

Partial replacement of raw matters by natural zeolite in *Clarias gariepinus* feed

Reemplazo parcial de materias primas por zeolita natural en piensos de *Clarias gariepinus*

J. E. Llanes¹, M. Castro² and Magaly Herrera²

¹*Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas. Carretera Central km 20 ½, Loma de Tierra, Cotorro. La Habana, Cuba*

²*Instituto de Ciencia Animal. Apartado Postal 24, San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba*
Email: jose@edta.alinet.cu

J. E. Llanes: <https://orcid.org/0000-0002-6687-8284>

M. Castro: <https://orcid.org/0000-0002-3525-3433>

Magaly Herrera: <https://orcid.org/0000-0002-2641-1815>

The partial replacement of 3, 5 and 7 % of each raw matter by Cuban natural zeolite in formulations of small fish feeds and *Clarias gariepinus* fattening was evaluated. Two bioassays were carried out, according to a completely random design with three repetitions. In the growth stage, a total of 225 small fish of 1.03 ± 0.03 g of initial weight were used, distributed in three treatments (0, 3 and 5 % of zeolite). Similarly, in fattening, a total of 135 animals of 10.12 ± 0.05 g of initial weight were used in three treatments (0, 5 and 7 %). A decrease in the protein supplied/fish was recorded, when the levels of zeolite in the rations increased. However, the indicators of growth, feed efficiency and survival were not disadvantaged up to 5 % in the small fish feed and 7 % in the fattening feed. The economic analysis showed that the use of zeolite decreases the costs of the rations and contributes with amounts of earnings for feeding. It is concluded that the partial replacement of up to 5 % of the raw matters by natural zeolite in the small fish feed and 7 % in the fattening feed does not compromise the productive performance of *Clarias gariepinus*; in addition to having a positive economic effect.

Key words: *feeding, catfish, mineral, nutrition, zeolite.*

Natural zeolite is a neutral crystalline microporous aluminosilicate mineral, originating from volcanic rocks. There are more than 45 types, and among them clinoptilolite is the purest, most effective and inexpensive (Abdel-Rahim 2017). Zeolites are used in domestic animal rearing, in industry, in environmental protection, without dismissing their use in modern agriculture, which is due to problems related to the availability of nutrients for crops (Díaz *et al.* 2019).

In aquaculture, its use has been aimed at improving water quality through the exchange of its mono and divalent ions with toxic wastes, such as ammonium, in water recirculation systems, aquariums and fish transportation tanks (Skleničková *et al.* 2020). It is also applied to treat effluents and obtain acceptable levels of discharges, as well as to maintain appropriate water quality in fattening ponds (Abdel-Rahim 2017 and Martínez *et al.* 2019).

In Cuba there is little experience in the use of

Se evaluó el reemplazo parcial de 3, 5 y 7 % de cada materia prima por zeolita natural cubana en formulaciones de piensos de alevinaje y engorde de *Clarias gariepinus*. Se realizaron dos bioensayos, según diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones. En la etapa de crecimiento, se emplearon 225 alevines de 1.03 ± 0.03 g de peso inicial, distribuidos en tres tratamientos (0, 3 y 5 % de zeolita). De igual forma, en el engorde se utilizaron 135 animales de 10.12 ± 0.05 g de peso inicial en tres tratamientos (0, 5 y 7 %). Se registró disminución de la proteína suministrada/pez, al incrementar los contenidos de zeolita en las raciones. Sin embargo, no se desfavorecieron los indicadores de crecimiento, eficiencia alimentaria y supervivencia hasta 5 % en el pienso de alevinaje y 7 % en el de engorde. El análisis económico mostró que la utilización de zeolita disminuye los costos de las raciones y contribuye con montos de ganancias por concepto de alimentación. Se concluye que el reemplazo parcial de hasta 5 % de las materias primas por zeolita natural en el pienso de alevinaje y 7 % en el de engorde, no compromete el comportamiento productivo de *Clarias gariepinus*; además de tener efecto económico positivo.

Palabras clave: *alimentación, bagre, mineral, nutrición, zeolita.*

La zeolita natural es un mineral de aluminosilicatos microporosos cristalinos neutros, que se origina en las rocas volcánicas. Existen más de 45 tipos, y entre ellos la clinoptilolita es el más puro, efectivo y poco costoso (Abdel-Rahim 2017). Las zeolitas se utilizan en la cría de animales domésticos, en la industria, en la protección al medio ambiente, sin desestimar su uso en la agricultura moderna, que obedece a los problemas relacionados con la disponibilidad de nutrientes para los cultivos (Díaz *et al.* 2019).

En la acuicultura, su utilización se ha dirigido a mejorar la calidad del agua a través del intercambio de sus iones mono y divalentes con desechos tóxicos, como el amonio, en sistemas de recirculación de agua, acuarios y tanques de transportación de peces (Skleničková *et al.* 2020). También se aplica para tratar efluentes y obtener valores aceptables de descargas, así como para mantener la calidad de agua apropiada en los estanques de engorde (Abdel-Rahim 2017 y Martínez *et al.* 2019).

natural zeolite in fish feeding. Llanes and Castro (2020) reported the substitution of up to 5 % of feed for zeolite in GIFT Nile tilapia small fish (*Oreochromis niloticus*), without compromising the productive indicators. However, the literature reports its growth-enhancing effect and feed efficiency in numerous aquatic species (El-Gendy *et al.* 2015 and Senmache and Reyes 2020), possibly due to the absorption of toxic compounds or the efficiency increase in nutrient assimilation.

The catfish *Clarias gariepinus* is the main intensively crop species in Cuba. Hence, it demands the largest amount of feed. The growing need to evaluate national inputs to increase their efficiency and reduce conventional raw matters justifies the development of researches, since in intensive fish farming feeding represents the highest costs. The objective of this study was to evaluate the partial replacement of raw matters by natural zeolite in the growing and fattening feeds of *Clarias gariepinus*.

Materials and Methods

Experimental diets and animal management. The research was carried out in the Fish Nutrition Laboratory from Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (EDTA) in Havana, Cuba. The enterprise has circular cement tanks, with a capacity of 68 L, with constant water flow (replacement of 100 % daily).

Two experiments were carried out. In the first, in the growing stage, the formulation of catfish small fish feed (D-1) and the substitution of 3 % (D-2) and 5 % (D-3) of each raw matter by natural zeolite was used. In the second, in the same way, the catfish fattening feed (D-4) and the replacement of 5 % (D-5) and 7 % (D-6) were used (table 1). The experimental zeolite came from San Andrés plant, in Holguín, Cuba. The product is marketed under the name Zoad, and has a grain size of less than 0.8 mm.

Preparation of diets. The meals were milled in a Creole hammer mill, at 250 μm , and blended in a mixer (HOBART MC-600[®], Canada). The oil, the natural zeolite and the vitamins and minerals premixture were added. The pelleting was carried out in a meat mill (JAVAR 32, Colombia). The mixture was dried in an oven (Selecta, Spain) at 60 °C for 24 h. A bromatological analysis was performed to the analysis, according to the methods described by AOAC (2016). Digestible energy (DE) was calculated with the caloric coefficients reported by Toledo *et al.* (2015).

Growth bioassays. The animals were acclimatized in the experimental facilities one week before starting the research. For the growth bioassay, a total of 225 small fish of 1.03 ± 0.03 g of initial weight were used, randomly distributed in nine tanks (25 animals per tank). The tank was the experimental unit. The diets were offered in broken pellets for the first 15 d, and later in 1

En Cuba se tiene poca experiencia en la utilización de zeolita natural en la alimentación de peces. Llanes y Castro (2020) informaron la sustitución de hasta 5 % del pienso por zeolita en alevines de tilapias del Nilo GIFT (*Oreochromis niloticus*), sin comprometer los indicadores productivos. No obstante, la literatura informa su efecto potenciador del crecimiento y la eficiencia alimentaria en numerosas especies acuícolas (El-Gendy *et al.* 2015 y Senmache y Reyes 2020), posiblemente por la absorción de compuestos tóxicos o por el incremento de la eficiencia en la asimilación de nutrientes.

El bagre africano *Clarias gariepinus* es la principal especie de cultivo intensivo en Cuba. De ahí que demande la mayor cantidad de pienso. La necesidad creciente de evaluar insumos nacionales para incrementar su eficiencia y reducir materias primas convencionales justifica el desarrollo de investigaciones, toda vez que en la piscicultura intensiva la alimentación representa los mayores costos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el reemplazo parcial de las materias primas por zeolita natural en los piensos de crecimiento y engorde de *Clarias gariepinus*.

Materiales y Métodos

Dietas experimentales y manejo de los animales. La investigación se realizó en el Laboratorio de Nutrición de Peces, de la Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (EDTA) en La Habana, Cuba. La instalación cuenta con tanques circulares de cemento, de 68 L de capacidad, con flujo de agua constante (recambio de 100 % diario).

Se realizaron dos experimentos. En el primero, en la etapa de crecimiento, se utilizó la formulación del pienso de alevinaje de bagres (D-1) y la sustitución de 3 % (D-2) y 5 % (D-3) de cada materia prima por zeolita natural. En el segundo, de igual forma, se usó el pienso de engorde de bagres (D-4) y el reemplazo de 5 % (D-5) y 7 % (D-6) (tabla 1). La zeolita experimental procedió de la planta San Andrés, en Holguín, Cuba. El producto se comercializa con el nombre de Zoad, y tiene una granulometría de menos de 0.8 mm.

Preparación de las dietas. Se molieron las harinas en un molino de martillo criollo, a 250 μm , y se fusionaron en una mezcladora (HOBART MC-600[®], Canadá). Se adicionaron el aceite, la zeolita natural y la premezcla de vitaminas y minerales. La peletización se realizó en un molino de carne (JAVAR 32, Colombia). La mezcla se secó en una estufa (Selecta, España) a 60 °C durante 24 h. A los ingredientes se les realizó análisis bromatológico, según los métodos descritos por AOAC (2016). La energía digestible (ED) se calculó con los coeficientes calóricos referidos por Toledo *et al.* (2015).

Bioensayos de crecimiento. Los animales se aclimataron en las instalaciones experimentales una semana antes de comenzar la investigación. Para el bioensayo de crecimiento, se utilizaron 225 alevines de 1.03 ± 0.03 g de peso inicial, distribuidos al azar en nueve tanques (25 animales por tanque). El tanque fue la unidad experimental.

Table 1. Composition and chemistry of the experimental diets, with different percentages of zeolite for *Clarias gariepinus* feeding

Ingredients	Growing				Fattenig	
	D-1 0 %	D-2 3 %	D-3 5 %	D-4 0 %	D-5 5 %	D-6 7 %
Fish meal	25.00	24.25	23.75	10.00	9.50	9.30
Soybean meal	36.00	34.92	34.20	45.00	42.75	41.85
Wheat	34.00	32.98	32.30	-	-	-
Corn	-	-	-	39.30	37.34	36.55
Vegetable oil	3.00	2.91	2.85	3.00	2.85	2.79
Dicalcium phosphate	1.00	0.97	0.95	1.70	1.61	1.58
*Vitamin mineral mixture	1.00	0.97	0.95	1.00	0.95	0.93
Natural zeolite	0.00	3.00	5.00	0.00	5.00	7.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Calculated analysis , %					
Dry matter	89.30	88.41	88.52	89.44	88.41	90.12
Crude protein	36.00	34.92	34.21	29.44	27.98	27.42
Ether extract	6.15	5.96	5.84	5.64	5.36	5.24
Crude fiber	3.72	3.61	3.54	4.00	3.80	3.72
Ashes	8.92	11.05	12.87	7.03	11.08	12.94
Calcium	1.54	1.49	1.46	1.01	0.95	0.93
Available phosphorous	0.96	0.94	0.92	0.71	0.67	0.65
Digestible energy , MJ/kg	12.08	11.72	11.48	11.51	10.93	10.70

*Vitamin mineral mixture (kg of diet): vitamin A 500 IU, D 100 IU, E 75 000 mg, K 20 000 mg, B₁ 10 000 mg, B₃ 30 000 mg, B₆ 20 000 mg, B₁₂ 100 mg, D 60 000 mg, niacin 200 000 mg, folic acid 500 mg, biotin 0.235 mg, selenium 0.2 g, iron 80 g, manganese 100 g, zinc 80 g, copper 15 g, potassium chloride 4 g, manganese oxide 0.6 g, sodium bicarbonate 1.5 g, iodine 1.0 g, cobalt 0.25 g.

mm particles. The feeding rate was 8 % of the biomass, supplied in two daily rations for 40 d.

For fattening, a total of 135 small fish were used, with an initial weight of 10.12 ± 0.05 g, located in nine tanks (15 fish per tank). The tank constituted the experimental unit. The feeding rate was 6 % of the biomass, added in two daily rations for 60 d.

Every day the values of temperature and dissolved oxygen were taken with a portable digital oximeter (HANNA®, Romania). At the end of the bioassay, the fish were individually weighed to calculate the following productive indicators:

Food supplied/ fish = food supplied/ number of final animals

Protein supplied/ fish = added protein / number of final animals

Final average weight

Feed conversion = food supplied / weight gain

Protein efficiency = weight gain / protein supplied

Survival = number of final animals / number of initial animals x 100

Statistical analysis. The statistical package InfoStat, version 2012 (Di Rienzo *et al.* 2012) was used. Where necessary, mean values were compared using Duncan (1955) test.

An analysis of variance was performed, according

Las dietas se ofrecieron en pellets quebrados los primeros 15 d, y posteriormente en partículas de 1 mm. La tasa de alimentación fue 8 % de la biomasa, suministrada en dos raciones diarias durante 40 d.

Para el engorde se utilizaron 135 alevines, de 10.12 ± 0.05 g de peso inicial, ubicados en nueve tanques (15 peces por tanque). El tanque constituyó la unidad experimental. La tasa de alimentación fue 6 % de la biomasa, adicionada en dos raciones diarias durante 60 d.

Todos los días se tomaron los valores de temperatura y oxígeno disuelto, con un oxímetro digital portátil (HANNA®, Rumania). Al final del bioensayo, los peces se pesaron individualmente para el cálculo de los siguientes indicadores productivos:

Alimento suministrado / pez = alimento suministrado/número de animales finales

Proteína suministrada/pez = proteína añadida/número de animales finales

Peso medio final

Conversión alimentaria = alimento suministrado/ganancia de peso

Eficiencia proteica = ganancia de peso/proteína suministrada

Supervivencias = número de animales finales/ número de animales iniciales x 100

Análisis estadístico. Se utilizó el paquete estadístico

to a one - way model. The theoretical assumptions of ANOVA were verified for all the variables based on Shapiro and Wilk (1965) tests for the normality of errors. Levene (1960) was applied for the homogeneity of variance. The variables fulfilled with the theoretical assumptions of the ANOVA. A ji-square proportions analysis was used for survival and the Fisher-Yates (1958) ($P < 0.05$) test was used for comparison.

Economic analysis. It was carried out according to Toledo *et al.* (2015) procedure. The costs of the rations were calculated from the international prices of raw matters for November 2021, reported by Indexmundi (2021) (table 2). To the results was added 45 % of the total cost of raw matters for additional expenses (transportation, maquila and administrative) for Cuba. These figures were multiplied by the feed conversion values obtained in this study to determine feeding costs.

InfoStat, versión 2012 (Di Rienzo *et al.* 2012). En los casos necesarios, los valores medios se compararon mediante la d6cima de Duncan (1955).

Se realiz6 an6lisis de varianza, seg6n modelo de clasificaci6n simple. Se verificaron los supuestos te6ricos del ANOVA para todas las variables a partir de las d6cimas de Shapiro y Wilk (1965) para la normalidad de los errores. Se aplic6 la de Levene (1960) para la homogeneidad de varianza. Las variables cumplieron con los supuestos te6ricos del ANOVA. Para la supervivencia se utiliz6 an6lisis de proporciones ji-cuadrado y para la comparaci6n se us6 la d6cima de Fisher- Yates (1958) ($P < 0.05$).

An6lisis econ6mico. Se realiz6 seg6n el procedimiento de Toledo *et al.* (2015). Se calcularon los costos de las raciones a partir de los precios internacionales de las materias primas para noviembre 2021, informados por Indexmundi (2021) (tabla 2). A los resultados se les sum6 el 45 % del total de costos de materias primas por

Table 2. Prices of raw matters used in the experimental diets, \$US/t

Raw matters	Prices, \$ US /t
Fish meal	1 442.75
Soybean meal	442.42
Wheat	317.44
Corn	248.72
Vegetable oil	1 439.57
Dicalcium phosphate	533.24
Vitamin – mineral mixture	1 975.11
Natural zeolite	70.00

Results and Discussion

During the experimental period, water circulation was efficiently controlled to guarantee 100 % of daily turnover. The temperature and dissolved oxygen in the water from the tanks ranged from 26.8 to 28.1 °C and from 5.54 to 5.96 mg/L, respectively. These values are considered comfort values for the good productive performance of the species (Toledo *et al.* 2015).

Rapid intake of the experimental diets by the animals was observed, suggesting that the palatability of the rations was not affected by the zeolite levels. Similarly, the pellets had good physical constitution and hydrostability.

Abdel-Rahim (2017) reported that zeolite increases palatability and has a binding effect, which contributes to improving food stability and reducing wastes. In addition, the author reported that it is used in artificial foods to reduce the toxic effects of aflatoxins and microbial agents that spoil food.

In the growth stage, the inclusion of 5 % of zeolite decreased the supplied protein/fish and disadvantaged feed conversion. On the contrary, the food supplied/fish, the final weights and the protein efficiency were not affected with the same level of inclusion (table 3).

concepto de gastos adicionales (transportaci6n, maquila y administrativos) para Cuba. Estas cifras se multiplicaron por los valores de conversi6n alimentaria obtenidos en este estudio para conocer los costos de alimentaci6n.

Resultados y Discusi6n

Durante el per6odo experimental, la circulaci6n de agua se control6 eficientemente para garantizar 100 % de recambio diario. La temperatura y el ox6geno disuelto en el agua de los tanques oscilaron entre 26.8 y 28.1 °C y de 5.54 a 5.96 mg/L, respectivamente. Estos valores se consideran de confort para el buen desempe1o productivo de la especie (Toledo *et al.* 2015).

Se observ6 r6pido consumo de las dietas experimentales por los animales, lo que sugiere que la palatabilidad de las raciones no se afect6 por los tenores de zeolita. De igual forma, los pellets tuvieron buena constituci6n f6sica e hidroestabilidad.

Abdel-Rahim (2017) inform6 que la zeolita incrementa la palatabilidad y tiene efecto aglutinador, lo que contribuye a mejorar la estabilidad del alimento y a reducir los desechos. Adem6s, este autor se1al6 que se utiliza en alimentos artificiales para disminuir los efectos t6xicos de aflatoxinas y agentes microbianos que deterioran los alimentos.

Tabla 3. Productive performance in the growing stage of *Clarias gariepinus* with the experimental diets

Indicators	D-1 0 %	D-2 3 %	D-3 5 %	± SE	P
Food supplied/fish, g	13.60	14.26	13.49	0.17	0.124
Protein supplied/fish, g	4.90 ^a	4.98 ^a	4.61 ^b	0.07	0.046
Final weights, g	16.83 ± 0.47	17.45 ± 0.54	15.97 ± 0.49	-	0.104
Feed conversion	0.86 ^a	0.86 ^a	0.91 ^b	0.01	0.017
Protein efficiency	3.23	3.29	3.24	0.02	0.422

Different letters in the same row differ at $P < 0.05$, according to Duncan (1955)

There was similar performance in fattening (table 4), a stage in which the increase in zeolite reduced the protein supplied/fish and, although the feed conversion did not have differences, it tended to deteriorate ($P = 0.076$). Therefore, a longer culture time is required to observe the effect of the highest concentration (7 %), once the fattening is six or seven months. These results show the efficiency of using natural zeolite in catfish feed.

En la etapa de crecimiento, la inclusión de 5 % de zeolita disminuyó la proteína suministrada/pez y desfavoreció la conversión alimentaria. Por el contrario, el alimento suministrado/pez, los pesos finales y la eficiencia proteica no se afectaron con igual nivel de inclusión (tabla 3).

Similar comportamiento se observó en el engorde (tabla 4), etapa en que el incremento de zeolita redujo la proteína suministrada/pez y, aunque la conversión

Tabla 4. Productive performance in the fattening of *Clarias gariepinus* with the experimental diets

Indicators	D-4 0 %	D-5 5 %	D-6 7 %	± SE	P
Food supplied/fish, g	75.01	73.13	75.02	0.23	0.497
Protein supplied/fish, g	22.07 ^a	20.48 ^b	20.42 ^b	0.11	0.028
Final weights, g	69.33 ± 2.43	68.69 ± 2.47	66.92 ± 2.11	-	0.668
Feed conversion	1.33	1.35	1.40	0.01	0.076
Protein efficiency	2.56	2.58	2.59	0.01	0.810

Different letters in the same row differ at $P < 0.05$, according to Duncan (1955)

The amount of food supplied/fish was similar, regardless of the zeolite inclusion levels, because feeding was restricted by body weight, and these were similar between treatments during culture. Regarding the supplied protein, a decrease was recorded when increasing the zeolite levels, due to a dilution effect that reduces its concentration on the diets.

The final weights of *Clarias gariepinus* small fish and young fish, fed with natural zeolite and without it, were similar (tables 3 and 4). In studies with red tilapia *Oreochromis sp.* (Rafiee and Saad 2005), Nile tilapias GIFT (Llanes and Castro 2020) and river shrimp *Cryphiops caementarius* (Senmache and Reyes 2020) there were no significant effect of this mineral on the animals growth. In contrast, its favorable action is reported on Nile tilapias (El-Gendy *et al.* 2015), snakehead fish *Channa striatus* (Jawahar *et al.* 2016), rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Sheikhzadeh *et al.* 2017) and red tilapia (Zain *et al.* 2018). The reason for these differences could be given by the species, types and properties of the zeolites, as well as by the inclusion

alimentaria no presentó diferencias, tendió a su deterioro ($P = 0.076$). Por tanto, se requiere mayor tiempo de cultivo para observar el efecto de la mayor concentración (7 %), una vez que el engorde es de seis o siete meses. Estos resultados demuestran la eficiencia de utilizar zeolita natural en los piensos del bagre africano.

La cantidad de alimento suministrado/pez resultó similar, independientemente de la cantidad de inclusión de zeolita, debido a que la alimentación se restringió por el peso corporal, y estos fueron similares entre tratamientos durante el cultivo. En cuanto a la proteína suministrada, se registró disminución al incrementar los valores de zeolita, por un efecto de dilución que reduce su concentración en las dietas.

Los pesos finales de alevines y juveniles de *Clarias gariepinus*, alimentados con zeolita natural y sin ella, fueron similares (tabla 3 y 4). En estudios con tilapias rojas *Oreochromis sp.* (Rafiee y Saad 2005), tilapias del Nilo GIFT (Llanes y Castro 2020) y camarón de río *Cryphiops caementarius* (Senmache y Reyes 2020) no se informa efecto significativo de este mineral en el crecimiento de

levels in the ration.

Regarding feed efficiency indicators, the increase of zeolite in the ration tends to worse feed conversion, since the mineral is not absorbed and forms part of the volume of fecal matter. However, the protein efficiency values (tables 3 and 4) showed the high efficiency of the zeolite in the metabolic use of nitrogen, as it did not disfavor weight gain and survival with lower protein concentration. The efficient use of dietary protein depends on the content and balance of aminoacids (AA), and is important for optimal fish growth (Rodríguez-Avella *et al.* 2019). Therefore, it is evident that zeolite did not alter the nutrient balance, and can contribute to formulations that improve productive performance and health, and that are also friendly to the environment.

Castro *et al.* (2019) reported the advantages of using zeolite in monogastric animals feeding, by slowing down the speed of chyme through the digestive tract. Cation exchange channels trap nutrients, such as nitrogen, for slower release in the intestines. In addition, its high silicon content favors the constant scraping of the intestinal villi, where those that are worn are removed, and the formation of new villi is stimulated. These conditions favor the absorption process and the most efficient use of dietary nutrients.

The literature refers to other studies on the use of zeolite in fish feeding. El-Gendy *et al.* (2015) evaluated different feeding rates (2, 2.5 and 3 % of body weight) in Nile tilapia at a production scale, including 2 % zeolite in the feed (25 % protein), and found the best indicators of water quality, productive and economic with 2.5 %. Sheikhzadeh *et al.* (2017) showed that 5 g/kg of zeolite had a potential effect on growth, digestive enzyme activity and various biochemical indices in rainbow trout. Zain *et al.* (2018) reported that the addition of zeolite was essential to improve water quality and growth indicators of red tilapia. This shows that an optimal concentration of dietary zeolite allows better use of diet nutrients and improves the productive performance of animals.

The survival of the fish did not show differences when increasing the zeolite levels (table 5), which shows that the use of this mineral does not compromise the animals health. Jawahar *et al.* (2016) reported improvements in the immune response and resistance to diseases caused by *Aphanomyces invadans* in snakehead fish. Martínez *et al.* (2019) reported that zeolite retains the ammoniacal nitrogen emitted in urine and feces to improve water quality, which is decisive for the vitality of fish. The values of this study were similar (> 92.0 %) to those reported for Nile tilapia (El-Gendy *et al.* 2015) and Nile tilapia GIFT (Llanes and Castro 2020).

The economic analysis showed that the increase in natural zeolite decreases the costs of the rations due to

los animales. En contraste, sí se refiere su acción favorable en tilapias del Nilo (El-Gendy *et al.* 2015), pez cabeza de serpiente *Channa striatus* (Jawahar *et al.* 2016), trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Sheikhzadeh *et al.* 2017) y tilapia roja (Zain *et al.* 2018). La razón de estas diferencias pudiera estar dada por la especie, tipos y propiedades de las zeolitas, así como por los valores de inclusión en la ración.

En cuanto a los indicadores de eficiencia alimentaria, el incremento de zeolita en la ración tiende a deteriorar la conversión alimentaria, una vez que el mineral no se absorbe y forma parte del volumen de materia fecal. No obstante, los valores de eficiencia proteica (tabla 3 y 4) mostraron la alta eficacia de la zeolita en la utilización metabólica del nitrógeno, al no desfavorecer la ganancia de peso y la supervivencia con menor concentración de proteínas. La eficiente utilización de la proteína dietética depende del contenido y balance de aminoácidos (AA), y es importante para el óptimo crecimiento de los peces (Rodríguez-Avella *et al.* 2019). Por tanto, se evidencia que la zeolita no alteró el balance de nutrientes, y puede contribuir con formulaciones que mejoren el comportamiento productivo y la salud, y que además sean amigables con el ambiente.

Castro *et al.* (2019) informaron las ventajas de la utilización de zeolita en la alimentación de animales monogástricos, al disminuir la velocidad del quimo a través del tubo digestivo. Los canales de intercambio catiónico atrapan nutrientes, como el nitrógeno, para su liberación más lenta en los intestinos. Además, su alto contenido de silicio favorece el raspado constante de las vellosidades intestinales, donde se eliminan las que se hallan desgastadas, y se estimula la formación de nuevas vellosidades. Estas condiciones favorecen el proceso de absorción y la utilización más eficiente de los nutrientes dietéticos.

La literatura refiere otros trabajos de utilización de la zeolita en la alimentación de peces. El-Gendy *et al.* (2015) evaluaron diferentes tasas de alimentación (2, 2.5 y 3 % del peso corporal) en tilapias del Nilo a escala productiva, con inclusión de 2 % de zeolita en el pienso (25 % de proteínas), y encontraron los mejores indicadores de calidad del agua, productivos y económicos con 2.5 %. Sheikhzadeh *et al.* (2017) demostraron que 5 g/kg de zeolita tuvo efecto potencial en el crecimiento, actividad de las enzimas digestivas y varios índices bioquímicos en la trucha arcoíris. Zain *et al.* (2018) informaron que la adición de zeolita fue esencial para mejorar la calidad del agua y los indicadores de crecimiento de la tilapia roja. Lo anterior indica que una concentración óptima de zeolita dietética permite aprovechar mejor los nutrientes de la dieta y mejorar el comportamiento productivo de los animales.

La supervivencia de los peces no mostró diferencias, al incrementar los valores de zeolita (tabla 5), lo que demuestra que el empleo de este mineral no compromete la salud de los animales. Jawahar *et al.* (2016) informaron mejoras en la respuesta inmune y resistencia a enfermedades causadas por *Aphanomyces invadans* en el pez cabeza de serpiente. Martínez *et al.* (2019)

Tabla 5. Results of the survival of small fish of *Clarias gariepinus* fed with experimental diets in the growth and fattening period

Stages	D1		D2		D3		SE ±	P
	60 % HP		51 % HP		42 % HP			
	No.	%	No.	%	No.	%		
Wrowing	74	98.67	71	94.67	73	97.33	2.00	0.313
Fattening	45	100.00	45	100.00	44	97.78	1.78	0.422

its low price compared to the raw matters that make up commercial feeds (table 6). In the growing stage, the results showed savings with 3 % inclusion, once the ration cost decreased and feed conversion was not disadvantaged. However, with 5 % there was an economic loss because 70 kg of more food for every 100,000 small fish is needed.

refirieron que la zeolita retiene el nitrógeno amoniacal emitido en la orina y heces para mejorar la calidad del agua, que es determinante para la vitalidad de los peces. Los valores de este trabajo fueron similares (> 92.0 %) a los referidos para tilapias del Nilo (El-Gendy *et al.* 2015) y tilapias del Nilo GIFT (Llanes y Castro 2020).

El análisis económico mostró que el incremento de

Table 6. Economic analysis of *C. gariepinus* production with the inclusion of natural zeolite in small fish and fattening feed, US \$/t

Indicators	Growing			Fattening		
	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6
	0 %	3 %	5 %	0 %	5 %	7 %
Ration cost	1 009.43	983.44	964.03	744.02	711.87	699.04
Feeding cost	868.11	845.76	877.27	989.54	961.02	978.65
Monetary savings	-	22.35	-9.16	-	28.52	10.89

Feeding cost = Ration cost x feed conversion

In fattening, higher amounts of profits were obtained, as the levels of substitution of raw matters by zeolite were higher. The results showed savings for 5 and 7 %. However, with 5 % it was 2.6 times higher due to a better feed conversion. It is important highlighted that fattening is the stage of greatest demand of food, where a significant amount of the budget is still used to import raw matters to guarantee food sovereignty. The results of this study confirm those obtained by El-Gendy *et al.* (2015), Abdel-Rahim (2017) and Llanes and Castro (2020), who reported that the use of zeolite contributes to lower feeding costs.

The use of natural zeolite introduces important elements of efficiency in the performance of catfish, although more studies are needed to determine the effects on the digestive physiology of small fish and young catfish. The inclusion of mineral in the feed formulas replaces, in the same proportion, the diets components, and it is not necessary to correct the formula in terms of nutrient levels. The results show that the partial replacement of 3 % of the raw matters by natural zeolite in the small fish feed and 5 % in the fattening feed does not compromise the productive performance of *Clarias gariepinus* and has a positive economic effect.

Acknowledgments

Thanks to the Centro Nacional de Producción de

zeolita natural disminuye los costos de las raciones por su bajo precio con respecto a las materias primas que componen los piensos comerciales (tabla 6). En la etapa de crecimiento, los resultados evidenciaron ahorros con 3 % de inclusión, una vez que disminuyó el costo de la ración y no se desfavoreció la conversión alimentaria. Sin embargo, con 5 % hubo pérdida económica porque se necesitan 70 kg más de alimento por cada 100 000 alevines.

En el engorde se obtuvieron mayores montos de ganancias, al ser superior la sustitución de materias primas por zeolita. Los resultados mostraron ahorro para 5 y 7 %. No obstante, con 5 % fue 2.6 veces mayor por la mejor conversión alimentaria. Es importante señalar que el engorde es la etapa de mayor demanda de alimento, donde todavía se utiliza un monto importante del presupuesto en la importación de materias primas. Los resultados de este trabajo confirman los obtenidos por El-Gendy *et al.* (2015), Abdel-Rahim (2017) y Llanes y Castro (2020), quienes informaron que la utilización de zeolita contribuye a disminuir los costos de alimentación.

El uso de la zeolita natural introduce elementos importantes de eficiencia en el comportamiento del bagre africano, aunque se necesitan más trabajos para determinar los efectos en la fisiología digestiva de alevines y juveniles del bagre africano. La inclusión del mineral en las fórmulas de pienso sustituye, en la misma proporción, los componentes de las dietas, y no es necesario corregir la fórmula en cuanto a los tenores de nutrientes. Los resultados indican que el remplazo

Animales de Laboratorio (CENPALAB) for the support provided in the acquisition of raw matters for the preparation of experimental diets.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's contribution

J. E. Llanes: Conceptualization, Investigation, Methodology, Writing – original draft

M. Castro: Conceptualization, Methodology.

Magaly Herrera: Formal analysis.

parcial de 3 % de las materias primas por zeolita natural en el pienso de alevinaje y 5 % en el de engorde no compromete el comportamiento productivo de *Clarias gariepinus* y tiene efecto económico positivo.

Agradecimientos

Se agradece al Centro Nacional de Producción de Animales de Laboratorio (CENPALAB) por el apoyo brindado en la adquisición de materias primas para la elaboración de las dietas experimentales.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

Contribución de los autores

J.E. Llanes: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción – borrador original.

M. Castro: Conceptualización, Metodología.

Magaly Herrera: Análisis formal.

References

- Abdel-Rahim, M.M. 2017. "Sustainable Use of Natural Zeolites in Aquaculture: A Short Review". Fisheries and Oceanography, 2(4): 555593, ISSN: 2476-0536. <https://doi.org/10.19080/OFOAJ.2017.02.555593>.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20th Ed. George W. Latimer Jr (ed). Ed. AOAC International, Rockville MD, USA, ISBN: 978-0935-584-875. Available: <<http://www.directtextbook.com/isbn/9780935584875>>, [Consulted: September 22, 2016].
- Castro, M., Martínez, M., Piloto, J. L., Agüero, M & Ly, J. 2019. Importancia de la zeolita natural en la producción porcina para reducir costos, importaciones y el deterioro del medio ambiente. In: VIII Seminario Internacional Porcicultura Tropical. Del 27 al 31 de mayo de 2019. La Habana, Cuba.
- Díaz, H, Liriano, R.& Abreu, E. 2019. "Evaluación agronómica de fertilizantes de fórmula completa mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*)". Revista Centro Agrícola, 46(1): 24-30, ISSN: 2072-2001.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. 2012 Infostat versión 2012. Grupo Infostat. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available: <http://www.infostat.com.ar>. [Consulted: October 9, 2019].
- Duncan, D.B. 1955. "Multiple Range and Multiple F Tests". Biometrics, 11(1): 1-42, ISSN: 0006-341X. <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- El-Gendy, M.O., Gouda, A.H.& Shehab, M.T. 2015. "Effect of Zeolite on Feeding Rates and Growth Performance for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)". International Journal Scientific Research in Agricultural Sciences, 2: 018-024, ISSN: 2345-6795. Available: <http://www.ijrpub.com/ijrsras>.
- Fisher, R.A. & Yates, F. 1958. Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research, Oliver and Boyd, Edinburg.
- Indexmundi. 2021. Precios de mercado de materias primas y fertilizantes. Available: www.indexmundi.com/preciosdemercados. [Consulted: November 6, 2021].
- Jawahar, S., Nafar, A., Vasanth, K., Musthafa, M., Arockiaraj, J., Balasundaram, C. & Harikrishnan, R. 2016. "Dietary supplementation of zeolite on growth performance, immunological role, and disease resistance in Channa striatus against Aphanomyces invadans". Fish & Shellfish Immunology, 51: 161-169, ISSN: 1050-4648. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.02.019>.
- Levene, H. 1960. Robust tests for the equality of variance In: Olkin, I., Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling, Stanford University Press, pp. 278–292, ISBN: 978-0-8047-0596-7.
- Llanes, J. & Castro, M. 2020. "Sustitución de pienso comercial por zeolita natural en tilapia del Nilo GIFT (*Oreochromis niloticus*)". Cuban Journal of Agricultural Science, 54(3): 169-173, ISSN: 2079-3480.
- Martínez, S.J., Matamoros, A.D. & Ramos, L.B. 2019. "Caracterización de una zeolita del yacimiento el Chorrillo, Camagüey, para su uso en la captura de amonio. Prueba de concepto". Revista de Producción Animal, 31 (3), ISSN: 2224 -7920. Available: <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e3078>.
- Rafiee, G. & Saad, C.R. 2006. "The effect of natural zeolite (Clinoptilolite) on aquaponic production of Red Tilapia (*Oreochromis sp.*) and Lettuce (*Lactuca sativa* var. longifolia), and improvement of water quality". Journal of Agricultural Science and Technology, (8): 313-322, ISSN: 1680-7073.
- Rodríguez-Avella, D.A. 2019. Nutrición y alimentación en acuicultura. Pp: 45-82. In: Daza, P.V. y M. Landines-Parra (eds.). Fundamentos de Acuicultura Continental (3era edición). Bogotá D.C. 241 pp.
- Senmache, N. & Reyes, W. 2020. "Efecto de dietas con zeolita natural en el crecimiento y supervivencia del camarón de río *Cryphiops caementarius*". Revista de Investigación Científica REBIOL, 40(1): 30-38, ISSN 2313-3171. <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.04>.
- Sheikhzadeh, N., Kouchaki, M., Mehregan, M., Tayefi-Nasrabadi, H., Divband, B., Khataminan, M., Oushani A.K. &

- Shabanzadeh S. 2017. "Influence of nanochitosan/zeolite composite on growth performance, digestive enzymes and serum biochemical parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)". *Aquaculture Research*, 48 (12): 5955–5964, ISSN: 1365-2109. <https://doi.org/10.1111/are.13418>.
- Skleničková, K., Koloušek, D., Pečenka, M., Vejmelková, D., Šlouf, M. & Růžičková, I. 2020. "Application of zeolite filters in fish breeding recirculation systems and their effect on nitrifying bacteria". *Aquaculture*, 516: 734605, ISSN: 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734605>.
- Shapiro, S.S. & Wilk, M.B. 1965. "An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples)". *Biometrika*, 52(3/4): 591–611, ISSN: 0006-3444. <https://doi.org/10.2307/2333709>.
- Toledo, J., Llanes, J.E. & Romero, C. 2015. "Nutrición y alimentación de peces de aguas cálidas". *AcuaCUBA*, 17(1): 5-22, ISSN: 1608-0467.
- Zain, R.A.M.M., Shaari, N.F.I., Amin, M.F.M. & Jani, M. 2018. "Effects of different dose of zeolite (clinoptilolite) in improving water quality and growth performance of red hybrid tilapia (*Oreochromis sp.*)". *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(24): 9421-9426, ISSN: 1819-6608.

Received: February 25, 2022

Accepted: April 30, 2022