

CICLO DE VIDA Y CURVA DE CRECIMIENTO DE LA CEPA *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov. (IMP-BG Z021) (CLADOCERA: DAPHNIIIDAE) EN CONDICIÓN EX SITU

LIFE CYCLE AND GROWTH CURVE OF *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov. (IMP-BG Z021) (CLADOCERA: DAPHNIIIDAE) IN EX-SITU CONDITION

Pedro Pablo Alonso Sánchez-Dávila¹ Marcelo Silva-Briano² Araceli Adabache-Ortiz²
José Gustavo Caveró-Arana³ Mario Manuel Polar-Pérez⁴

<https://doi.org/10.53554/boletin.v37i1.355>

RESUMEN

SÁNCHEZ-DÁVILA, P., SILVA-BRIANO, M., ABADACHE-ORTIZ, A., CAVERO-ARANA, J., POLAR-PÉREZ, M. (2022). *Ciclo de vida y curva de crecimiento de la cepa Simocephalus mixtus imarpe sp. nov. (IMP-BG Z021) (Cladocera: Daphniidae) en condición ex situ. Bol Inst Mar Perú. 37(1): 5-21.*- Se empezó un monocultivo a partir de una hembra partenogenética de la cepa *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov. IMP-BG-Z021 de la laguna Jitarayoc o Guitarra Yoc en la Región Ayacucho sobre 4600 msnm. Se evaluó el crecimiento diario de una muestra (n= 60) nacidos en un intervalo de 8 horas, el *fitness* fue alterado al medir los mismos individuos a lo largo de su vida, observándose un comportamiento resistente a la manipulación. Los individuos fueron criados en un beaker de medio litro dentro de una cámara climática a 16 °C, fotoperiodo 14:12 O: L, salinidad 0‰ y fueron alimentados con la microalga *Chlorella* sp. Se registraron los parámetros longevidad (75 días), progenie (20,4 crías/hembra en promedio), etapa pre reproductiva (8 días), reproductiva y post reproductiva casi ausente. Además, se consideraron los parámetros biométricos longitud y ancho durante el desarrollo de las crías (708,99 µm) hasta su adultez (2063,39 µm) y eclosión de huevos de resistencia o efitio al aumentar 8 °C de la temperatura en la que se desarrolló. La tasa de crecimiento individual fue k= 13,69 y su longitud máxima fue 2750 µm. Se propone la relación de procesos de especiación con las características geológicas del hábitat, así como la conservación de esta cepa como organismos andinos aptos para experimentación y alimento vivo nativo debido a su rusticidad al manejo y adaptación a temperaturas templadas.

PALABRAS CLAVE: *Simocephalus*, ciclo de vida, curva de crecimiento, cepa andina, huevos de resistencia

ABSTRACT

SÁNCHEZ-DÁVILA, P., SILVA-BRIANO, M., ABADACHE-ORTIZ, A., CAVERO-ARANA, J., POLAR-PÉREZ, M. (2022). *Life cycle and growth curve of Simocephalus mixtus imarpe sp. nov. (IMP-BG Z021) (Cladocera: Daphniidae) in ex situ condition. Bol Inst Mar Peru. 37(1): 5-21.*- We started a monoculture from an isolated parthenogenetic female of the strain *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov. IMP-BG-Z021. The sample was collected from the Jitarayoc o Guitarra Yoc lagoon in the Ayacucho Region, over 4600 masl. The daily growth of this strain (n = 60), born in 8 hours, was evaluated, although the fitness was altered by measuring the same individuals until their death, and a behavior resistant to manipulation was observed. The individuals were reared in a half-liter beaker in a climatic chamber at 16 °C, photoperiod 14:12 D: L, salinity was 0‰, and were fed with the microalga *Chlorella* sp. The following parameters were recorded: longevity (75 days), progeny (20.4 offsprings/female on average), pre-reproductive stage (8 days), reproductive and post-reproductive stages almost absent. Additionally, we considered the length and width during offspring development (708.99 µm) until adulthood (2063.39 µm), and the hatching of resistance eggs or ephippium at an increase of 8 °C of the temperature at which it developed. The individual growth rate was k= 13.69 and its maximum length was 2750 µm. We propose the relationship of speciation processes with the geological characteristics of the habitat, as well as the conservation of this strain as Andean organisms suitable for experimentation and native live food due to their hardiness to handling and adaptation to temperate temperatures.

KEYWORDS: *Simocephalus*, life cycle, growth curve, Andean strain, resistance eggs

1. INTRODUCCIÓN

El género *Simocephalus* representa organismos no pelágicos de la familia Daphniidae fácilmente reconocibles por la ausencia de espina dorsal y una marcada segmentación entre la cabeza y el

1. INTRODUCTION

The genus *Simocephalus* is formed by non-pelagic organisms of the family Daphniidae, which are easily recognizable by the absence of a backbone and a noticeable segmentation

1 IMARPE, DGIA, AFIA, BGOA, Esquina Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao, Perú. psanchez@imarpe.gob.pe

2 Universidad Autónoma de Aguascalientes. Centro de Ciencias Básicas. Edificio 202. Laboratorio N.1, de Ecología. Departamento de Biología. México

3 IMARPE, DGIA, AFIA,

4 IMARPE, DGIA, AFIMC,

cuerpo. Son Anomópodos filtradores con hábitat en aguas lólicas asociados al litoral, plantas o rocas cubiertas de microalgas.

ORLOVA-BIENKOWSKAJA (2001) hizo una completa revisión morfológica y biogeográfica del género, en la cual argumentó cuatro sub géneros (*Simocephalus s. str.*, *Echinocaudus*; *Coronocephalus* y *Aquipiculus*), describió 19 especies más el complejo específico *S. acutirostratus* y cinco taxa *Nomina dubia*. Basados en esta información, Sudamérica solo presentaría las especies *S. latirostris*, *S. semiserratus*, *S. serrulatus* y *S. mirabilis* de acuerdo a reportes encontrados en Brasil (ORLOVA-BIENKOWSKAJA, 1995) y Argentina (ORLOVA-BIENKOWSKAJA, 1998). En tanto, para Perú, KAMEYA (1986) empezó un registro formal al describir para Lima dos morfotipos. Pocos años después, la lista de cladóceros de algunas lagunas altoandinas generada por VALDIVIA y ZAMBRANO (1989) VALDIVIA y BURGER (1990) y ZAMBRANO y BURGER (1992) registran una especie para Huánuco y dos para Junín, pero lamentablemente sin descripción morfológica de respaldo. Actualmente, se rescatan cinco registros moleculares, tres aportados por el IMARPE (Ayacucho y Cusco) en la base Genbank y dos originarios de Puno en Bold Systems, aportados por el *Biodiveristy Institute* de Ontario, Canadá.

Si bien el registro morfológico del género es escaso (HUDEC, 1993; ELÍAS-GUTIÉRREZ *et al.*, 2008; XIANG *et al.*, 2015), más aún es del ciclo de vida, así GREEN (1919) lo justificó en los cladóceros como factor fundamental para las correlaciones ecológicas u otras aplicaciones como la acuicultura, por ello describir los ciclos de vida de cepas locales, permitiría el correcto mantenimiento de linajes y cuantificación de efectos externos de experimentación sobre parámetros estandarizados. BANTA (1926) reportó en EE. UU el proceso partenogenético de telitoquia en *S. vetulus* desde la maduración ovárica sin encontrar diferencias en el tamaño de los neonatos hembras y machos. WOLTERECK (1911) reportó que bajas temperaturas y la deficiencia de alimento promueve la formación de efipio, también propuso variación autónoma como uno de los factores que determinan el ciclo de vida en Dáfnidos; es decir, en ciertos periodos

between the head and the body. They are filter-feeding anomopods inhabiting lotic waters associated with shorelines, plants, or rocks covered with microalgae.

ORLOVA-BIENKOWSKAJA (2001) made a complete morphological and biogeographical revision of the genus, in which she presented four subgenera (*Simocephalus s. str.*, *Echinocaudus*; *Coronocephalus*, and *Aquipiculus*), described 19 species plus the specific complex *S. acutirostratus* and 5 taxa *Nomina dubia*. Therefore, South America would only present the species *S. latirostris*, *S. semiserratus*, *S. serrulatus*, and *S. mirabilis* according to reports from Brazil (ORLOVA-BIENKOWSKAJA, 1995) and Argentina (ORLOVA-BIENKOWSKAJA, 1998). For Perú, KAMEYA (1986) began a formal record by describing two morphotypes for Lima. A few years later, VALDIVIA & ZAMBRANO (1989), VALDIVIA & BURGER (1990), and ZAMBRANO & BURGER (1992) recorded one species for Huánuco and two for Junín, but unfortunately without a morphological description. Currently, five molecular records have been recovered, three provided by IMARPE (Ayacucho and Cusco) in the Genbank database and two from Puno in Bold Systems, provided by the Biodiversity Institute of Ontario, Canada.

Although the morphological record of the genus is scarce (HUDEC, 1993; ELÍAS-GUTIÉRREZ *et al.*, 2008; XIANG *et al.*, 2015), those about its life cycle are scarcer, as stated by GREEN (1919), who indicates that the life cycle of cladocerans is a key factor for ecological correlations or other applications such as aquaculture. Therefore, describing the life cycles of local strains would allow the correct maintenance of lineages and quantification of external effects of experimentation on standardized parameters. In the USA, BANTA (1926) reported thelytoky in *S. vetulus* from ovarian maturation without finding differences in the size of female and male neonates. WOLTERECK (1911) reported that low temperatures and food deficiency favor the formation of ephippium. The author also proposed autonomous variation as one of the factors determining the life cycle in *Daphnia* species; *i.e.*, in certain

los factores ambientales no influenciarían sobre el tipo de reproducción que tendrán, acorde a sus resultados encontró diferencias en cultivos bajo las mismas condiciones, lo cual exige mayor experimentación previa en el diseño de ensayos aplicados. PAPANICOLAU (1910) reportó en Alemania que la aceleración del ciclo de vida y partenogénesis de *S. vetulus* se encontraba relacionada a temperaturas medias de 24 °C. Sin embargo, a temperaturas frías, entre 6 y 8 °C, favorecían la gametogénesis por la aparición de machos, hembras con huevos de resistencia e incluso a largo plazo ralentizaba la velocidad de desarrollo y redujo el crecimiento individual; hasta la degeneración de tejidos por aumento de tamaño celular en el intestino provocando organismos no viables, este proceso degenerativo poblacional se aceleraba sumándole el factor mala alimentación.

Entonces, los registros biométricos, sumados a la descripción de ciclo de vida a través de la conservación *ex-situ* de cladóceros alto andinos, permitiría evaluar su potencial industrial como asidero para reforzar líneas de investigación como acuicultura, ecología, toxicología, biología experimental o genética. El género *Simocephalus* tolera el cultivo mono específico, resultan amigables para experimentar, así como estudiar su comportamiento, fisiología, ontogenia y taxonomía. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue describir el ciclo de vida, producción de crías, curva de crecimiento individual y eclosión de huevos de resistencia de *Simocephalus mixtus imarpe sp. nov.* cepa IMP-BG-Z021.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La cepa *Simocephalus mixtus imarpe sp. nov.* (IMP-BG-Z021) provino de una muestra colectada en el borde de la laguna Jitarayoc o Guitarra Yoc, ubicada en la provincia de Cangallo, distrito de Paras, Región Ayacucho a más de 4600 msnm. Dicho cuerpo de agua, tiene 3,249 hectáreas. Se registró las características geológicas de la zona de estudio, además se complementó con data obtenida del Geocatmin, sitio web del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Ministerio de Energía y Minas (cuadrángulo 27n2). La estación de muestreo respondió a

periods, the environmental factors would not influence the type of reproduction they will have, and he found differences in cultures under the same conditions, which requires more previous experimentation in the design of applied trials. In Germany, PAPANICOLAU (1910) pointed out that the acceleration of the life cycle and parthenogenesis of *S. vetulus* was related to mean temperatures of 24 °C, but cold temperatures between 6 and 8 °C favored gametogenesis by the appearance of males, females with resistance eggs and even in the long term slowed the speed of development and reduced individual growth, they even resulted in tissue degeneration by increasing cell size in the intestine causing non-viable organisms. This population degenerative process was accelerated by poor nutrition.

Therefore, biometric records, added to the description of the life cycle through *ex-situ* conservation of high Andean cladocerans, would allow the evaluation of their industrial potential as a basis for reinforcing research lines such as aquaculture, ecology, toxicology, experimental biology, or genetics. The genus *Simocephalus* tolerates monoculture, being easy to experiment with, as well as to study its behavior, physiology, ontogeny, and taxonomy. Thus, our goal was to describe the life cycle, offspring production, individual growth curve, and hatching of resistance eggs of *Simocephalus mixtus imarpe sp. nov.* IMP-BG-Z021.

2. MATERIAL AND METHODS

The strain *Simocephalus mixtus imarpe sp. nov.* (IMP-BG-Z021) came from a sample collected at the edge of the Jitarayoc or Guitarra Yoc lagoon, located in Cangallo, district of Paras, Ayacucho Region at more than 4600 masl. This water mass has 3,249 hectares and we also recorded the geological characteristics of the area. This information was complemented with data obtained from Geocatmin, website of the Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico of the Ministry of Energy and Mines (quadrangle 27n2). The sampling station was located at

las coordenadas geográficas 13°23'43,90"S; 74°41'15,60"O (Fig. 1). Para el registro de la estación de muestreo, se utilizó el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), por sus siglas en inglés, marca Garmin y modelo GPSMAP 60CSx, el Datum utilizado en la cartografía fue WGS1984, 18 Sur; el mapa y la cartografía fue realizado mediante el uso del ArcGIS, versión 10.1, la imagen de fondo corresponde a Basemap. Se procesaron imágenes satelitales Sentinel-2A, de fechas 12 de abril y 30 de agosto 2020, dicho procesamiento se realizó con la combinación de bandas B4, B3 y B2 (10 m).

Los individuos se mantuvieron en una cámara climática marca Torrey modelo R-14AI, con temperatura de 16 ±1 °C, salinidad de 0‰, fotoperiodo de 14:10 O: L y alimentadas con la microalga *Chlorella* sp.

the geographic coordinates 13°23'43.90"S; 74°41'15.60"W (Fig. 1). The Garmin GPS model GPSMAP 60CSx was used to record the sampling station, the datum used in the mapping was WGS1984, 18 South; the map and the mapping were done using ArcGIS, version 10.1, the background image corresponds to Basemap. Sentinel-2A satellite images, dated April 12 and August 30, 2020, were processed with the combination of bands B4, B3, and B2 (10 m).

The individuals were kept in a Torrey model R-14AI climatic chamber, with a temperature of 16 ±1 °C, a salinity of 0‰, a photoperiod of 14:10 D: L, and fed with the microalgae *Chlorella* sp.

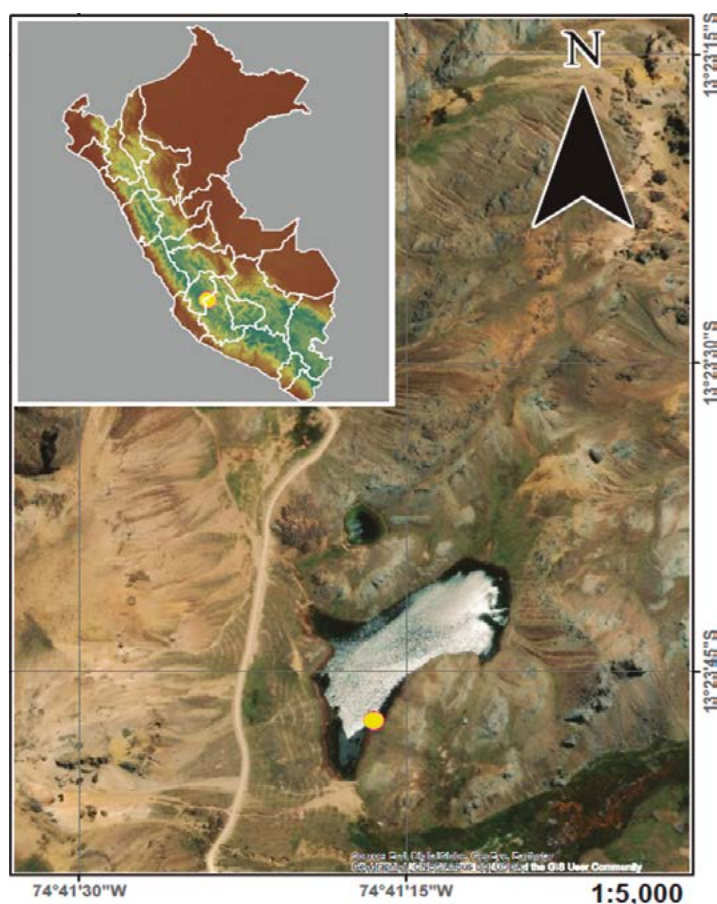


Figura 1.- Mapa de la zona de origen. El punto amarillo indica el lugar de colecta

Figure 1. Map of the source area. The yellow dot indicates the collection site

Para describir su ciclo de vida y tasa de crecimiento, se empezó un monocultivo a partir de una hembra partenogenética, se aislaron las crías y a partir de estas se seleccionaron quince hembras partenogenéticas dos semanas después. Se aislaron 60 crías nacidas en un intervalo de 8 horas, dentro de un beaker de medio litro con las mismas condiciones de cultivo que el cultivo madre y se registró diariamente para cada cría el largo y ancho en micrómetros (μm), cada individuo fue medido hasta su muerte. Las crías nacidas durante el experimento fueron separadas tres a cuatro veces por semana y agrupadas en beaker cada 10 días para su conteo. Las mediciones se realizaron en un microscopio Leica DM1000 a 4X de magnificación, fotografiados con un captador de imágenes CMOS DFC290 HD de 3 megapíxeles y medidos con el programa *Leica Application Suite* v.4.10.0.

Durante este periodo se registraron los parámetros sexo, longevidad, progenie, etapa pre reproductiva, reproductiva y post reproductiva. Se complementaron las mediciones iniciales de adultos hasta $n=110$, para minimizar el error estándar. Se juntaron 20 huevos de resistencia del beaker madre para describir su eclosión aumentando la temperatura inicial en $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y regresándolos un mes después a su condición inicial. La curva de crecimiento se calculó usando el modelo de von Bertalanffy con el programa R, los gráficos fueron vectorizados en el programa libre InkScape 0.92.

3. RESULTADOS

Se reportó el hábitat como una zona rica en rocas volcánicas granodioríticas, además el análisis temporal del cuerpo de agua de la laguna, para determinar su variación o decrecimiento en periodos de estiaje mediante la comparación de las imágenes satelitales Sentinel-2 a. Se determinó que el cuerpo de agua tiende a mantener su mismo volumen durante periodos secos y húmedos (Fig. 2).

We started a monoculture from a parthenogenetic female to describe its life cycle and growth rate and then we isolated the offspring and selected fifteen parthenogenetic females two weeks later. Sixty hatchlings born at an interval of 8 hours were isolated in a half-liter beaker with the same culture conditions as the mother culture and the length and width in micrometers (μm) were recorded daily for each hatchling until their death. The hatchlings born during the experiment were separated three to four times per week and grouped in the beaker on a 10-day basis for counting. Measurements were taken on a Leica DM1000 microscope at 4X magnification, photographed with a 3-megapixel DFC290 HD CMOS imager, and measured with Leica Application Suite v.4.10.0.

During this period, we recorded the following parameters: sex, longevity, progeny, pre-reproductive, reproductive, and post-reproductive stages. Initial measurements of adults were supplemented up to $n=110$, to minimize standard error. A total of 20 resistance eggs were collected from the mother beaker to describe their hatching by increasing the initial temperature by $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ and returning them one month later to their initial condition. The growth curve was calculated using the von Bertalanffy model with the R software, the graphs were vectorized in the InkScape 0.92 free software.

3. RESULTS

The habitat was described as an area rich in granodioritic volcanic rocks, in addition to the temporal analysis of the lagoon's water mass, to determine its variation or decrease during low water periods by comparing Sentinel-2a satellite images. It was determined that the water mass tends to maintain the same volume during dry and wet periods (Fig. 2).

La cepa presentó un comportamiento planctónico de desplazamiento activo durante los primeros ocho y diez días, la tendencia en esta etapa fue dispersarse y buscar refugio. A partir de entonces, las hembras partenogenéticas empezaron a formar huevos y embriones, con valores máximos diarios de 10 a 20 huevos por hembra entre los 36 y 49 días. Las formaciones de huevos de resistencia se observaron sincrónicamente en solo cuatro hembras a partir del día 10 y una quinta al día 11, las cuales vivieron hasta el día 25. A lo largo de la etapa adulta, las hembras tendieron a dispersarse lentamente solo para buscar alimento, a pesar que el alimento fue constante y tuvieron buena calidad de agua. La mayor parte del tiempo permanecieron inmóviles, en el fondo o en los bordes inferiores del beaker, boca arriba camuflándose con las exuvias.

Durante la observación del crecimiento a lo largo de su vida, mediante el registro de tallas, se encontró que la etapa reproductiva no marcó el fin del crecimiento, incluso este incremento permitió el desarrollo de más embriones y fue correlacionado con mayor longevidad. Por tanto, resulta inexacto describir la longitud promedio de esta especie, en particular si viene de un registro aleatorio en cam-

The strain showed a planktonic behavior of active displacement during the first eight to ten days; at this stage, the tendency was to disperse and seek refuge. Thereafter, parthenogenetic females began to form eggs and embryos, with daily maximum values of 10 to 20 eggs per female between 36 and 49 days. We observed that resistance eggs were formed synchronously in only four females from day 10 and a fifth on day 11, which lived until day 25. Throughout the adult stage, females tended to disperse slowly only to forage, even though the food was constant and water quality was good. Most of the time they remained motionless, on the bottom or the lower edges of the beaker, face-up, camouflaging themselves with the exuviae.

When recording the sizes during their life span, it was found that the reproductive stage did not mark the end of growth; in fact, this increase allowed the development of more embryos and was correlated with greater longevity. Therefore, it is inaccurate to describe the mean length of this species, particularly if it comes from a random record in the field, so the first 57 measurements of

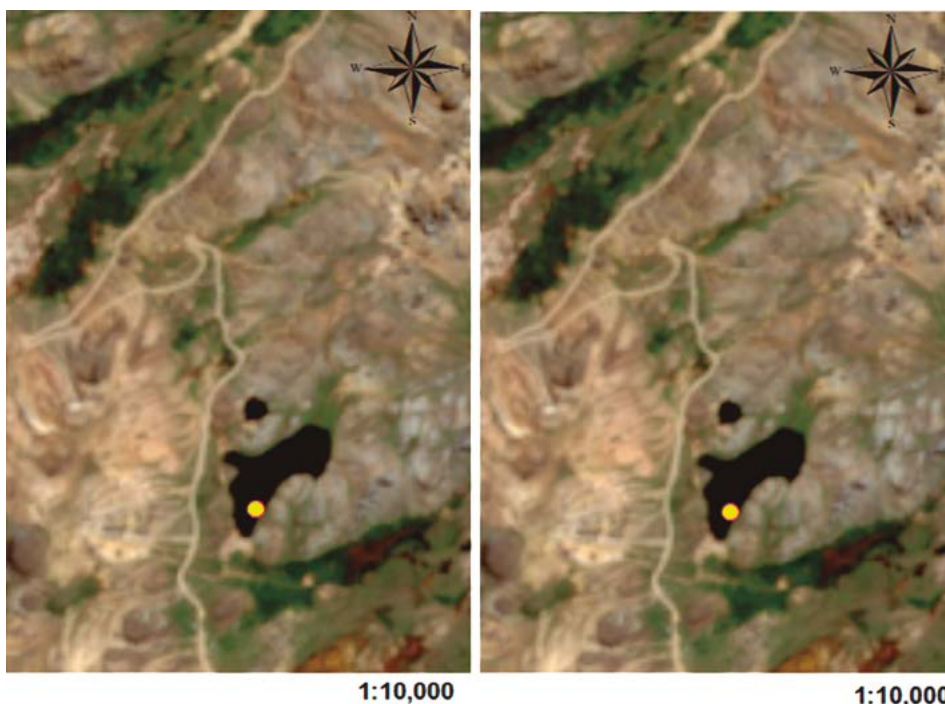


Figura 2.- Comparación de la laguna Guitarra Yoc entre la zona seca (izquierda) y húmeda (derecha). El punto amarillo indica el lugar de colecta
 Figure 2. Comparison of the Guitarra Yoc lagoon between the dry (left) and wet (right) zones. The yellow dot indicates the collection site

po, por lo que se complementaron las 57 primeras mediciones de hembras (3 de los 60 iniciales fueron machos) hasta los 110 ejemplares partenogenéticos. A diferencia de las mediciones de neonatos que presentaron el 99% de confianza al presentar una desviación estándar menor a un tercio del número de muestra (Tabla 1), sin embargo, la tendencia observada fue que el crecimiento de largo y ancho de adultos representó hasta el triple del tamaño inicial. Los 3 machos presentaron un tamaño promedio de casi la mitad del tamaño de las hembras.

Aquellos individuos que empezaron la partenogénesis en el octavo día, vivieron hasta el día 55, mientras que aquellos individuos que iniciaron la partenogénesis en el décimo día vivieron hasta el día 75 (Fig. 3). Los machos fueron registrados a partir del día 15 y vivieron hasta los días 25 y 28.

Se registró la progenie a partir del día 13 y se los agrupó para contabilizarlos cada 10 días (Tabla 2). El número total de crías fue 2040 con pendiente negativa a lo largo del periodo de estudio (Fig. 4) mientras que la progenie promedio por hembra fue 20,4 crías con un pico máximo entre los días 40 y 50 (Fig. 5).

females (3 of the initial 60 were males) were supplemented up to 110 parthenogenetic specimens. This situation differed from the measurements of neonates that showed 99% confidence by presenting a standard deviation of less than one-third of the sample number (Table 1). Nevertheless, the pattern observed was that the growth in length and width of adults represented up to three times the initial size. The 3 males presented a mean size of almost half the size of the females.

Individuals that started parthenogenesis on day 8 lived until day 55, while those that started parthenogenesis on day 10 lived until day 75 (Fig. 3). Males were recorded from day 15 and lived until days 25 and 28.

The offspring were recorded from day 13 and grouped to be counted at 10-day intervals (Table 2). The total number of offspring was 2040 with a negative slope throughout the study period (Fig. 4) while the mean progeny per female was 20.4 offspring with a maximum peak between days 40 and 50 (Fig. 5).

Tabla 1.- Mediciones (µm) en neonatos, hembras partenogenéticas y machos de las cepas *Simocephalus mixtus imarpe sp. nov.* IMP-BG-Z021. D.E.= desviación estándar y E.E.= error estándar

Table 1. Measurements (µm) in neonates, parthenogenetic females, and males of *S. imarpensis sp. nov.* IMP-BG-Z021. S.D.= standard deviation and S.E.= standard error

Estadísticos	Neonatos (n = 60)		Hembras (n = 110)		Machos (n = 3)	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho
Promedio	708,99	391,47	2063,39	1387,52	1135,92	604,91
D.E.	15,80	19,05	191,46	139,89	55,86	21,65
E.E.	2,04	2,46	18,26	13,34	32,25	12,49
Mínimo	672,45	351,27	1702,08	975,37	1074,15	591,75
Máximo	736,09	450,26	2746,26	1948,37	1182,89	629,89

Tabla 2.- Número de crías registradas cada diez días de *Simocephalus mixtus imarpe sp. nov.* IMP-BG-Z021

Table 2. Number of offsprings recorded at 10-day intervals of *Simocephalus mixtus imarpe sp. nov.* IMP-BG-Z021

Días	Crías	Número de Hembras Partenogenéticas	Crías por Hembra
<13 a 19>	676	40	16,9
<20 a 30>	605	<40 a 20>	20,2
<30 a 40>	252	<20 a 16>	14,0
<40 a 50>	384	<16 a 12>	27,4
<50 a 60>	93	<6 a 1>	31,0
<60 a 70>	13	1	13,0
<70 a 75>	17	1	17,0
Total	2040	Promedio	20,4

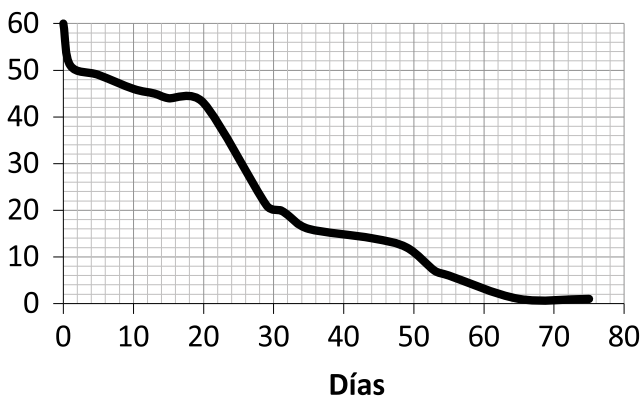


Figura 3.- Longevidad de *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov. IMP-BG-Z021

Figure 3. Longevity of *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov. IMP-BG-Z021

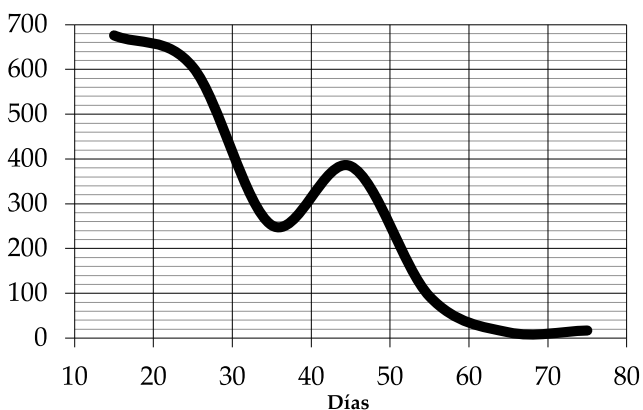


Figura 4.- Número de crías total de *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov. IMP-BG-Z021

Figure 4. Total number of offspring of *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov. IMP-BG-Z021

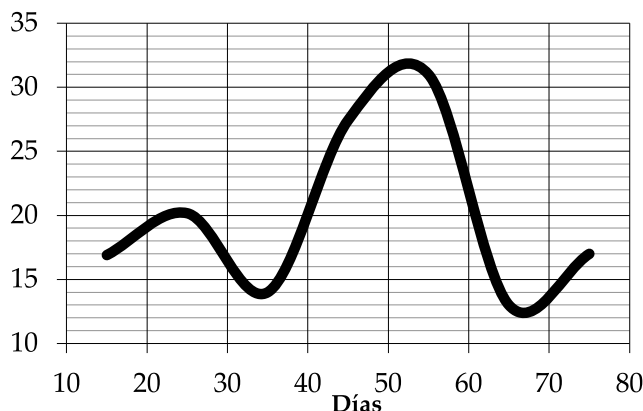


Figura 5.- Número de crías total por hembras partenogenéticas

Figure 5. Total number of offspring per parthenogenetic female

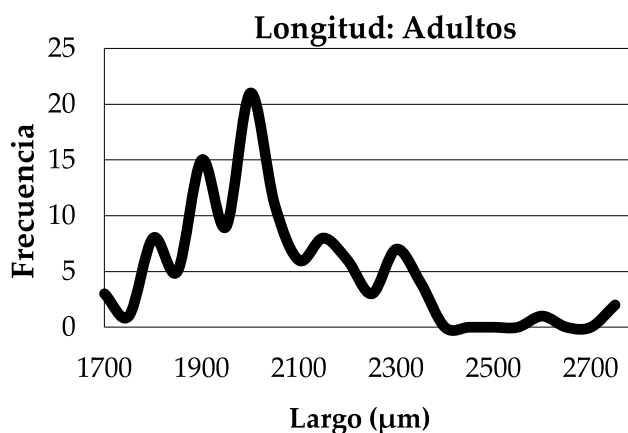


Figura 6.- Frecuencia de tallas en hembras partenogenéticas

Figure 6. Size frequency in parthenogenetic females

La frecuencia de tallas en adultos cada 50 µm presentó su pico en 2000 (Fig. 6) y en neonatos cada 5 µm fue 700 (Fig. 7), sin embargo, estos valores son referenciales debido al amplio espectro encontrado en el periodo reproductivo.

In adults, the size frequency of every 50 µm peaked in 2000 (Fig. 6), while in neonates every 5 µm was 700 (Fig. 7). However, these values are referential due to the wide spectrum found in the reproductive period.

Se registró la curva de crecimiento de von Bertalanffy con una constante de crecimiento $k= 13,69$ considerando una longitud máxima de 2750 µm (Fig. 8). Estos valores son una aproximación de su crecimiento individual bajo estrés constante. Se adicionó un segundo eje con algunos días para mejor comprensión.

The von Bertalanffy growth curve was recorded with a growth constant $k= 13.69$ considering a maximum length of 2750 µm (Fig. 8). These values are an approximation of their individual growth under constant stress. A second axis with a few days was added for better understanding.

Los 20 efiptos fueron colocados en una cámara climática a 24 °C durante un mes y fueron regresados a 16 °C, las eclosiones de 9 huevos fueron observadas entre los 20 y 40 días, todas fueron hembras partenogenéticas y formaron sus propias colonias. No se continuó observando la

The 20 ephippia were placed in a climatic chamber at 24 °C for one month and were returned to 16 °C. We observed the hatching of 9 eggs between 20 and 40 days, all of which were parthenogenetic females and formed their colonies. Hatching did not continue to be

eclosión, pero sí se pudo ver la apertura de las placas del efipto y diferenciación del huevo de resistencia con el resto de huevos (Fig. 9).

En la figura 9a se observó un efipto sin diferenciación del huevo de resistencia, en la figura 9b y 9c se distinguió la apertura del efipto y diferenciación del huevo de resistencia el cual presentó forma ovoide con bordes bien delimitados. En la figura 9d se observó como el huevo de resistencia abandona el efipto transparente dejando una muesca de adhesión circular y en la figura 9e se presentaron a la derecha los huevos eclosionados con efiptos claros y a la izquierda los efiptos sin eclosionar, pero con los huevos de resistencia ya diferenciados.

observed, but the opening of the ephippium plates and differentiation of the resistance egg from the rest of the eggs could be seen (Fig. 9).

Figure 9a shows an ephippium without differentiation of the resistance egg, Figure 9b and 9c show the opening of the ephippium and differentiation of the resistance egg, which presented an ovoid shape with well-delimited edges. Figure 9d shows how the resistance egg leaves the transparent ephippium leaving a circular adhesion notch and Figure 9e shows on the right the hatched eggs with clear ephippia and on the left the unhatched ephippia, but with the resistance eggs already differentiated.

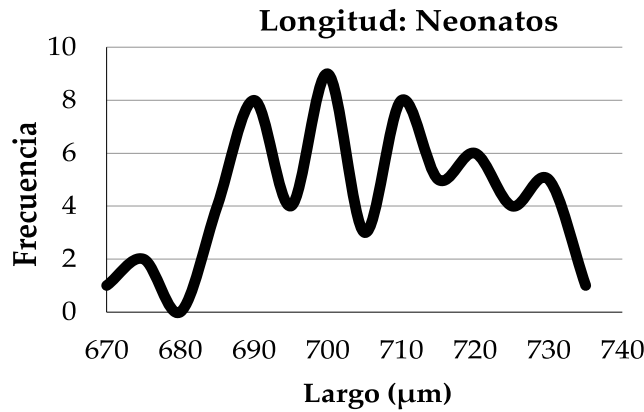


Figura 7.- Frecuencia de tallas en neonatos

Figure 7. Size frequency in neonates

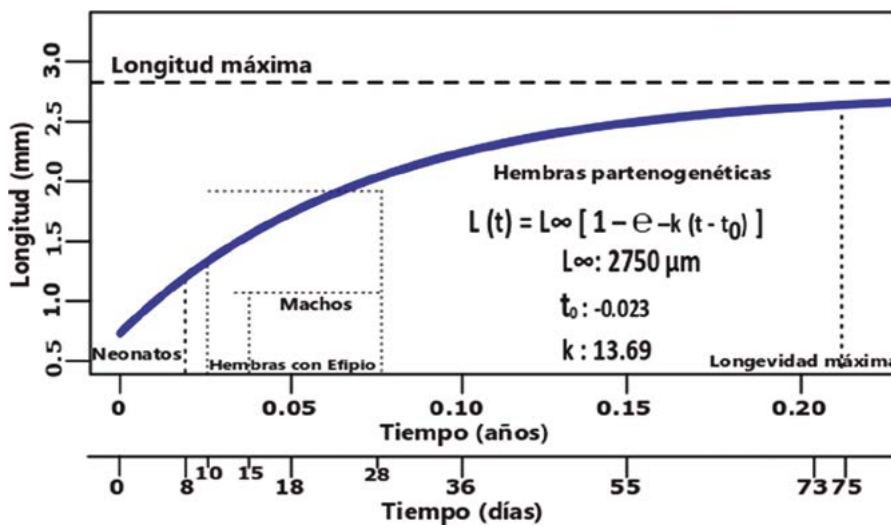


Figura 8.- Curva de crecimiento de *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov. (IMP-BGZ021)

Figure 8. Growth curve of *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov. (IMP-BGZ021)



Figura 9.- Eclosión de ephippia de *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov. (IMP-BGZ021)

Figure 9. Hatching of ephippia of *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov. (IMP-BGZ021)

4. DISCUSIÓN

El cuadrángulo 27n2, indicó, que el entorno adyacente a la laguna es de roca intrusiva y subvolcánica denominada “Granodiorita” (N-gd), dicho mineral se halla comúnmente en la corteza terrestre y en el litoral de esta laguna. Los cuerpos intrusivos tienen dimensiones pequeñas, no sobrepasan los 4 km, sin embargo, en el extremo sur del cuerpo hídrico, se presentan depósitos bofedales, denominados (Qh-bo) compuesto por limo, arenas y niveles orgánicos (MORCHE *et al.*, 1996). En este sentido, la presencia constante del volumen de agua que sumergen a estas rocas favorece el desarrollo de esta especie pese a los cambios bruscos de temperatura.

Se observó que el hábitat de origen de esta cepa era el litoral de grava negra correspondiente a Granodiorita, que sirvieron de refugio también para la fauna acompañante como Anfípodos y Chidoridos. Los cuales estaban escondidos entre estas rocas volcánicas porosas oscuras, mientras que estuvieron ausentes en el litoral de otras lagunas caracterizados con sustratos limosos con sedimentos amarillentos y mal olor. Considerando las características geológicas del hábitat, la conservación del volumen de agua de la laguna en periodos secos y húmedos sumado al comportamiento de irradiación de neonatos de esta cepa durante los primeros ocho días, se puede inferir una dispersión correlacionada

4. DISCUSSION

The 27n2 quadrangle indicated that the environment surrounding the lagoon is made up of intrusive and subvolcanic rock called “Granodiorite” (N-gd). This mineral is commonly found in the earth’s crust and along the coast of the lagoon. The intrusive bodies have small dimensions, not exceeding 4 km, but at the southern end of the water mass, there are bog deposits, called (Qh-bo) composed of silt, sands, and organic levels (MORCHE *et al.*, 1996). In this regard, the constant presence of the water volume that submerges these rocks favors the development of this species despite sudden temperature changes.

The habitat of origin of this strain was the black gravel shoreline corresponding to Granodiorite, which also served as a refuge for the accompanying fauna such as Amphipods and Chidorids. These were hidden among these dark porous volcanic rocks, while they were absent in the shoreline of other lagoons characterized by silty substrates with yellowish sediments and bad odor. Given the geological characteristics of the habitat, the conservation of the water volume of the lagoon in dry and wet periods, and the irradiation behavior of neonates of this strain during the first eight days, we can infer a dispersal correlated with this type of littoral rocks as colonization sinks

con este tipo de rocas litorales como sumideros de colonización ya que no solo son refugios de perifiton, sino que conservan el calor necesario para compensar el frío de los andes en condiciones sumergidas todo el año.

Se reportaron tres casos sincrónicos en la ontogenia del cladócer, el primero fue la formación de hembras con efipio entre el día diez y once, el segundo fue la diferenciación morfológica de machos a partir del día quince y el tercero el comportamiento sedentario de hembras a partir del día ocho. Todos estos procesos contaron con alimento constante y condiciones óptimas del agua, pese al estrés que alteró el *fitness* de estos organismos. HAKIMA *et al.* (2013) reportaron en *S. expinosus* una maduración de hembras entre los 12 y 16 días a 16 °C, pero alimentados con *Saccharomyces cerevisiae* lo cual demuestra que la calidad y limitación del alimento tiene mayor influencia que la temperatura.

En los dos primeros casos la aparición de huevos de resistencia en solo cinco hembras puede deberse a la fecundación por machos no detectados durante las mediciones, sin embargo, los tres machos registrados se mantuvieron juntos con las otras hembras que llegaron a ser partenogenéticas. Entonces se postula que, en una población bajo estrés o dentro de una cohorte como este caso, la presencia de machos correspondería a uno por cada 20 organismos nacidos y que podrían fecundar como máximo entre una o dos hembras. Luego cada una de estas hembras deja el sedentarismo y empiezan a migrar dispersando de este modo los huevos de resistencia a lo largo del litoral de una laguna que no tiene fluctuaciones grandes de sequía.

En el tercer caso, el comportamiento sedentario de hembras partenogenéticas a partir del octavo día, representó la hipotética colonización de ambientes cercanos preferentemente rodeado de rocas volcánicas porosas, grava y fondo rocoso visualmente oscuro y con bajos niveles de limo. Se enfatizó esta preferencia en vista que no se contempló en algunos manuales de colecta de zooplancton en lagunas. Así mismo, se postula una irradiación diaria de crías que a su vez incrementan la extensión del hábitat cada ocho días en búsqueda de parámetros óptimos que

since they are not only periphyton refuges but also conserve the necessary heat to compensate for the cold of the Andes in submerged conditions all year round.

Three synchronous cases were reported in the ontogeny of the cladoceran, the first was the formation of females with ephippium between the tenth and eleventh day, while the second was the morphological differentiation of males from the fifteenth day and the third was the sedentary behavior of females from the eighth day. All these processes had constant food and optimal water conditions, despite the stress that altered the fitness of these organisms. HAKIMA *et al.* (2013) reported in *S. expinosus* a maturation of females between 12 and 16 days at 16 °C but fed with *Saccharomyces cerevisiae* which shows that the quality and limitation of food have a greater influence than the temperature.

In the first two cases, the occurrence of resistance eggs in only five females may be due to fertilization by males not detected during the measurements, but the three males recorded were kept together with the other females that became parthenogenetic. Therefore, we postulate that, in a population under stress or within a cohort as in this case, the presence of males would correspond to one per 20 organisms born and that they could fertilize at most between one or two females. Each of these females then leaves the sedentary lifestyle and begins to migrate, thus dispersing the resistance eggs along the shoreline of a lagoon that does not have large fluctuations of drought.

In the third case, the sedentary behavior of parthenogenetic females from the eighth day represented the hypothetical colonization of nearby environments preferably surrounded by porous volcanic rocks, gravel, and visually dark rocky bottom with low levels of silt. We focused on this preference because it was not contemplated in some manuals of zooplankton collection in lagoons. Likewise, daily irradiation of hatchlings is postulated, which in turn increases the extension of the

favorezcan a las nuevas generaciones. Además, las exubias que camuflan a las hembras durante su vida productiva, pueden ser útiles para la proliferación de microalgas en estos micro hábitats.

Sumado a ello, la longevidad máxima de las hembras partenogenéticas respecto a machos y hembras con huevos de resistencia es cercano al triple en días, en condiciones de estrés por la manipulación diaria. En este sentido, se deduce que la aparición temprana del gasto energético materno reduce la longevidad de las hembras, debido que en algunas hembras que alcanzaron los 75 días, registrado como longevidad máxima, tuvieron un tardío desarrollo en los inicios de la adultez, mientras que aquellas que empezaron temprano la partenogénesis vivieron hasta los 55 días. OBUID-ALLAH *et al.* (2015) concluyen que la radiación UV-A en *Simocephalus* sp. (cepa del río Nilo) es un efectivo estresor directo que aumenta la actividad de la enzima Catalasa como mecanismo de defensa de las células para compensar el daño oxidativo que desencadena una disminución del contenido total de proteínas y la degradación oxidativa de los lípidos por peroxidación. En este sentido, la clasificación dada por la OMS para la radiación andina muy alta (de 8 a 10) y extremadamente alta (mayor a 11) puede ser el regulador natural de las poblaciones al promover el déficit de proteínas estructurales para su normal desarrollo, así como fuente mutagénica de diversidad.

Las mediciones de los mismos organismos durante su desarrollo tuvieron dos propósitos, el primero fue evaluar el efecto del estrés en su ciclo de vida y el segundo valorar el número de muestra en las descripciones morfológicas de organismos tipos, con énfasis en los holotipos y paratipos. En este caso, se optó como indicador el uso de la desviación estándar hasta llegar a la tercera parte del número de organismos, de este modo cubrir el 99% del nivel de confianza en el registro de tallas, como sí ocurrió con los neonatos, pero no con los adultos, por ello se complementó la muestra inicial de individuos que llegaron a hembras hasta llegar al 110 pero fue insuficiente (se estima que deben medirse al menos 300 hembras partenogenéticas para llegar al 95% de confianza).

habitat every eight days in search of optimal parameters that favor new generations. In addition, the exuviae that camouflage the females during their productive life may be useful for the proliferation of microalgae in these microhabitats.

Furthermore, the maximum longevity of parthenogenetic females compared to males and females with resistance eggs almost tripled in days, under conditions of stress due to daily handling. In this regard, we infer that the early onset of maternal energy expenditure reduces the longevity of females, because some females that reached 75 days, recorded as maximum longevity, had a late development at the onset of adulthood, while those that started parthenogenesis early lived to 55 days. OBUID-ALLAH *et al.* (2015) conclude that UV-A radiation in *Simocephalus* sp. (Nile River strain) is an effective direct stressor that increases Catalase enzyme activity as a defense mechanism of cells to compensate for oxidative damage triggering a decrease in total protein content and oxidative degradation of lipids by peroxidation. In this sense, the classification given by the WHO for very high (8 to 10) and extremely high (greater than 11) Andean radiation may be the natural regulator of populations by promoting the deficit of structural proteins for their normal development, as well as a mutagenic source of diversity.

We had two purposes in measuring the same organisms during their development: the first was to evaluate the effect of stress on their life cycle, and the second was to evaluate the number of samples in the morphological descriptions of type organisms, with emphasis on holotypes and paratypes. In this case, the use of the standard deviation was chosen as an indicator to reach the third part of the number of organisms, thus covering 99% of the confidence level in the size registry, as did occur with neonates, but not with adults. Therefore, the initial sample of individuals that reached females was complemented to reach 110, but it was insufficient (it is estimated that at least 300 parthenogenetic females should be measured to reach 95% confidence).

Es importante recalcar que el inicio de la etapa reproductiva no marca el fin del crecimiento, como ocurre en otras taxa. En el octavo día, se registró el inicio de la etapa adulta con cuatro hembras que median entre 1,3 y 1,6 mm, esta talla fue más frecuente a partir del décimo día, sin embargo, entre los días 40 y 75 los mismos organismos medían entre 2 y 2,5 mm, y con las mediciones complementarias la talla llegó a 2,7 mm. Por lo tanto, la morfometría registrada en las hembras de este ensayo, plantea posibles subregistros de tamaños por especies aceptadas del género *Simocephalus*, abriendo la posibilidad del uso de otros parámetros alométricos para la comparación morfológica específica a favor de la sistemática de este género tal como lo desarrollaron YOUNG *et al.* (2012).

A partir del día 13 se registraron 20 crías promedio por cada hembra partenogenética evaluada y más de 2000 crías en total, estos valores provienen de dos tercios de la cohorte original, por lo que se considera que la población productiva fue resistente al estrés inicial y continuó reproduciéndose bajo las mismas condiciones de manipulación. Además, se reportó un incremento notable entre los 40 y 50 días con una población final de 12 hembras, por lo que podemos asumir que un quinto de la muestra original fue la responsable de la máxima producción de crías. Estos valores se acercan a lo reportado por MURUGAN & SIVARAMAKRISHNAN (1973) que en condiciones óptimas obtuvieron más de 200 crías por hembra evaluada hasta el día 44.

Además, el incremento diario de la capacidad de formación de embriones permite un ensanchamiento simultáneo con el aumento de la forma del cuerpo. Desde su nacimiento hasta la talla máxima de hembras partenogenéticas, se observó que el incremento de largo y ancho es cercano al triple, este patrón fue observado también en *S. serrulatus*, hasta un cuádruple en *Scapholeberis mucronata*, el doble en *Diaphanosoma brachyurum* (LEMKE & BENKE, 2003) hasta un séxtuple en *Daphnia magna* (MARTÍNEZ-JERÓNIMO, 2012) y poco menos del doble en *Alona iheringula* (SANTOS SILVA *et al.*, 2014).

It is worth noting that the beginning of the reproductive stage does not represent the end of growth, as occurs in other taxa. On the eighth day, the beginning of the adult stage was recorded with four females measuring between 1.3 and 1.6 mm, this size was more frequent from the tenth day, however, between days 40 and 75 the same organisms measured between 2 and 2.5 mm, and with the complementary measurements, the size reached 2.7 mm. Thus, the morphometry recorded in the females of this trial raises possible sub-registers of sizes accepted for species of the genus *Simocephalus*, opening the possibility of the use of other allometric parameters for specific morphological comparison in favor of the systematics of this genus as developed by YOUNG *et al.* (2012).

From day 13 onwards, we recorded a mean of 20 offspring per parthenogenetic female evaluated and more than 2000 offspring in total, these values come from two-thirds of the original cohort, so it is considered that the productive population was resistant to the initial stress and continued to reproduce under the same handling conditions. In addition, a noticeable increase was reported between 40 and 50 days with a final population of 12 females, so we can assume that one-fifth of the original sample was responsible for maximum offspring production. These values are close to those reported by MURUGAN & SIVARAMAKRISHNAN (1973) who, under optimal conditions, obtained more than 200 offspring per female evaluated up to day 44.

The daily increase in embryo formation capacity also allows for a simultaneous widening with the increase in body shape. From hatching to the maximum size of parthenogenetic females, it was observed that the increase in length and width is close to threefold, a pattern also observed in *Scapholeberis mucronata*, up to fourfold in *Diaphanosoma brachyurum* (LEMKE & BENKE, 2003), to sixfold in *Daphnia magna* (MARTÍNEZ-JERÓNIMO, 2012), and just under twice as much in *Alona iheringula* (SANTOS SILVA *et al.*, 2014).

El reporte de la curva de crecimiento de esta especie permitió determinar el tamaño en función de la edad en condiciones de estrés por manipulación, si bien el modelo de von Bertalanffy está diseñado en años, se adicionó un segundo eje en días para mejor comprensión y que sirva como referente para comparar con otros organismos que puedan cultivarse. Se recalcan bajo la curva los estadios juveniles, adultos, el desarrollo de machos, hembras efipiales y la mortalidad máxima encontrada. Se registró también crecimiento negativo cercano a las 30 μm en 6 hembras partenogenéticas entre el día 53 y 55; así como en la hembra más longeva presentando 130 μm menos entre el día 72 y 75, ambos casos como un indicador previo a la muerte, este crecimiento negativo es reportado también por PAPANICOLAU (1910). LEMKE & BENKE (2003), describieron que en condiciones no óptimas *S. serrulatus* presentó mayor tasa de crecimiento individual directamente proporcional al incremento de 10 °C, pero reduciendo hasta 50% la longevidad y 10% la longitud máxima.

Si bien se reportaron 9 neonatos eclosionados de 20 huevos, en un intervalo de 40 días, no se descarta que algunos de los 11 restantes pudieran seguir eclosionando; así mismo, se observaron eclosiones aisladas de un huevo de resistencia de una hembra del género *Macrothrix* y cinco del género *Daphnia*. Este proceso progresivamente aletargado de eclosión puede entenderse como una estrategia de respuesta eco-fisiológica ante cambios bruscos ambientales (AGAR, 1914) como la desecación del litoral en cuerpos de agua andinos o contaminación antrópica como encontraron CARRIÓN-MALPICA & DE LA CRUZ-RÍOS (2015) con metales pesados. Se postula que la eclosión de huevos de resistencia debe pasar a través de pulsos de altas temperaturas, que caracterizan a los Andes, mayores a 8 °C respecto a la temperatura ambiental normal, de este modo propicia una colonización dosificada de ambientes loticos como esta laguna que presenta un volumen constante de agua durante todo el año.

The report of the growth curve of this species allowed us to determine the size as a function of age under conditions of manipulation stress, although the von Bertalanffy model is designed in years, we added a second axis in days for better understanding and to serve as a reference for comparison with other organisms to be cultured. The juvenile and adult stages, the development of males, ephippial females, and the maximum mortality found are highlighted under the curve. Negative growth close to 30 μm was also recorded in 6 parthenogenetic females between day 53 and 55; as well as in the longest-lived female that presented 130 μm less between day 72 and 75, both cases as an indicator before death, this negative growth is also reported by PAPANICOLAU (1910). LEMKE & BENKE (2003), described that in non-optimal conditions, *S. serrulatus* showed a higher individual growth rate directly proportional to the increase of 10 °C, but reduced up to 50% the longevity and 10% the maximum length.

Although 9 hatchlings out of 20 eggs were reported to have hatched in a 40-day interval, it is not excluded that some of the remaining 11 may still be hatching; likewise, isolated hatchings of one resistance egg of a female of the genus *Macrothrix* and five of the genus *Daphnia*. This progressively lethargic hatching process can be understood as an eco-physiological response strategy to sudden environmental changes (AGAR, 1914) such as coastal drying in Andean water masses or anthropogenic pollution as found by CARRIÓN-MALPICA & DE LA CRUZ-RÍOS (2015) with heavy metals. We postulate that the hatching of resistance eggs must pass through pulses of high temperatures, typical of the Andes, higher than 8 °C compared to the normal ambient temperature, thus favoring colonization of lotic environments such as this lagoon, which has a constant water volume throughout the year.

5. CONCLUSIONES

Se observó la relación entre rocas ígneas plutónicas porosas, oscuras con la presencia de *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov., sustentado por el calor que irradian las rocas, albergando un micro hábitat para su desarrollo como también para la proliferación de microalgas que sirven de alimento.

Sumado a ello se propone que aquellas lagunas que permanecen con volúmenes constantes y condiciones geológicas como las descritas sirven de asideros para procesos de adaptación y especiación, esta relación usualmente no se toma en cuenta en los procesos de delimitación específica del zooplancton, por ello se justifica esta complementariedad que puede ayudar a futuros estudios.

Se registraron el tiempo de inicio y el desarrollo de la maduración bajo estrés de machos, hembras con epipio y hembras partenogenéticas. Estas últimas presentaron un ciclo de vida tres veces más largo que las dos anteriores.

Se reportó un macho por cada veinte organismos nacidos bajo condiciones de estrés y que cada macho puede fecundar solamente a una o dos hembras, además tanto machos como hembras con huevos de resistencia tienen un comportamiento de dispersión aleatoria a diferencia de las hembras partenogenéticas que tienden a colonizar ambientes desde su maduración a partir del octavo día.

La maduración sexual en machos y hembras no marcó el fin del crecimiento. En hembras partenogenéticas significó el incremento del número de embriones, mayor longevidad, además su largo y ancho promedio son cercanos al triple registrado en sus tallas al nacer.

Se calculó que un quinto de la cohorte estudiada fue la principal fuente de crías, a pesar de las condiciones de estrés que redujo la población a dos tercios desde el día 20, a un tercio desde el día 30 y a un sexto desde el día 50. Este patrón evidencia que una fracción pequeña de la población será la responsable de colonizar con éxito adaptándose incluso a malas condiciones ambientales.

5. CONCLUSIONS

We observed the relationship between dark, porous plutonic igneous rocks and the presence of *Simocephalus mixtus imarpe* sp. nov., supported by the heat radiated by the rocks, harboring a microhabitat for its development as well as for the proliferation of microalgae that serve as food.

In addition, we propose that those lagoons with constant volumes and geological conditions such as the ones described above serve as a base for adaptation and speciation processes. This relationship is usually not considered in the processes of specific delimitation of zooplankton, thus justifying this complementarity, which may help future studies.

The time of onset and development of maturation under stress of males, ephippial females, and parthenogenetic females were recorded. The latter had a life cycle three times longer than the two previous ones.

One male for every twenty organisms hatched under stress conditions was recorded, and each male can only fertilize one or two females. Furthermore, both males and females with resistance eggs have a random dispersal behavior, unlike parthenogenetic females that tend to colonize environments from their maturation from the eighth day onwards.

Sex maturity in males and females did not represent the end of growth. In parthenogenetic females, it meant an increase in the number of embryos, greater longevity, and their mean length and width are close to three times their length at birth.

This pattern shows that a small fraction of the population will be responsible for successful colonization, adapting even to poor environmental conditions

It was estimated that one-fifth of the cohort studied was the main source of offspring, despite stressful conditions that reduced the population to two-thirds from day 20, one-third from day 30, and one-sixth from day 50.

Considerando también que la máxima producción fue entre los 40 y 50 días, siendo estos equivalentes a la mitad de la duración de una estación completa del año, relacionando así sus picos productivos a adaptaciones temporales y asociación a fuentes de calor para evitar su extinción en los andes.

Se determinó la curva de crecimiento para esta cepa alterando el *fitness* y se encontró que es mayor que las reportadas para *Daphnia magna*, la cual es la especie más grande de esta familia. No se encontró una asíntota recta al final de la curva puesto que el crecimiento fue continuo.

Se reportaron 9 huevos de resistencia eclosionados de un total de 20. Se aumentó la temperatura a 24 °C por un mes y se retornó a 16 °C, luego entre los 20 y 40 días empezó la diferenciación y eclosión de huevos hacia hembras partenogenéticas formadoras de sus propias colonias. No se descartó que los demás huevos pueden eclosionar pasado el intervalo de observación de este ensayo.

Also, given that the maximum production was between 40 and 50 days, which is equivalent to half the duration of a full season, their peak production was related to temporary adaptations and association to heat sources to avoid extinction in the Andes.

The growth curve for this strain was determined by altering the fitness and was found to be higher than those reported for *Daphnia magna*, which is the largest species in this family. No straight asymptote was found at the end of the curve since growth was continuous.

We recorded 9 hatched resistance eggs out of a total of 20. The temperature was increased to 24 °C for one month and returned to 16 °C, then after 20 to 40 days the differentiation and hatching of eggs into parthenogenetic females forming their colonies began. It was not excluded that other eggs may hatch after the observation interval of this trial.

6. REFERENCIAS

- AGAR, W. E. (1914). Parthenogenetic and sexual reproduction in *Simocephalus vetulus* and other cladocera. Journ. of Gen. 3, 179-194. <https://doi.org/10.1007/BF02981713>
- BANTA, A. M. (1926). A thelytokous race of cladocera in which pseudo-sexual reproduction occurs. Zeitschrift Für Induktive Abstammungs Und Vererbungslehre, 40(1), 28-41. doi:10.1007/bf01740943
- CARRIÓN-MALPICA, A., DE LA CRUZ-RÍOS, M. (2015). Toxicidad de metales pesados en zooplancton de las lagunas del distrito de Chongos alto. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú. 139 pp.
- ELÍAS-GUTIÉRREZ, M., SUÁREZ-MORALES, E., GUTIÉRREZ-AGUIRRE, M. A., SILVA-BRIANO, M., GRANADOS-RAMÍREZ, J. G., GARFIAS-ESPEJO, T. (2008). Cladóceras y Copépodos de las aguas continentales de México. UNAM. México DF. 322 pp.
- GREEN, W. R. (1919). Studies in the Life Cycle of *Simocephalus vetulus*. Biological Bulletin, 37(2), 49-95. DOI: 10.2307/1536350
- HUDEC, I. (1993). Notes to the distribution of the genus *Simocephalus* (Crustacea: Daphniiformes, Daphniidae) in Slovakia. Biologia, 48(2), 141-147.
- KAMEYA, A. (1986). Los Cladóceros dulceacuícolas de Lima y alrededores (Crustacea - Cladóceras). Revista de Ciencias UNMSM. 74(1). 130-151.
- HAKIMA, B., KHÉMISSE, C., SAMRAOUI, B. (2013). Effects of food limitation on the life history of *Simocephalus expinosus* Koch (Cladocera: Daphniidae). Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, B. Zoology, 5, 25-31. DOI10.21608/eajbsz.2013.13502
- INGEMMET. (2001). Rocas ornamentales en el Perú. Boletín Serie B: Geología Económica. Nº 9, 37-38. https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/Cuadrángulo_27n2_Huachocolpa, <https://geocatminapp.ingemmet.gob.pe/complementos/descargas/Mapas/Geologia50/Publicado2000-2003/geo27n2.jpg>
- LEMKE, A., BENKE, A. C. (2003). Growth and reproduction of three cladoceran species from a small wetland in the south-eastern USA. Freshwater Biology, 48, 589 - 603. Doi: 10.1046/j.1365-2427.2003.01034.x
- MARTÍNEZ-JERÓNIMO, F. (2012). Description of the individual growth of *Daphnia magna* (Crustacea: Cladocera) through the von Bertalanffy growth equation. Effect of photoperiod and temperature. Limnology. 13. 10.1007/s10201-011-0356-2.you
- MORCHE, W., LA TORRE, O., DE LA CRUZ, N., CERRÓN, F. (1996). Geología del Cuadrángulo de Huachocolpa. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Boletín 63. Serie A, Carta Geológica Nacional. 145 pp.
- MURUGAN, N., SIVARAMAKRISHNAN, K.G. (1973). The biology of *Simocephalus acutirostratus* King (Cladocera: Daphniidae)-laboratory studies of life span, instar duration, egg production, growth and stages in

- embryonic development. *Freshwater Biology*, 3, 77 - 83. 10.1111/j.1365-2427.1973.tb00063.x
- OBUID-ALLAH, A., EL-BAKARY, Z., WAKEIL, K., MOHAMMAD, W. (2015). Effects of UV-A radiation on some antioxidant biomarkers in the freshwater zooplankton *Simocephalus vetulus* (Schoedler, 1858) (Crustacea, Cladocera). *International Journal of Advanced Research*, 2, 354-361.
- ORLOVA-BIENKOWSKAJA, M. J. (1995). Revisión del grupo de especies *Simocephalus serrulatus* (Crustacea: Anomopoda: Daphniidae). *Zoological Journal*, 74(8), 57-71. (in Russian).
- ORLOVA-BIENKOWSKAJA, M. J. (1998). A revision of the cladoceran genus *Simocephalus* (Crustacea, Daphniidae). *Bulletin of the Natural History Museum, Zoology series*, 64, 1-62.
- ORLOVA-BIENKOWSKAJA, M. J. (2001). Cladocera: Anomopoda. 17. Daphniidae: genus *Simocephalus*. *Guides to the identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World*. Leiden. Editor, H.J.F. Dumont. Backhuys. 134 pp.
- PAPANICOLAOU, G. (1910). Experimentelle Untersuchungen über die Fortpflanzungsverhältnisse der Daphniden (*Simocephalus vetulus* und *Moina rectirostris* var. *Lilljeborgii*). *Biologisches Centralblatt*, 30(24), 785-802.
- SANTOS SILVA, E., ABREU, C. B., ORLANDO, T. C., WISNIEWSKI, C., SANTOS-WISNIEWSKI, M. J. (2014). *Alona iheringula* Sinev and Kotov, 2004 (Crustacea, Anomopoda, Chydoridae, Aloninae): life cycle and DNA barcode with implications for the taxonomy of the Aloninae subfamily. *PLoS One*, vol. 9, no. 5, e97050. [http:// dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0097050](http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0097050). PMID:24878503
- VALDIVIA, R., BURGER, L. (1990). Observaciones sobre la fauna cladocera de algunas lagunas altoandinas del Perú. *Boletín de Lima*, 71(1), 63-69.
- VALDIVIA, R., ZAMBRANO, F. (1989). Cladóceros de la Laguna de Paca, Junín. Relaciones ecológicas entre hábitat y especie. *Boletín de Lima*, 64(1), 83-89.
- WOLTERECK, R. (1911). Über Veränderung der Sexualität bei Daphniden. Experimentelle Untersuchungen über die Ursachen der Geschlechtsbestimmung. Aus dem Zoolog. Institut Leipzig und der Biolog. Station Lunz (XI. Beitrag). *Internationale Revue Der Gesamten Hydrobiologie Und Hydrographie*, 4(1-2), 91-128. doi:10.1002/iroh.19110040107
- XIANG, X. F., JI, G. H., CHEN, S. Z., YU, G. L., XU, L., HAN, B. P., KOTOV, A. A., DUMONT, H. J. (2015). Annotated Checklist of Chinese Cladocera (Crustacea: Branchiopoda). Part I. Haplopoda, Ctenopoda, Onychopoda and Anomopoda (families Daphniidae, Moinidae, Bosminidae, Ilyocryptidae). *Zootaxa*.3904(1). 1-27. [https://doi: 10.11646/zootaxa.3904.1.1](https://doi:10.11646/zootaxa.3904.1.1)
- YOUNG, S. S., NI, M., LIU M. Y. (2012). Systematic study of *Simocephalus* s. str. species group (Cladocera: Daphniidae) from Taiwan by morphometric and molecular analyses. *Zoological studies*, 51, 222-231.
- ZAMBRANO, F., BURGER, L. (1992). Notas comparativas sobre la diversidad zooplanctónica de diez lagunas altoandinas en Huánuco, Perú. *Boletín de Lima*, 84(1), 89-95.