

# TÉCNICA PICNOMÉTRICA PARA DETERMINAR VOLUMEN DE HUEVOS CON CÁSCARA

por

Jaime Ramírez-Perilla\*

## Resumen

**Ramírez-P., J.:** Técnica picnométrica para determinar volumen de huevos con cáscara. Rev. Acad. Colomb. Cienc., 23 (Suplemento especial): 723-728, 1999. ISSN 0370-3908.

Se desarrolla una técnica para determinar el volumen de huevos con cáscara mediante el diseño y uso de un picnómetro y se propone el protocolo para la toma de información. Se requiere una balanza de 200 a 400gr. con sensibilidad mínima de 0.1 a 0.01gr (= 0.1-0.01ml). La medida del volumen tiene un error medio de 0.87% (rango=0.50-1.81%), que es equivalente al coeficiente de variación de las repeticiones experimentales en las determinaciones picnométricas, si se compara con el promedio (5.56%) de las determinaciones volumétricas de una técnica corregida por desplazamiento de agua. Hay diferencias altamente significativas ( $\alpha \leq 0.01$ , Prueba de Fisher) entre las técnicas volumétricas picnométrica y de desplazamiento de agua en los huevos de ensayo. Se presentan los resultados de la determinación de volúmenes (por picnometría) en huevos de Testudinae y Crocodylidae que se reproducen en la Estación de Biología Tropical Roberto Franco (Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia).

**Palabras clave:** Técnicas volumétricas, Picnómetro, Huevos con cáscara, Crocodylidae, Testudinae.

## Abstract

A technique is developed to determine the volume of shelled eggs using a picnometer. A balance (200-400 gr with a sensitivity of 0.1gr to 0.01gr) is required. The average error in measuring volume is 0.87% (range 0.50-1.81%), equivalent to the coefficient of variation of picnometric determinations. This contrasts with the average error (ca. 5.56%) using volumetric displacement. The differences between the two techniques are statistically significant ( $\alpha \leq 0.01$ , Fisher's test). Determination of eggs' volume, with the picnometric technic, from Testudinae and Crocodylidae produced in the Roberto Franco Tropical Biology Station (Colombia National University) were made.

**Key words:** Volumetric techniques, Picnometer, Shelled eggs, Crocodylidae, Testudinae

\* Profesor Departamento de Biología, Director Estación de Biología Tropical Roberto Franco, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Villavicencio, Colombia. E-mail: ebrf@coll.telecom.com.co

## Introducción

Las medidas más utilizadas en huevos de aves domésticas son las del eje longitudinal (diámetro mayor longitudinal), eje transversal (diámetro mayor transversal), perímetro longitudinal, perímetro transversal, peso, área superficial **Sauveur** (1993) y gravedad específica **Padron** (1991). Este último parámetro es el óptimo para determinar la calidad de la cáscara **Zumbado** (1983), **Harms et al.** (1994). Desde el punto de vista de la producción de huevos, sus dimensiones físicas (peso, volumen o área superficial) pierden interés, mientras que sí son importantes para la selección de crecimiento, **Christensen & Nestor** (1994).

En especies de vida silvestre las medidas frecuentes e indispensables, en trabajo de campo, son el diámetro mayor o eje longitudinal, el diámetro transversal y el peso. El volumen poco se usa debido a las dificultades prácticas para su cálculo o determinación directa.

El primer problema se presenta en la forma de los huevos **Preston** (1953, 1968) que es diferente para cada especie, lo que dificulta el desarrollo matemático de uso general para calcular volumen de huevos, para lo cual se han usado en aves silvestres, métodos indirectos como la gravedad específica **Barth** (1953), **Evans** (1969) comparados con diferentes procedimientos técnicos **McNicholl** (1973), demostrándose incongruencias entre los mismos. El éxito de un procedimiento técnico para estos casos radica en su aplicabilidad universal independiente de la forma, tamaño y peso del huevo. La gravedad específica tiene gran utilidad para determinar el volumen en huevos recién puestos, pero es una limitante en estudios de especies silvestres, las formulaciones matemáticas son útiles a nivel específico.

La construcción de "volúmetros" (instrumento para medir volúmenes) surge como una idea para tratar de superar los problemas expresados, el método diseñado por **Loftin & Bowman** (1978) es una solución relativamente buena, su error promedio de medida es del 2% pero tiene el inconveniente de no ser práctico para su transporte. La técnica picnométrica aquí presentada tiene un rango de error menor al del volúmetro de Loftin y es de fácil transporte aunque requiere de una balanza con capacidad de 200 a 400g., fácil de conseguir en el mercado, muy bien diseñadas para tal efecto. La técnica, como se enunció, es independiente del tamaño, forma, peso y densidad del huevo. El volumen se puede determinar en cualquier estado de desarrollo del huevo y es necesario para el cálculo de densidad (peso/volumen). Esta unidad de medida, semejante a la de gravedad específica, es útil para establecer parámetros de calidad de

huevo o del desarrollo de la cámara de aire en huevos fértiles; podría ser un indicador diagnóstico de la humedad relativa (**H.R.**) de incubación, (a menor **H.R.** de incubación, mayor pérdida de peso del huevo y como consecuencia menor densidad).

## Materiales y métodos

### Técnicas volumétricas:

#### A.- Determinación por desplazamiento de volumen de agua ( $T_v$ )

Se dispuso de un equipo que consiste en un soporte universal de hierro con sendos dispositivos que sirven a su vez de soporte a un embudo y a una bureta de 10ml (aro metálico y pinza), dos vasos de precipitados cada uno de 50 y 100ml. (Fig.1A), una caja de petri, una balanza OHAUS (dial-0-gram) de 310g con aproximación a 0.01g y 12 huevos de codorniz (*Coturnix coturnix*) adquiridos en un supermercado.

El método permite determinar el volumen de agua desplazada (**VAD**) cuando se echa un huevo en un vaso, ( $v'$ ) de precipitados lleno con agua hasta el límite de reboso. El peso (**g**) del agua desplazada se expresa con igual valor en **ml** debido a que su densidad es de 1.0. El agua desplazada se recoge en el vaso, ( $v''$ ) a través de un embudo (Fig.2A). La diferencia de peso entre  $v''$  más el volumen de agua desplazada, menos el vaso vacío [( $v'' + \text{VAD}$ ) -  $v''$ ] nos da el volumen inicial del huevo (=técnica de medida de volumen 1 ( $T_{v1}$ )). Este valor ha sido tomado tradicionalmente como el volumen del huevo (**VH<sub>1</sub>**), sin embargo, en este ensayo se estima la cantidad de agua que habiéndose rebosado no se recoge en el vaso, debido a que algo queda en la superficie del huevo, en las paredes del embudo y en el vaso. El volumen (ml) de agua que no se puede recoger se da como un factor de corrección (**FC**) que se determinó así: a  $v'$  completamente lleno se le adiciona agua con una bureta hasta el reboso de la misma (**VR**) que es recogida en una caja de petri, de tal forma que la diferencia de peso entre la caja de petri con el agua desplazada menos el peso de la caja de petri nos da el agua desplazada recuperada (**VAR**); la diferencia entre el volumen de reboso y el agua desplazada recuperada nos da el agua que se ha quedado en las paredes (**FC**), así **VR-VAR = FC**. El **FC** se determinó con 5 repeticiones por huevo y el promedio se utilizó para corregir el valor **VH<sub>1</sub>**, así: **VH<sub>1</sub> + FC = VH<sub>2</sub>** Donde **VH<sub>2</sub>** es el volumen ajustado (=técnica de volumetría 2,  $T_{v2}$ )

En los procedimientos  $T_{v1}$  y  $T_{v2}$  se usaron 12 huevos con 10 repeticiones para cada uno. Para el efecto es ne-

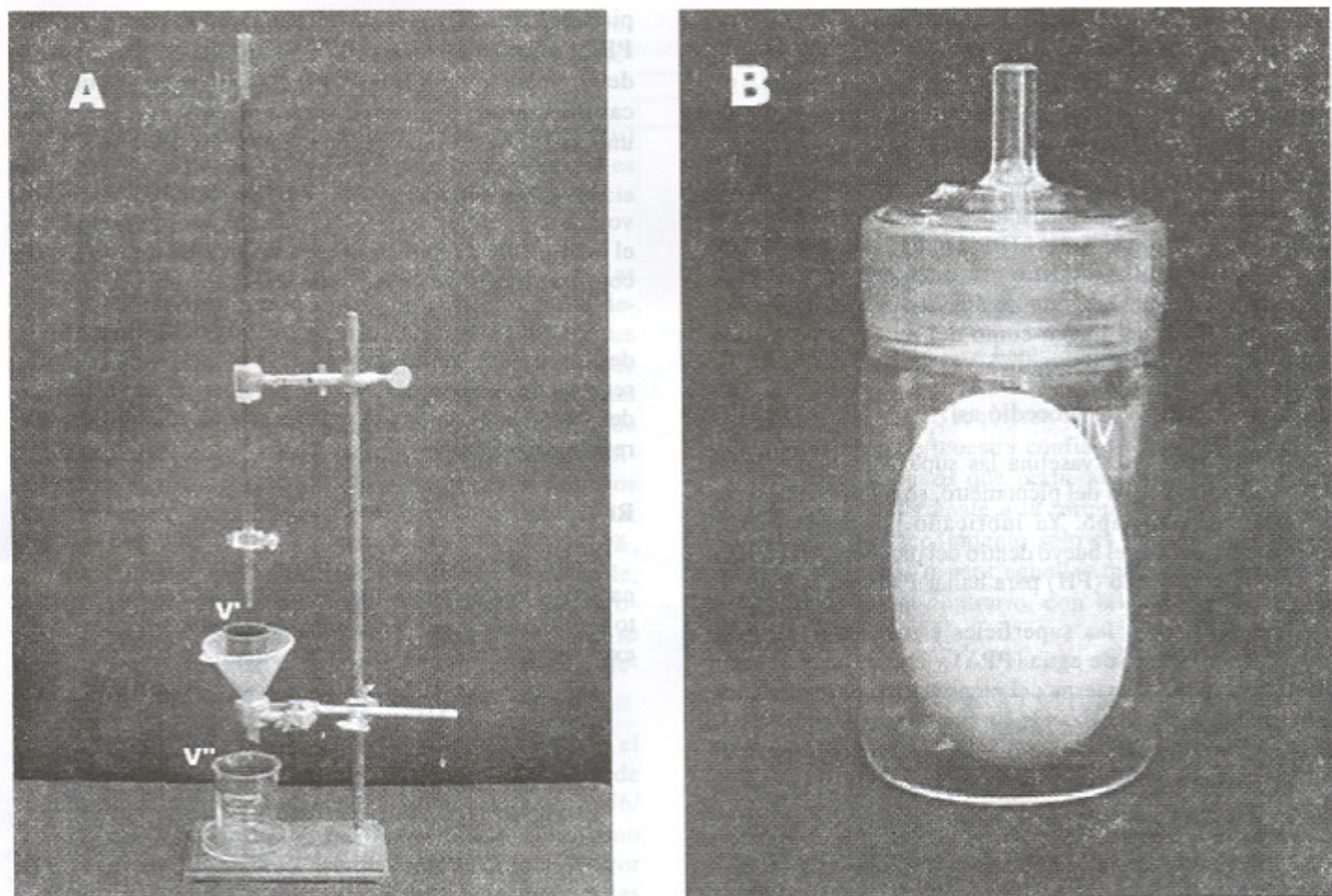


Figura 1. Técnicas para determinación de volumen de huevos por desplazamiento de agua (A) o por picnometría (B).

cesario llenar completamente el vaso, de precipitados hasta el rebose y la adición subsecuente al mismo del 50% del promedio del volumen de agua de rebose ( $VR$ ) (la alta tensión superficial del agua lo permite) para quedar justo en el límite del desbordamiento antes de agregar el huevo y así cuantificar el agua desplazada; la decisión de adicionar el 50% del promedio de  $VR$  fue con base en un criterio empírico experimental no estadístico; previamente se ensayó por cinco veces consecutivas % diferentes de  $VR$  y se encontró que con el 50% era posible el 100% de los ensayos. De este procedimiento depende la máxima exactitud de la técnica volumétrica ( $Tv$ ). El peso se determinó con precisión de 0.01g (= 0.01ml) en una balanza Ohaus.

#### B.- Volumetría por el método picnométrico ( $Tp$ )

Se construyó un prototipo de picnómetro (Fig.1B) a partir de un pesa-sustancias al que se le sustituyó el cuello por una boca esmerilada y a cuya tapa, también

esmerilada, se le acondicionó un sistema capilar que sobresale 4cm. La altura del sistema capilar no es limitante, pero se recomienda que su material sea suficientemente fuerte como para facilitar la remoción de la tapa. Nunca debe cerrarse herméticamente el sistema si previamente no han sido lubricadas, con vaselina, las superficies esmeriladas. Las medidas libres internas del diámetro y altura, una vez tapado fueron de 43.1mm y 51.5mm respectivamente.

La técnica consiste en establecer el volumen ocupado por un huevo ( $VH$ ) dentro de un picnómetro lleno de agua, para lo cual se llegó a la siguiente fórmula:

$$VH = (PPA - PP) - (PPHA - PPH^*)$$

donde:

$VH$ = Volumen del huevo;  
 $PPA$ = Peso del picnómetro lleno de agua;

PP= Peso del picnómetro;  
 PPHA= Peso del picnómetro lleno de agua con el huevo;  
 PPH\*= Peso del picnómetro con el huevo.

En el experimento se calculó el volumen del huevo (VH) hallando PPH mediante la sumatoria de los pesos, por separado, del picnómetro más el peso del huevo, también cuando se pesan juntos (PPH\*) con el huevo dentro del picnómetro. El propósito era establecer el efecto de la disminución de la suma de los errores en la pesada individual tanto del huevo como del picnómetro. Al volumen así hallado se denominó VH\*.

Para lo anterior se procedió así:

Se lubricaron con vaselina las superficies esmeriladas del cuello y de la tapa del picnómetro, se removió el exceso de vaselina y se tapó. Ya lubricado, se pesó (PP) el picnómetro, se pesó el huevo dentro del picnómetro (PPH\*), se pesó el huevo sólo (PH) para hallar  $PPH = PH + PP$

Se relubricaron las superficies esmeriladas, se pesó el picnómetro lleno de agua (PPA) y con el huevo dentro (PPHA) y la pared externa del picnómetro completamente libre de humedad, utilizando un papel absorbente (o tela de algodón) con el que se remueve el exceso de agua de rebose cuando se cierra el picnómetro.

Con toda la información se halló el volumen del huevo de acuerdo con la fórmula ya expresada. La técnica

picnométrica (Tp) se valoró mediante el procedimiento PPH (Técnica 1, Tp<sub>1</sub>) y PPH\* (Técnica 2, Tp<sub>2</sub>), para la determinación de VH y VH\*, respectivamente. En cada caso se usaron 12 huevos con cinco repeticiones para cada uno, así se determinó después de varios ensayos.

Se establecieron los promedios estadísticos de los volúmenes de huevos hallados, la desviación estandar y el coeficiente de variación para las dos técnicas Tp y Tv con sus respectivos ensayos.

Se compararon los efectos medios del error absoluto de los ensayos de las dos técnicas como prueba de diferencias de medias del error a un nivel de significancia del 1% ( $\alpha \leq 0.01$ ) con la prueba de Fisher (mínima diferencia significativa).

### Resultados y discusión

En la Tabla 1 se comparan los resultados de la determinación de volúmenes mediante las técnicas de desplazamiento de volumen (Tv) y del método picnométrico (Tp) ya explicadas.

Para Tv: VH<sub>1</sub> [ $\mu = 12.67 \pm 1.41$  ml, CV 11.16%] > VH<sub>2</sub> [ $\mu = 12.59 \pm 1.35$  ml, CV 10.73%].

Para Tp: VH [ $\mu = 10.27 \pm 0.86$  ml, CV 8.35%] y VH\* [ $\mu = 10.44 \pm 0.82$  ml, CV 7.87%]

son muy similares.

Tabla 1. Resultados de los ensayos de volumetría (VH<sub>1</sub>, VH<sub>2</sub>; VH, VH\*, ver explicación en el texto) obtenidos mediante las técnicas de desplazamiento de volumen de agua (Tv) y de picnometría (Tp). Coeficiente de variación = CV %

| Huevo N°                   | Técnicas desplazamiento volumen de agua (Tv)* |        |        |                 |        |        | Técnica picnométrica (Tp)** |        |        |       |        |        |
|----------------------------|---|--------|--------|-----------------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|
|                            | VH <sub>1</sub>                               |        |        | VH <sub>2</sub> |        |        | VH                          |        |        | VH*   |        |        |
|                            | X   | D.S.   | C.V. % | X               | D.S.   | C.V. % | X                           | D.S.   | C.V. % | X     | D.S.   | C.V. % |
| 1                          | 15.24   | ± 0.89 | 5.86   | 15.41           | ± 0.96 | 6.26   | 11.76                       | ± 0.18 | 1.52   | 11.78 | ± 0.06 | 0.53   |
| 2                          | 12.51   | ± 0.73 | 5.83   | 12.48           | ± 0.88 | 7.04   | 10.40                       | ± 0.13 | 1.30   | 10.52 | ± 0.05 | 0.52   |
| 3                          | 10.70   | ± 0.45 | 4.21   | 10.74           | ± 0.45 | 4.18   | 10.34                       | ± 0.09 | 0.88   | 10.52 | ± 0.06 | 0.54   |
| 4                          | 13.35   | ± 0.56 | 4.19   | 13.44           | ± 0.71 | 5.31   | 12.01                       | ± 0.10 | 0.84   | 12.19 | ± 0.07 | 0.58   |
| 5                          | 13.49   | ± 0.62 | 4.60   | 13.55           | ± 0.99 | 7.28   | 10.37                       | ± 0.10 | 1.0    | 10.53 | ± 0.05 | .050   |
| 6                          | 11.37   | ± 0.63 | 5.51   | 11.35           | ± 0.74 | 6.49   | 9.16                        | ± 0.08 | 0.85   | 9.38  | ± 0.07 | 0.73   |
| 7                          | 13.59   | ± 0.20 | 1.46   | 13.66           | ± 0.36 | 2.63   | 10.03                       | ± 0.06 | 0.63   | 10.27 | ± 1.73 | 1.73   |
| 8                          | 12.54   | ± 0.66 | 5.24   | 12.75           | ± 0.55 | 4.28   | 10.27                       | ± 0.08 | 0.79   | 10.40 | ± 0.07 | 0.65   |
| 9                          | 12.34   | ± 0.84 | 6.81   | 12.43           | ± 0.92 | 7.42   | 9.81                        | ± 0.14 | 1.40   | 10.00 | ± 0.18 | 1.81   |
| 10                         | 11.69   | ± 0.40 | 3.45   | 11.78           | ± 0.41 | 3.51   | 9.86                        | ± 0.10 | 0.96   | 10.01 | ± 0.15 | 1.51   |
| 11                         | 12.93   | ± 0.86 | 6.65   | 12.97           | ± 0.84 | 6.47   | 10.29                       | ± 0.08 | 0.74   | 10.43 | ± 0.07 | 0.65   |
| 12                         | 11.31   | ± 0.68 | 6.02   | 11.38           | ± 0.66 | 5.82   | 9.00                        | ± 0.13 | 1.44   | 9.23  | ± 0.07 | 0.73   |
| ??C.V.% repeticiones huevo |   |        | 4.99   |                 |        | 5.56   |                             |        | 1.03   |       |        | 0.87   |
| Promedio Volumen Huevo     | 12.59   | ± 1.35 | 10.73  | 12.67           | ± 1.41 | 11.16  | 10.27                       | ± 0.86 | 8.35   | 10.44 | ± 0.82 | 7.87   |

\* Diez repeticiones por huevo; \*\* Cinco repeticiones por huevo.

Para esta última, los CV corresponden a las variaciones reales de los tamaños en volumen de los huevos según los procedimientos VH y VH\*.

Comparando las diferencias promedio del volumen ( $\mu$ ) de huevos entre las técnicas Tv y Tp, se encuentra que es de 2.4 ml (12.67 ml - 10.27 ml) y por tanto la diferencia de las técnicas.

Una manera de ver el grado de repetibilidad de las técnicas es analizar el coeficiente de variación de la determinación del volumen entre las repeticiones de un mismo huevo. Así en la técnica por desplazamiento de volumen (Tv) el huevo 1 (con 10 repeticiones) tuvo un C.V. de 5.86% con el ensayo de determinación VH<sub>1</sub> y de 6.26% con el VH<sub>2</sub>. Si se analiza el promedio de los coeficientes de variación de las réplicas de todos los huevos (12), de mayor a menor, con las dos técnicas nos queda: VH<sub>2</sub> = 5.6%, VH<sub>1</sub> = 4.99%, VH = 1.03%, VH\* = 0.87%, se deduce que el procedimiento más exacto, y repetible, es el del picnómetro, determinando VH\*, y el menos apropiado es el VH<sub>2</sub>. Sin embargo, este último (VH<sub>2</sub>) se ajusta más a la realidad por cuanto su determinación tiene en cuenta el factor de corrección (FC).

Sobre un volumen promedio de 12.67ml de VH<sub>2</sub>, el error promedio esperado en una determinación sería de 0.7ml teniendo como base el CV 5.56% (12.67 x 5.56/100) y para VH\* sería de 0.09 ml siguiendo el mismo procedimiento. El análisis estadístico de rangos de error mostrado en la Fig. 2 señala que no existe diferencias estadísticas significativas entre los ensayos de la Tv y la Tp, pero sí entre las dos técnicas ( $\alpha \leq 0.01$ , Prueba de diferencia de medias del error) Anderson (1984).

La Fig. 2 muestra que según Tv el procedimiento VH<sub>2</sub> es el del mayor rango de error (límites mínimos y máximos de confianza alrededor de la media) seguido del procedimiento VH<sub>1</sub>, mientras que con la Tp, los rangos de error son mucho menores en VH y muy ajustados alrededor de la media del error absoluto para VH\* evidenciando la bondad de la técnica. Es previsible que en el uso del picnómetro el mínimo error inevitable sea el del volumen de la gota de agua que queda por fuera del capilar cuando se ajusta el volumen de agua por cierre hermético del mismo, sumado a los errores de apreciación en la lectura del peso en la balanza (cuando esta no es de lectura directa digital) y a la balanza misma o a la experimentación de instrumental. Por el contrario los errores en la técnica Tv, muchos de ellos minimizados con el procedimiento explicado en este trabajo, sigue siendo difícil de corregir además de ser engorrosa su utilización.

Loftin & Bowman (1978) diseñaron un medidor de volumen para huevos que consiste en un reservorio plástico al

cual se le unen dos buretas de 50cc de capacidad dispuestas sobre una tabla de madera. Su sensibilidad de lectura es de 0.1ml. y su seguridad en la medida del 2%. Tiene dificultad para su transporte. Por fortuna el volumen de los huevos con cáscara no cambia, así que su determinación es posible hacerla *a posteriori* en el laboratorio, sin embargo, hoy en día la tendencia es a valorar la producción y el manejo directamente en vida libre, razón por la cual la técnica picnométrica es más viable siempre y cuando se disponga de una balanza tipo digital de fácil transporte.

Métodos matemáticos han sido desarrollados para determinar volumen de huevos Preston (1968), Maritz & Douglas (1994), pero requieren de valoraciones estadísticas con tamaños de muestra confiables, además de minuciosos procedimientos que permitan afinar los métodos, ajustados particularmente a la forma del huevo. Una vez establecido el procedimiento sólo es válido para una especie determinada o para aquellas que producen huevos semejantes. Por el contrario, con la construcción de un

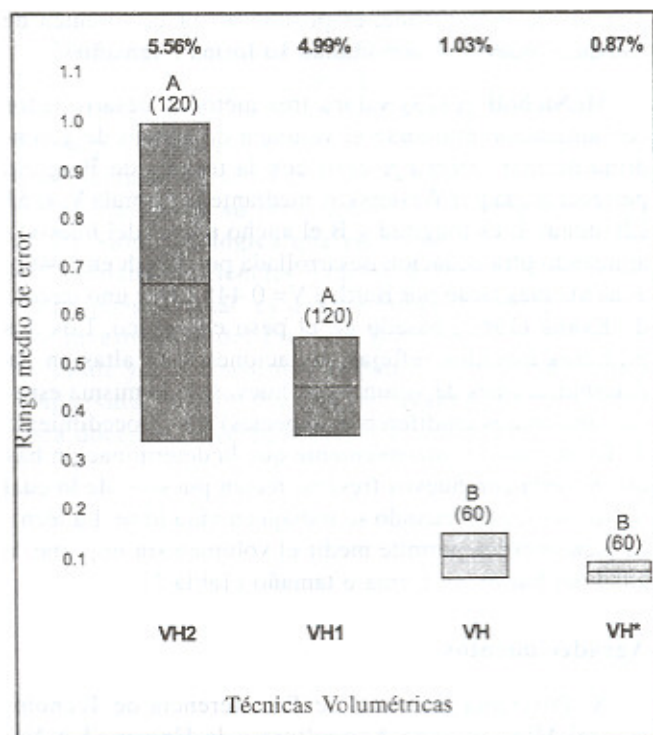


Figura 2. Rangos de error absolutos alrededor de la medida en las técnicas de medición de volumen por desplazamiento de agua (ensayos VH<sub>1</sub> y VH<sub>2</sub>) y por picnometría (ensayos VH y VH\*). Promedio y límites de confianza (línea media y extremos de las cajas). Promedios con la misma letra no diferentes entre sí (técnica de la misma diferencia significativa, LSD) ( $\alpha \leq 0.01$ ). Entre paréntesis número de determinaciones. En negrilla coeficiente de variación.

**Tabla 2.** Promedio de volumen de huevos de Testudinae y Crocodylidae determinados mediante técnica picnométrica. Entre paréntesis número de huevos

| Especies   | Volumen (ml.) |        |       |        |        |
|--|---------------|--------|-------|--------|--------|
|  | $\mu$         | D.S    | (n=)  | Máximo | Mínimo |
| <b>CROCODYLIDAE</b>  |               |        |       |        |        |
| <i>Crocodylus intermedius</i><br>(caimán llanero)          | 113.25        | ± 6.13 | (108) | 130.50 | 94.74  |
| <i>Caimán crocodilus crocodilus</i><br>(babilla)           | 56.19         | ± 4.91 | (198) | 70.62  | 41.65  |
| <b>TESTUDINAE</b>  |               |        |       |        |        |
| <i>Rhinoclemys melanosterna</i><br>(tortuga palmera)       | 37.65         | ± 9.21 | (88)  | 56.22  | 15.18  |
| <i>R. diademata</i><br>(tortuga inguensa)                  | 42.98         | ± 5.93 | (31)  | 56.35  | 29.83  |
| <i>R. diademata</i> x <i>R. Melanosterna</i><br>(híbridos) | 30.75         | ± 8.21 | (115) | 46.15  | 8.05   |
| <i>Kinosternum</i> sp<br>(tapaculos)                       | 5.32          | ± 0.64 | (7)   | 6.09   | 4.65   |
| <i>Trachemys scripta ornata</i><br>(pecho carey)           | 13.62         | ± 1.24 | (95)  | 16.89  | 10.77  |
| <i>Phrynops gibbus</i><br>(hedionda)                       | 14.53         | ± 1.90 | (3)   | 16.19  | 12.45  |
| <i>Phrynops tuberosus</i><br>(bachala)                     | 15.97         | ± 0.69 | (6)   | 17.16  | 15.08  |
| <i>Geochelone carbonaria</i><br>(morrocoy negro)           | 48.66         | ± 7.99 | (7)   | 59.50  | 40.21  |

picnómetro más grande, es posible medir el volumen de cualquier huevo no importando su forma o tamaño.

McNicholl (1973) valoró tres métodos desarrollados con antelación midiendo el volumen de huevos de golondrina de mar (*Sterna fosteri*) con la técnica de Bergtold perfeccionada por Westerskov mediante la fórmula  $V=0.51 LB^2$  donde L es longitud y B el ancho mayor del huevo; o aplicando otra ecuación desarrollada por Worth en 1940 y ajustada más tarde por Barth a  $V=0.445 LB^2$  y uno tercero de Evans (1969) basado en el peso específico. Los dos primeros métodos reflejan variaciones muy altas en las determinaciones de volumen de huevos de la misma especie (analizados en diferentes especies) y el procedimiento de Evans tiene el inconveniente que la determinación hay que hacerla con huevos frescos, recién puestos, de lo cual no se está seguro cuando se trabaja en vida libre. La técnica picnométrica permite medir el volumen sin importar la edad del huevo, su forma o tamaño (Tabla 2).

#### Agradecimientos

Al Programa Nacional de Transferencia de Tecnología del Ministerio de Agricultura y la Universidad Nacional de Colombia por la financiación de este proyecto (Contrato de Cofinanciación No. 971504041 de 1998). A Fernando Hernández asistente de investigación de la Estación de Biología Tropical Roberto Franco (Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Villavicencio, Meta, COLOMBIA).

#### Bibliografía

- Anderson, T. W., 1984. An introduction to multivariate analysis. Wiley, Nueva York, 675 pp.
- Barth, E. K., 1953. Calculation of an egg based on loss of weight during incubation. *The Auk*, **70** (2): 151-159.
- Christensen, V. L. & K. E. Nestor. 1994. Changes in functional qualities of turkey eggshells in strains selected for increased egg production or growth. *Poultry Science*, **73**: 1458-1464.
- Evans, R. M., 1969. Specific gravity of White Pelican eggs. *The Auk*, **86** (3): 560 - 561.
- Harms, R. H., A.G. Abdallah & D. R. Sloan. 1994. Errors in measuring and calculating eggshell quality. *Poultry Science*, **73**:599-602.
- Loftin, R. W. & R. D. Bowman. 1978. A device for measuring egg volumes. *The Auk*, **95** (1): 190-192.
- Maritz, M. F. & R. M. Douglas. 1994. Shape quantization and estimation of volume and surface area of reptiles eggs. *Jour. Herp.*, **28** (3): 281-291.
- McNicholl, M. K., 1973. Volume of Forester's Tern eggs. *The Auk* **90** (4):915-917.
- Padron, M.E., 1991. Calidad de cascarón en aves reproductoras pesadas. *Avicultura profesional*, **8** (3): 112-114.
- Preston, F. W., 1953. The shapes of Bird's eggs. *The Auk*, **70** (2): 151 - 182.
- Preston, F. W., 1968. The shapes of Bird's eggs: Mathematical aspects. *The Auk*, **85** (3): 45- 463.
- Sauveur, B., 1993. El huevo para consumo: bases productivas. Ediciones Mundi-Prensa y Aedos. Madrid-Barcelona. España.
- Zumbado, M., 1983. La gravedad específicas para determinar la calidad del cascarón. *Avicultura Profesional*. Marzo, 8-10.