., Yalcin, H., & Yildirim, A. (2011). Dietary Effects of Ca-Zeolite supplementation on some blood and tibial bone characteristics of broilers. *South African Journal of Animal Science*, 41(4), 319-330.
- Ghobarkar, H., & Schäfer, O. (1999). Synthesis of gismondine-type zeolites by the hydrothermal method. *Materials research bulletin*, 34(4), 517-525.
- Gómez, J. M. (2001). *Síntesis, caracterización y aplicaciones catalíticas de zeolitas básicas*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Håkansson, U., Fälth, L., & Hansen, S. (1990). Structure of a High-Silica Variety of Zeolite Na-P. *Acta Crystallographica*. *Acta Crystallographica*, 46, 1363-1364.

- Hansen, S., Hakansson, U., Landa, C. A., & Fäilth, L. (1993). On the crystal chemistry of NaP zeolites. *Zeolites*, 13(4), 276-280.
- Hoerr, F. (2009). *La Integridad Intestinal y su Importancia Económica en la Industria Avícola*. Departamento de Producción Animal. Recuperado el 24 de 02 de 2016, de http://www.porcicultura.com/avicultura/home/articulos_int.asp?cve_art=458
- Huo, Z., Xu, X., Lü, Z., Song, J., He, M., Zhaofei Li, Q. W., & Yan, L. (2012). Synthesis of zeolite NaP with controllable morphologies. *Microporous and Mesoporous Materials*, 137-140.
- Jaime, A. (2011). Digestión de pollos de engorde. 1. Colombia.
- Karamanlis, X., Fortomaris, G., Arsenos, I., Dosis, D., Papaioannou, C., Batzios., & Kamarianos, A. (2008). The effect of natural zeolite (clinoptilolite) on the performance of broiler chickens and the quality of their litter. *Asian-Aust. J. Anim. Sci*, 21(11), 1642-1650.
- Lema, G. (2008). *Utilización de zeolitas naturales y esquemas de alimentación con ahorro de proteína dietética para la alimentación de pollos de ceba con impacto ambiental favorable*. Tesis Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Lema, J. (2008). *Utilización de zeolitas naturales y esquemas de alimentación con ahorro de proteína dietética para la alimentación de pollos de ceba con impacto ambiental favorable*. Tesis Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Lon Wo, E., & M., C. (1996). Estrategia de uso de las zeolitas naturales en dietas para gallinas ponedoras ligeras. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 30(3), 313-316.
- Lon Wo, E., Pérez., & Gonzáles, J. (1987). Inclusión de 5% de zeolita (Clinoptilolita) en dietas para pollo de ceba en condiciones de producción. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 21(2), 169-173.
- Lon-Wo, E. (2003). Lon-Wo, E. (2003). La producción avícola y la contaminación ambiental. *curso: La nutrición y la fisiología digestiva en la producción de*

- animales monogástricos y su impacto ambiental.* (págs. 29-34). Mérida, Yucatán. México.: VII Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos.
- Mejía, S., Rubio, G., Calatayud, C., Rodriguez, A., & Quintero, A. (2001). Evaluación de dos probióticos sobre parámetros productivos en lechones lactantes. *Zootecnia Tropical*, 25(4), 301-306.
- Mendéz, B. (2012). *Utilización de zeolita en la alimentación de cerdos , pollos de engorda y ovinos para disminuir la emisión de N al ambiente.* Tesis Doctorado, Univerdidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista , México.
- Nakaue, H. (1980). Studies with clinoptilolite in poultry. I. Effect of feeding varying levels of clinoptilolite (zeolite) to Dwarf single comb white leghorn pullets and ammonia production. *Poultry science*, 60(5), 944-949.
- Nery, J. G., Mascarenhas, Y. P., & Cheetham, A. K. (2003). A study of the highly crystalline, low-silica, fully hydrated zeolite P ion exchanged with (Mn²⁺, Cd²⁺, Pb²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺) cations. *Microporous and Mesoporous Materials*, 229-248.
- Olver, M. (1997). Effect of feeding clinoptilolite (zeolite) on the performance of three strains of laying hens. *British Poultry*, 28(2), 220-222.
- Orozco, C., Meleán, R., & Romero, G. (2004). Costos e producción en la cría de pollos de engorde. *Revista Venezolana de Gerencia*, 9(28), 1-27.
- Oviedo, J. A. (2010). *Síntesis y caracterización de zeolitas tipo faujasita a partir de subproductos de la combustión del carbón por el método de fusión alcalina.* Tesis Pregrado, Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Santander.
- Park, M. y. (2005). Characteristics of nitrogen release from synthetic zeolite Na-P1 occluding NH₄NO₃. *Journal of Controlled Release*, 76(8), 44-50.
- Prvuloviae, D., Kosareiae, S., Popoviae, M., & Gordana, G. (2008). Efecto de los aluminosilicatos hidratados dietéticos en el crecimiento y los indicadores

- sanguíneos de pollos de engorda. *Revista Cubana Ciencia Agrícola*, 43(1), 61-66.
- Querol, X., Plana, F., Alastuey, A., & López, A. (1997). Synthesis of Na-zeolites from fly ash. *Fuel*, 76(8), 793-799.
- Ramos, A. (2013). *Metabolitos sanguíneos, rendimiento en componentes de la canal y costo del alimento consumido adicionado con zeolita para pollos de engorda*. Tesis Maestría, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, Cohauila, Buenavista.
- Rojas Núñez, A. E. (2012). *Dirección de estructuras en la síntesis de zeolitas usando cationes orgánicos imidazolios*. Tesis Doctorado, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
- Safaeikatouli, M., Jafariahngari, Y., & Baharlouei, A. (2011). An evaluation on the effects of dietary kaolin and zeolite on broilers blood parameters, T4, TSH and growth hormones. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(3), 233-237.
- Salvador, F., & Cruz, D. (2009). *Nutracentricos*. Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia, México D.F.
- Sanhueza, V., Kelm, U., & Alfaro, G. (2011). Síntesis de zeolita NaP-GIS, con diferentes morfologías, a partir de dos diatomitas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(1), 117-123.
- Sathupunya, M., Gulari, E., & Wongkasemjit, S. (2002). ANA and GIS zeolite synthesis directly from alumatrane and silatrane by sol-gel process and microwave technique. *ournal of the European Ceramic Society*, 22, 2305-2314.
- Spring, P. (2004). Glycomics: el rol de carbohidratos específicos como nuevos. *Revista Avicultura Profesional*, 22(4), 17-19.
- Strakova, E., Pospisil, P., Suchy, L., Steinhauser, L., & Herzig, I. (2008). Administration of Clinoptilolite to broiler chickens during growth and its effect on the growth rate and bone metabolism indicators. *Revista Acta Vet. Brn.*, 77, 199-207.

- Straková, E., Pospíšil, P., Suchý, L., Steinhauser., & Herzig. (2008). Administration of clinoptilolite to broiler chickens during growth and its effect on the growth rate and bone metabolism indicator. *Revista Acta Veterinaria*, 77, 199-207.
- Teixeira, S. L., Mathias, C., & Canela, M. (2003). RECUPERAÇÃO DE SÍLICA-GEL UTILIZANDO PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS: UMA. *Química Nova*, 931-933.
- Wang, Y., Lin, F., & Pang, W. (2008). Ion exchange of ammonium in natural and synthesized zeolites. *Journal of Hazardous Materials*, 160, 371-375.
- Willis, W. L., Quarles., & J., F. D. (1982). Evaluation of zeolites fed to male broiles chickens. *Poultry Science*, 61, 438-442.
- Yacela, Y., Derouchey, M., Tokach, D., Goodband, R., Nelssen, L., Renter, G., & Dritz, S. (2009). Feed additives for swine: Fact sheets acidifiers and antibiotics. *Journal of Swine Health and Production*, 17(5), 270-275.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, A., LON WO, E., & DIEPPA. Efecto de la zeolita natural (Clinoptilolita) y de diferentes esquemas de alimentación en el comportamiento productivo del pollo ceba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 39(3), 319-325.2005

AGUAVIL, J. Evaluación del efecto de un probiótico nativo elaborado en base a *Lactobacillus acidophilus* y *bacillus subtilis* sobre el sistema gastrointestinal en pollos Broiler ross-308 en Santo Domingo de los Tsáchilas. Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador, Santo Domingo 2012.

ALVEAR, S., QUILAMBAQUI, M., ÁLVAREZ, P., & RODRIGUEZ, A. Evaluación de zeolitas naturales mezcladas en la dieta para la alimentación de pollos de engorde (Broiler) en el Cenae-Espol. Tesis de licenciatura, Centro de Enseñanza Agropecuaria de la Escuela Politécnica del Litoral, Guayabil, Ecuador 2005.

AMAYA, A. A. Síntesis de zeolitas tipo Na-P a partir de sílice gel post-consumo y papel aluminio de desecho comercial. Estudio de su actividad como intercambiador iónico y fijador de amonio. Tesis Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Santander, Bucaramanga 2013.

ARROYO, L., MUÑIZ, M., & ROJAS, H. Inclusión de una zeolita (Clinoptilolita) en dietas de pollos de engorde. 15. Reunión Científica, Tecnológica, Forestal y Agropecuaria. Veracruz, México.2002

AUERBACH, S. M., CARRADO, K. A., & DUTTA, P. K. *Handbook of Zeolite Science and Technology*. New York: Marcel Dekker.2003.

AVENDAÑO, L. Síntesis de zeolita LTA a partir de tamo de arroz. caracterización y aplicación como suavizante en aguas residuales industriales. Tesis Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander.2011

BAERLOCHER, C., MCCUSKER, L. B., & OLSON, D. H. Atlas of zeolite framework types (Vol. 6). Structure Commission of the international Zeolite Association. Elsevier.2007

Barrer, R. M., Baynham, J. W., Bultitude, F. W., & Meier., W. M. (1959). Hydrothermal Chemistry of the Silicates. Part VIII. Low- temperature Crystal Growth of Aluminosilicates, and of Some Gallium and Germanium Analogues. Journal of the Chemical Society, 195-208.

BOHRA, S., KUNDU, D., & NASKAR, M. K. One-pot synthesis of NaA and NaP zeolite powders using agro-waste material and other low cost organic-free precursors. Ceramics International, 40(1), 1229-1234. 2014

BRAGA, A. A., & MORGON, N. H. Descrições estruturais cristalinas de zeólitos. Química Nova, 30(1), 178-188.2007

CALDERÓN, V. Mineralogía, petrografía y química de las rocas volcánicas zeolitizadas del estado de Oaxaca: implicación económica. Tesis Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México.2004

CASTRILLÓN, Y. Síntesis de Zeolita tipo faujasita a partir de la activación de illita para su aplicación en la eliminación de Cr y Ni de efluentes de la industria del galvanizado. Tesis Pregrado, Universidad Industrial Santander, Bucaramanga, Santander.2011

CERVANTES, E. evaluación de zeolitas naturales mezcladas en la dieta para la alimentación de pollos de engorde (Broiler) en el cenae-Espol. Tesis Pregrado, Escuela Politécnica de Litoral, Guayaquil, Ecuador.2005

CHALACÁN, O. Respuestas de diferentes niveles de zeolita natural (Clinoptilolita), en el crecimiento de pollos broilers en Azcázubi-Pichincha. Tesis Doctoral, Universidad Técnica del Norte.2001

CHOQUE, L. Evaluación del estado oxidativo y salud intestinal en pollos de engorde en respuesta a la alimentación con grasas recicladas. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, España.2008

COLLAZOS, G. La aplicación de zeolita en la producción avícola: Revisión. Investigación Agraria y Ambiental, 1(1), 17-23. 2010

COOB. Guía de manejo del pollo de engorde. Obtenido de http://cobb-vantress.com/languages/guidefiles/b5043b0f-792a-448e-b4a1-4aff9a30e9eb_es.pdf. 2012

COSMA, D. G. Utilización de una zeolita natural (clinoptilolita) en la alimentación de conejos en fase de engorde. Tesis Pregrado, Universidad de la salle, Bogota, Colombia.2008

CUCA, G., ÁVILA, G., & PRO, M. A. Alimentación de las aves. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.1996

CUNDY, C. S., & COX, P. A. The hydrothermal synthesis of zeolites: Precursors, intermediates and reaction mechanism. Microporous and Mesoporous Materials, 82(1), 1-78.2005

DUCHATEL, J. Aparato Digestivo. (E. e. Bélgica, Ed.) Recuperado el 03 de 13 de 16, de Gut Flut:

<http://www.mispalomos.com/portal/index.php?name=Sections&req=viewarticl>

Eleroglu, H., & Yalcin, H. (2012). Dietary effects of Ca-Zeolite supplementation on water consumption and carcass characteristics of broiler. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 11(1), 43-51.2005

ELEROGLU, H., YALCIN, H., & YILDIRIM, A. Dietary Effects of Ca-Zeolite supplementation on some blood and tibial bone characteristics of broilers. *South African Journal of Animal Science*, 41(4), 319-330.2011

GHOBARKAR, H., & SCHÄF, O. Synthesis of gismondine-type zeolites by the hydrothermal method. *Materials research bulletin*, 34(4), 517-525.1999

GÓMEZ, J. M. Síntesis, caracterización y aplicaciones catalíticas de zeolitas básicas. Tesis doctoral, Universidad complutense de Madrid, Madrid, España.2001

HÅKANSSON, U., FÄLTH, L., & HANSEN, S. Structure of a High-Silica Variety of Zeolite Na-P. *Acta Crystallographica*. *Acta Crystallographica*, 46, 1363-1364. 1990

HANSEN, S., HAKANSSON, U., LANDA, C. A., & FÄILTH, L. On the crystal chemistry of NaP zeolites. *Zeolites*, 13(4), 276-280. 1993

HOERR, F. La Integridad Intestinal y su Importancia Económica en la Industria Avícola. Departamento de Producción Animal.2009 Recuperado el 24 de 02 de 2016, de http://www.porcicultura.com/avicultura/home/articulos_int.asp?cve_art=458

HUO, Z., XU, X., LÜ, Z., SONG, J., HE, M., ZHAOFEI LI, Q. W., & YAN, L. Synthesis of zeolite NaP with controllable morphologies. *Microporous and Mesoporous Materials*, 137-140. 2012

JAIME, A. Digestión de pollos de engorde. 1. Colombia. 2011

KARAMANLIS, X., FORTOMARIS, G., ARSENOS, I., DOSIS, D., PAPAIOANNOU, C., BATZIOS. & KAMARIANOS, A. The effect of natural zeolite (clinoptilolite) on the performance of broiler chickens and the quality of their litter. *Asian-Aust. J. Anim. Sci*, 21(11), 1642-1650. 2008

LEMA, G. (2008). Utilización de zeolitas naturales y esquemas de alimentación con ahorro de proteína dietética para la alimentación de pollos de ceba con impacto ambiental favorable. Tesis Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

LEMA, J. Utilización de zeolitas naturales y esquemas de alimentación con ahorro de proteína dietética para la alimentación de pollos de ceba con impacto ambiental favorable. Tesis Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2008

LON WO, E., & M., C. Estrategia de uso de las zeolitas naturales en dietas para gallinas ponedoras ligeras. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 30(3), 313-316. 1996

LON WO, E., PÉREZ., & GONZÁLES, J. Inclusión de 5% de zeolita (Clinoptilolita) en dietas para pollo de ceba en condiciones de producción. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 21(2), 169-173. 1987

LON-WO, E. LON-WO, E. La producción avícola y la contaminación ambiental. Curso: La nutrición y la fisiología digestiva en la producción de animales monogástricos y su impacto ambiental. (págs. 29-34). Mérida, Yucatán. México.: VII Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos. 2003

MEJÍA, S., RUBIO, G., CALATAYUD, C., RODRIGUEZ, A., & QUINTERO, A. Evaluación de dos probióticos sobre parámetros productivos en lechones lactantes. *Zootecnia Tropical*, 25(4), 301-306.2001

MENDÉZ, B. Utilización de zeolita en la alimentación de cerdos, pollos de engorda y ovinos para disminuir la emisión de N al ambiente. Tesis Doctorado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, México. 2012

NAKAUE, H. Studies with clinoptilolite in poultry. I. Effect of feeding varying levels of clinoptilolite (zeolite) to Dwarf single comb white leghorn pullets and ammonia production. *Poultry science*, 60(5), 944-949. 1980

NERY, J. G., MASCARENHAS, Y. P., & CHEETHAM, A. K. A study of the highly crystalline, low-silica, fully hydrated zeolite P ion exchanged with (Mn²⁺, Cd²⁺, Pb²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺) cations. *Microporous and Mesoporous Materials*, 229-248. 2003

OLVER, M. Effect of feeding clinoptilolite (zeolite) on the performance of three strains of laying hens. *British Poultry*, 28(2), 220-222. 1997

OROZCO, C., MELEÁN, R., & ROMERO, G. Costos e producción en la cría de pollos de engorde. *Revista Venezolana de Gerencia*, 9(28), 1-27. 2004

OVIEDO, J. A. Síntesis y caracterización de zeolitas tipo faujasita a partir de subproductos de la combustión del carbón por el método de fusión alcalina. Tesis Pregrado, Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Santander.2010

PARK, M. Y. Characteristics of nitrogen release from synthetic zeolite Na-P1 occluding NH₄NO₃. Journal of Controlled Release, 76(8), 44-50. 2005

PRVULOVIAE, D., KOSAREIAE, S., POPOVIAE, M., & GORDANA, G. Efecto de los aluminosilicatos hidratados dietéticos en el crecimiento y los indicadores sanguíneos de pollos de engorda. Revista Cubana Ciencia Agrícola, 43(1), 61-66. 2008

QUEROL, X., PLANA, F., ALASTUEY, A., & LÓPEZ, A. Synthesis of Na-zeolites from fly ash. Fuel. Fuel, 76(8), 793-799. 1997

RAMOS, A. Metabolitos sanguíneos, rendimiento en componentes de la canal y costo del alimento consumido adicionado con zeolita para pollos de engorda. Tesis Maestría, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, Cohauila, Buenavista. 2013

ROJAS NÚÑEZ, A. E. Dirección de estructuras en la síntesis de zeolitas usando cationes orgánicos imidazolios. Tesis Doctorado, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España. 2012

SAFAEIKATOULI, M., JAFARIAHANGARI, Y., & & BAHARLOUEI, A. An evaluation on the effects of dietary kaolin and zeolite on broilers blood parameters, T4, TSH and growth hormones. Pakistan Journal of Nutrition, 10(3), 233-237. 2011

SALVADOR, F., & CRUZ, D. Nutracenticos. Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia, México D.F.2009

SANHUEZA, V., KELM, U., & ALFARO, G. Síntesis de zeolita NaP-GIS, con diferentes morfologías, a partir de dos diatomitas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(1), 117-123.2011

SATHUPUNYA, M., GULARI, E., & WONGKASEMJIT, S. ANA and GIS zeolite synthesis directly from alumatrane and silatrane by sol-gel process and microwave technique. *ournal of the European Ceramic Society*, 22, 2305-2314.2002

SPRING, P. Glycomics: el rol de carbohidratos específicos como nuevos. *Revista Avicultura Profesional*, 22(4), 17-19.2004

STRAKOVA, E., POSPISIL, P., SUCHY, L., STEINHAUSER, L., & HERZIG, I. Administration of Clinoptilolite to broiler chickens during growth and its effect on the growth rate and bone metabolism indicators. *Revista Acta Vet. Brn.*, 77, 199-207. 2008

STRAKOVÁ, E., POSPÍSIL, P., SUCHÝ, L., STEINHAUSER., & HERZIG. Administration of clinoptilolite to broiler chickens during growth and its effect on the growth rate and bone metabolism indicator. *Revista Acta Veterinaria*, 77, 199-207. 2008

TEIXEIRA, S. L., MATHIAS, C., & CANELA, M. RECUPERAÇÃO DE SÍLICA-GEL UTILIZANDO PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS: UMA. *Química Nova*, 931-933. 2003

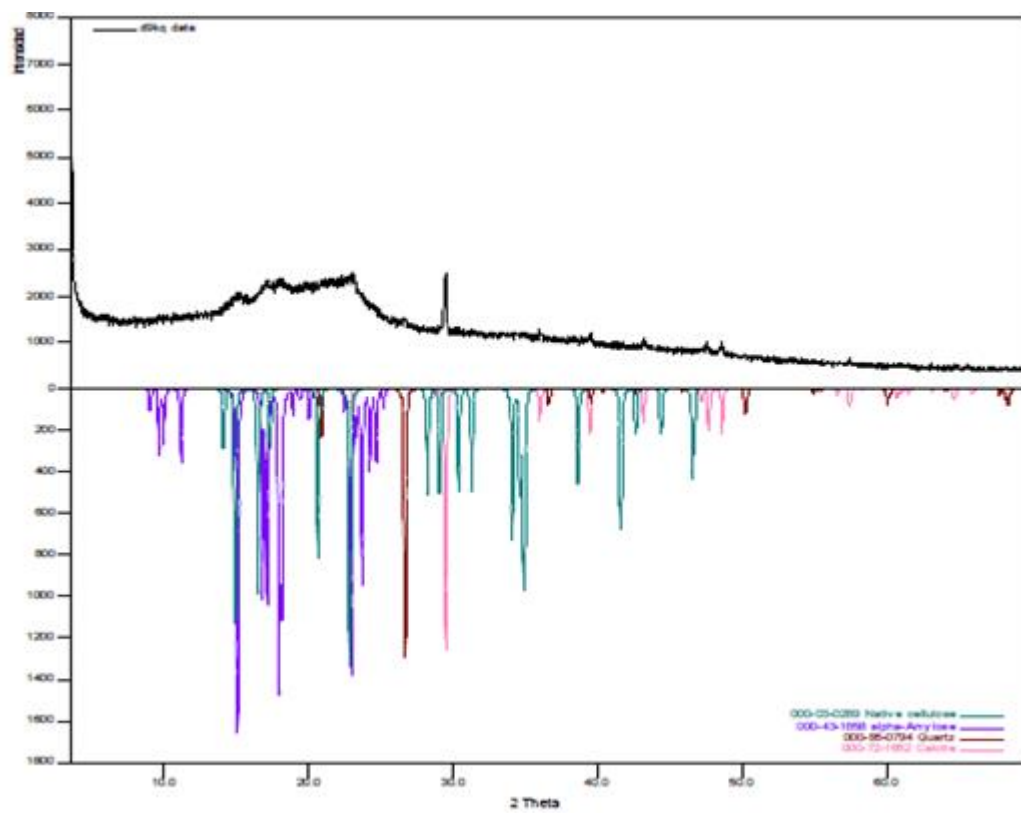
WANG, Y., LIN, F., & PANG, W. Ion exchange of ammonium in natural and synthesized zeolites. *Journal of Hazardous Materials*, 160, 371-375. 2008

WILLIS, W. L., QUARLES., & J., F. D. Evaluation of zeolites fed to male broiles chickens. *Poultry Science*, 61, 438-442. 1982

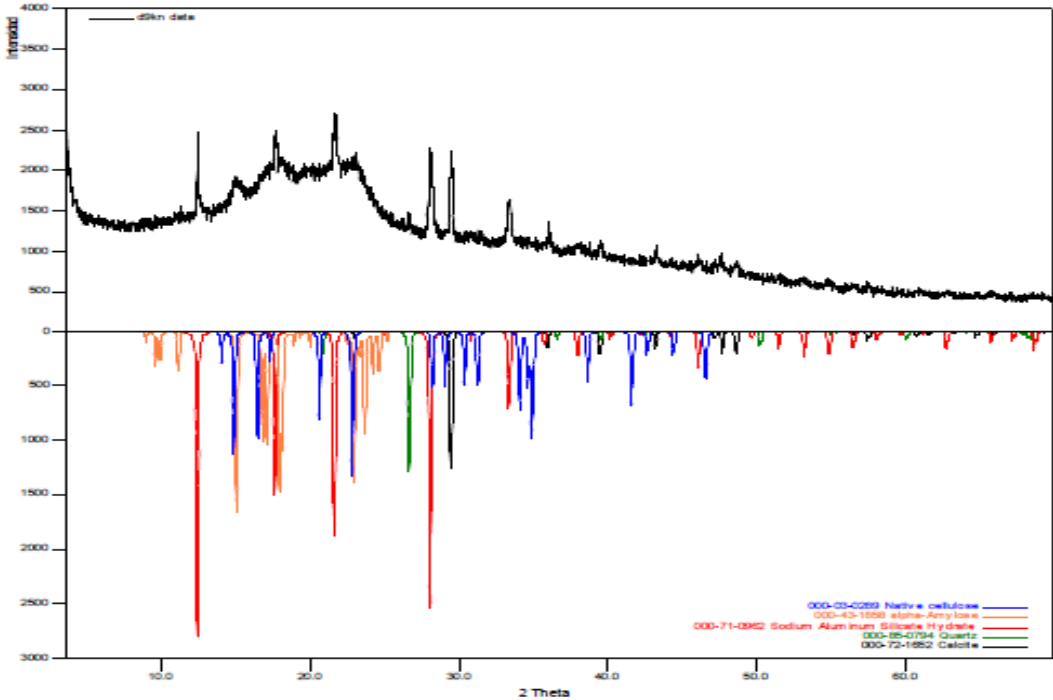
YACELA, Y., DEROUCHEY, M., TOKACH, D., GOODBAND, R., NELSEN, L., RENTER, G., & DRITZ, S. Feed additives for swine: Fact sheets acidifiers and antibiotics. *Journal of Swine Health and Production*, 17(5), 270-275.2009

ANEXOS

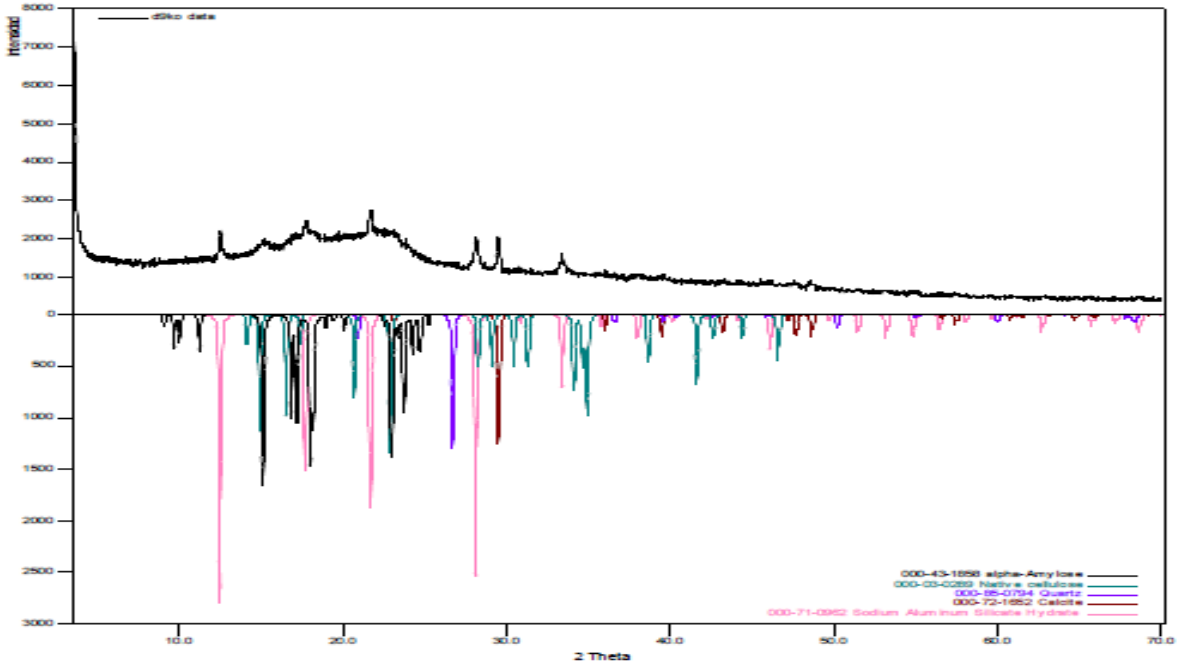
Anexo A. Cualitativo purina marca *Italco*.



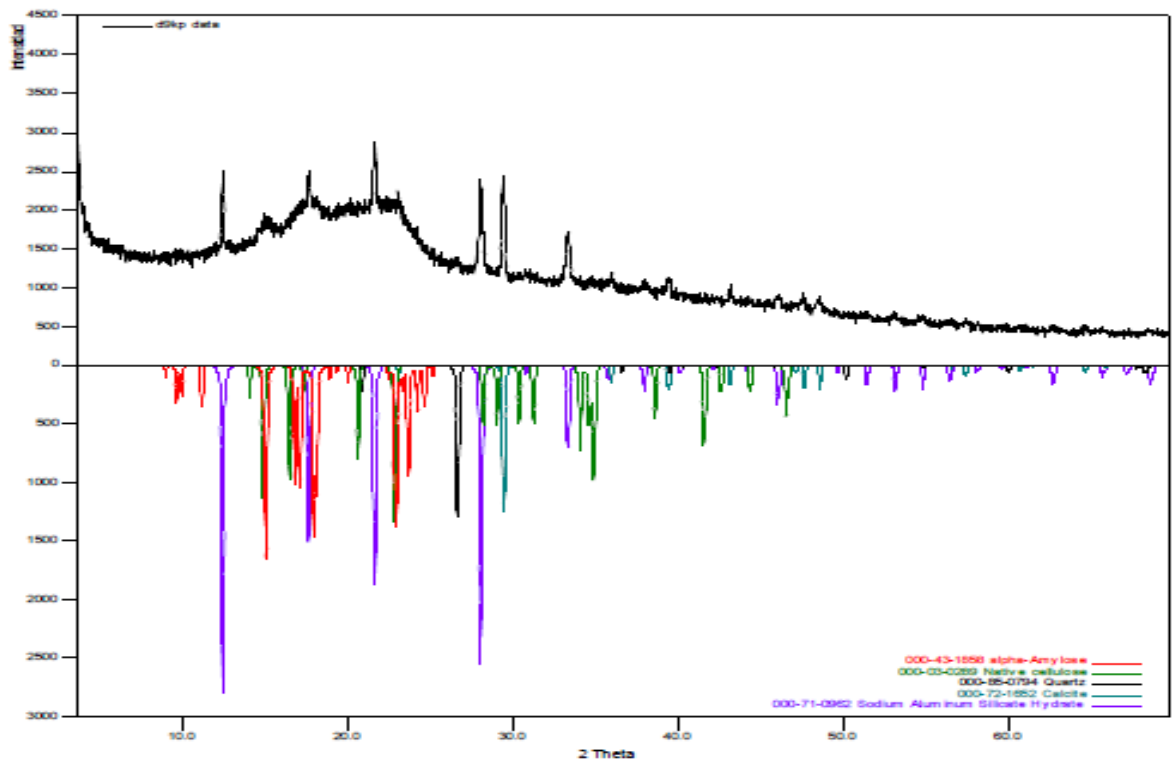
Anexo B. Cualitativo purina/Zeolita-Na.



Anexo C. Cualitativo purina/Zeolita-Na-Ca.



Anexo D. Cualitativo purina/Zeolita-Na-Mg



Anexo E.FRX huesos calcinados segunda cochada.

Elemento	Concentración (%)*				Concentración (%) **				Concentración (%) ***			
	P*	Na ⁺ **	Ca ²⁺ ***	Mg ²⁺	P*	Na ⁺ **	Ca ²⁺ ***	Mg ²⁺	P*	Na ⁺ **	Ca ²⁺ ***	Mg ²⁺
Ca	37,08	38,62	39,30	39,06	38,12	39,79	39,18	38,24	38,90	40,75	38,62	37,09
P	16,57	15,79	15,63	15,56	16,22	15,88	15,05	14,56	16,53	15,81	15,49	15,40
Na	2,51	2,56	2,41	2,86	2,65	2,30	2,96	2,40	2,11	1,98	3,06	2,85
K	1,88	1,18	1,26	1,02	1,62	1,18	1,67	1,10	0,99	0,80	1,48	1,46
Cl	1,15	1,16	1,14	1,26	1,02	0,81	1,27	1,16	0,76	0,67	1,29	0,99
Mg	1,04	0,93	0,81	0,84	0,93	0,82	0,82	0,85	0,95	0,78	0,83	1,01
S	0,51	0,73	0,62	0,66	0,44	0,39	0,68	0,70	0,40	0,37	0,64	0,5
Zn	0,07	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,09	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08
Si	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05	0,04	0,06	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04
Fe	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Al	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	---	0,02	0,02
Sr	0,02	---	---	0,01	0,02	0,01	0,01	---	---	---	0,01	0,01
Pb	---	0,01	---	---	---	---	---	---	0,01	---	---	---
Elementos minoritarios												
Cu	37	76	54	70	56	42	64	55	55	60	58	60
Ni	29	25	24	25	28	26	28	23	25	23	29	26
Br	25	19	27	21	---	---	---	---	16	19	25	23
Rb	24	--	---	---	14	---	19	---	---	---	15	---
16Mo	---	--	---	---	29	35	---	---	25	---	---	---
Sr	---	85	93	---	---	---	---	---	---	---	---	---

*Purina**Purina/zeolita-Na*** Purina/zeolita-Na-Ca**** Purina/zeolita-Na-Mg

Anexo F. Certificado Quimicuba'2015.

9th CONGRESS OF CHEMICAL
SCIENCES, TECHNOLOGY AND
INNOVATION



Quimicuba 2015

The Organizing Committee acknowledges

Blanco LA, Quintana JH, Henao JA


Who contributed with the following work

USO DE ZEOLITA TIPO Na-P SINTETIZADA A PARTIR DE
MATERIALES POST-CONSUMO COMO FIJADORES DE
AMONIO EN ABONOS ARTESANALES

As Poster Presentation



Prof. Dr. Luis A. Montero Cabrera
President of the Cuban Society of Chemistry



Dr. José Ángel Delgado García-Menocal
Session Chair



La Habana, Cuba, October 13th to 16th, 2015