

## THE USE OF AERIAL PHOTOGRAPHS FOR ESTIMATING SCHOOL SIZES OF CETACEANS

by

Michael D. Scott<sup>1</sup>, Wayne L. Perryman<sup>2</sup>, and William G. Clark<sup>3</sup>

### ABSTRACT

The accuracy and precision of dolphin school size estimates based on aerial photograph counts were examined using data collected on recent aerial and ship surveys. These estimates were found to be accurate during a 1979 research cruise aboard a tuna purse-seiner; dolphin schools were photographed from the ship's helicopter, encircled with the purse-seine, and then counted as the dolphins were released from the net. A comparison of photographic estimates with these counts indicated that the relationship was fairly close and gave no indication of significantly differing from 1:1. During a 1980 aerial study, photographic estimates from different schools, passes, and camera formats were compared and were found to be quite precise, with a standard deviation of approximately 6% of school size.

Photographic estimates were also compared with estimates made by aerial observers. Most observers tended to underestimate school size, particularly for large schools. The variability among observers was high, indicating that observers should be individually calibrated.

### INTRODUCTION

School size is an important factor in the estimation of density and abundance of cetaceans. For dolphin species in the eastern tropical Pacific (ETP), aerial surveys have been used to provide data on the densities of schools and on average school sizes. School size data are typically based on counts or estimates by observers aboard the aircraft.

Observer estimates of large aggregations of animals, however, can be greatly in error. Chaitin (1952) has described such estimates fairly accurately as "a wild guess plus ten per cent." Lavigne, Øritsland, and Falconer (1977) presented 134 observers with slides of large numbers of dots and aerial slides of pinniped groups hauled out on ice and demonstrated a tendency for these observers to overestimate. Ray and Wartzok (1980) showed similar results for observer estimates of photographs of pinnipeds and cetaceans. Brown (1971), however, showed that observers underestimated large numbers of objects presented on photographs. Heyland (1972) compared aerial observer estimates of geese with aerial photographs taken at the same time, and found that the observers underestimated the number of geese present. Similarly, Sinclair (1973) compared photographic and observer estimates of African buffalo (*Syncerus caffer*) and found that the observer estimates

<sup>1</sup>Inter-American Tropical Tuna Commission, c/o Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, CA 92037

<sup>2</sup>Southwest Fisheries Center, NOAA, P.O. Box 271, La Jolla, CA 92038

<sup>3</sup>School of Fisheries, University of Washington, Seattle, WA 98195

varied considerably in accuracy, but usually underestimated herd size, particularly for large herds of over 500 animals. Withrow (1982) found similar results for large groups (>200) of hauled-out Stellar sea lions (*Eumetopias jubatus*). Such disparity in results makes it difficult to generalize about observer estimates.

Aerial photography has been increasingly used to collect cetacean group size data (Heyland, 1974; Ray and Wartzok, 1980; R. Wells, unpublished data). Not every school encountered, however, can be successfully photographed. Factors such as sea state, sun glare, water clarity, or behavior of the animals can obscure portions of the school, making the photographs unsuitable for analysis. Thus observer estimates, although often unsatisfactory for large aggregations, must often be relied upon for school size data.

Aerial photographs were taken of dolphin schools during four surveys in the ETP (Table 1). One of these surveys was designed to determine the accuracy of estimates derived from the photographs. The precision of the photographic estimates was determined from the results of another survey in which estimates made from photographs taken by cameras with different formats, on different passes, and by different readers were compared. Data from all four surveys allowed the comparison of both aerial observer and photographic estimates.

This study deals with those questions that can be answered by statistical analysis of the above data, such as:

- 1) Do estimates derived from photographs accurately depict the true school size?
- 2) Do photographs taken with the same camera on successive passes over the same school yield statistically indistinguishable estimates of school size?
- 3) Do the different camera types yield different school size estimates?
- 4) Are there systematic differences among observers in visual estimates?
- 5) Can the observer estimates be calibrated by the photographic estimates of those schools for which both kinds of estimates are available?

## MATERIALS AND METHODS

### Field methods

During 1979, a study was conducted by the Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC) to investigate the accuracy and precision of observer estimates made from the tuna purse seiner, *M/V Gina Anne* (Allen *et al.*, 1980). Observers on board the *Gina Anne* independently estimated the sizes of dolphin schools which were captured by the purse seiner. The captured dolphins were then counted by two to four observers as the dolphins were released over the net during the "backdown" procedure (Figure 1). These observers counted from small boats stationed along the backdown area. An estimate of the total school size was obtained by adding the backdown count, the estimated number of dolphins which escaped capture, and the number of dolphins killed, if any, during the set. The backdown

counts were later compared with the shipboard observer estimates.

These dolphin schools were also photographed by National Marine Fisheries Service (NMFS) personnel from the *Gina Anne's* Bell-47 helicopter with a vertically-mounted KA-51A 127-mm (5-inch) camera and a handheld Hasselblad 500 EL/M 70-mm camera. Whenever possible, the helicopter made multiple photographic passes over the schools at altitudes of 215-335 m and at speeds of 65-70 knots. Estimates of school size based on counts made from the photographs were compared to the estimates based on backdown counts so that the accuracy of the aerial photographic estimates could be assessed. Aerial estimates of school size were also made by one to three observers and these estimates were compared with both the photographic estimates and the backdown counts.

In 1979, aerial photographs were taken as part of a NMFS aerial survey for dolphins in the ETP (Jackson, 1980). A four-engine PBY-5A Catalina airplane was used for this survey; flights were based from airports in Mexico, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Ecuador, and Peru. Photographs were taken with a vertically mounted K-17C 229-mm (9-inch) camera and a handheld Hasselblad 70-mm camera. Several photographic passes were made over schools at altitudes of 240-305 m and at speeds of 90-100 knots. Observers on board recorded notes on school behavior and formations. The schools were later circled so that the observers could estimate school size and identify species.

Estimates were usually based on some type of count. Individual animals could be counted in very small schools, but usually subgroupings which contained approximately equal numbers of animals were counted in larger schools. Thus, the larger the school, the larger the subgroupings had to be. For large schools containing thousands of animals, an observer may have counted in increments of 200 or more. These estimates (by up to six observers per school) were made independently and not discussed until after the field study had been completed. Not all of the schools for which school size estimates were made could be successfully photographed.

An aerial photogrammetric study was also conducted by the IATTC, with personnel and equipment support from the NMFS, in 1980. The study was designed primarily to test the feasibility of measuring dolphin lengths from aerial photographs (Anonymous, 1981). In addition, one to four observers made independent school size estimates which were compared with school size estimates made from the photographs. In this study, a KA-45A 127-mm camera, a KA-62A 127-mm camera, a KC1B 229-mm camera, and four Hasselblad 70-mm cameras were vertically mounted aboard a twin-engine Beechcraft AT-11 airplane. The photographs taken with the KA-45A camera were not used, however, due to a camera malfunction. Photographic passes were made at altitudes of 240-275 m at speeds of 90-100 knots. The schools were circled at an altitude of 150 m to get observer estimates of school size.

Photographs were also taken during a 1981 NMFS aerial survey designed to

---

test the effects of environmental conditions on numbers of schools sighted (Holt, 1983). Photographs were taken of dolphin schools off the coast of Costa Rica with a KA-62A 127-mm camera and four Hasselblad 70-mm cameras vertically-mounted aboard a Beechcraft AT-11 airplane. The methods for obtaining photographs and observer estimates were the same as for the 1980 IATTC study.

### **Photographic counts**

Processed photographs from all surveys were reviewed on a light table to eliminate imagery which was of poor quality or which did not contain all the boundaries of the school. Most of the photographs judged acceptable for analysis were viewed at 6–12x magnification on Variscan Mark II rear-projectors located at the Earth Resources Observation System (EROS) facility in Bay Saint Louis, Mississippi. Images of individual animals were independently marked by two to five readers on acetate mounted on the screen. Slides taken on the 1979 *Gina Anne* study with the Hasselblad camera were viewed with a 70-mm slide projector and marked on a large pad of drawing paper.

The pass was the unit on which the estimate was based, and usually the school was contained on two to three frames from a single pass. The central frame which contained all or most of the school was counted first. Adjoining frames were then overlaid on the plots of the central frame and dolphins not previously counted were added to the plot. The overlap between frames thus allowed questionable images to be re-examined on adjoining frames and allowed counts of animals which may have been too deep to be counted on other frames. Counts of outlying subgroups which appeared in some passes, but not on others, were included in the school size estimates of the passes in which the subgroups were missing.

Two types of data were recorded by the photograph readers. One was the actual number of dolphins counted in each pass (the sum of all dolphins plotted); the other was an estimate based on the actual count, but including an additional percentage, usually small, to incorporate dolphins that were not observed. A number of factors were considered in deriving the added percentage. These included the quality of the photograph, the amount of sun glare or splashes that might obscure dolphins, and the number of dolphins that were diving or swimming well below the surface as observed in the photographs or recorded in the field notes. The counts were therefore usually viewed as underestimates of the school size, particularly as the detectability of the dolphins decreased. Reader variability is present in both the counts and the estimates.

## **RESULTS**

### **Accuracy of photographic estimates**

Five schools which were photographed during the *Gina Anne* experiment were compared with the backdown counts. The photographic estimates and the backdown counts are presented in Table 2. The slope of the regression (constrained to pass

---

through the origin) of photographic estimate on backdown count was 1.06, with 95% confidence interval (0.90, 1.22) and  $R^2 = 0.79$ . Although only five data points were available, the relationship between the two gave no indication of differing significantly from 1:1.

It should be noted that the backdown counts are not an absolute "ground truth." It was possible that dolphins were under- or over-counted when a large, tight group of animals was backed out through a single "counting sector." The error due to this, however, is likely to be small. Another source of error is that dolphins sometimes evaded capture after the photographs were taken. The number of dolphins in these groups (usually small groups of 10-40 animals) were estimated by the shipboard observers (Table 2).

While the photographic estimates of school sizes sampled during the *Gina Anne* study ranged from 161 to 396, inferential evidence indicates that the photographic estimates may be accurate for larger school sizes as well. During the 1980 IATTC study, two schools were observed merging into a single school. The two schools were each photographed individually prior to their merging, and then photographed again after they had merged. The sum of the average photographic estimates for the smaller, separate schools (573 and 530) was fairly close to the average estimate for the larger school (1265), indicating that the photographic estimates were likely to be consistent among large and small schools.

#### **Analyses of variance of photographic estimates**

During the four surveys a total of 151 schools were photographed, of which 71 (47%) were in photographs of good enough quality to be used in the analysis. The average counts and the average best estimates from the photographs are presented in Table 3.

Analyses of variance were conducted to measure the effect of several factors on photographic estimates of school size (Clark, 1984). Since the variance among readings of the same photograph was greater for large schools than small ones, a logarithmic transformation was used to standardize the within-cell variances. Bartlett's test did not show significant heterogeneity of variances in the logarithms of the photographic estimates, so these were used in all the analyses. Roughly speaking, a difference between cells in the logarithms of the estimates can be regarded as a proportional difference.

The sources of variation among the photographic estimates which were examined included:

- 1) Reading. Different readers usually obtained different estimates from a single pass. These differences among readings of the same photograph measure the minimum uncertainty inherent in the method. For purposes of variance analysis, they provided the within-cell variance with which other effects were compared.

- 2) Pass. Tests were conducted to determine whether there were significant differences, on average, among estimates based on photographs taken with the same

---

camera on different passes over the same school.

3) Camera format. Tests were conducted to determine whether there were significant differences, on average, among estimates based on photographs taken by cameras with different "formats" or frame sizes (70 mm, 127 mm, or 229 mm) on the same passes over the same school.

4) School. There were obviously large differences among schools in estimates of school size, and these were quite consistent among passes and formats. While there was no doubt that the effect of school was large and significant, this factor necessarily appeared in all the variance analyses so that it could be estimated and then removed to test those effects in question—pass and camera format.

In terms of the analysis of variance, a mixed model with nesting was used: camera format was treated as a fixed effect to be tested for significance and estimated if found significant, while school and pass were treated as random effects with pass nested within school. Only for schools photographed during the 1980 IATTC study in which multiple passes were made and all three camera formats were used was there an opportunity to treat the effects of school, pass, format, and reading simultaneously.

*Effect of pass* — In order to use as much data as possible, an analysis of variance was done for each camera format separately (Table 4). Treating the formats separately for this purpose also simplified the model, since only school, pass, and reading remained as sources of variance. The analysis for each camera format used the estimates of all schools with at least two readings from each of at least two passes when the camera in question was operated. The 9-inch camera used in 1979 could not be treated at all because it was not operated successfully on more than one pass over any school.

For each of the three formats, the variance analyses showed that the effect of pass was significant ( $P < .005$ ). The effect of pass, however, is not large (6–8% of school size), and barely exceeds the variation due to reading, which is close to 5% of school size for all three formats. School accounts for about 99% of the total variance in each of the three sets of data.

Since an aircraft making repeated passes over a school affects the behavior of the animals, pass could be treated as a covariate instead as a variance component (Table 5). When it was, the slope was positive and significant within each camera format, which meant there was a significant tendency for photographic estimates to increase from one pass to the next:

	<i>229-mm format</i>	<i>127-mm format</i>	<i>70-mm format</i>
Estimated slope	.018	.011	.038
95% confidence interval	.004–.032	.003–.020	.012–.064

Once again it should be noticed that while the effect of pass is significant, it is small, amounting to 1–2% of school size per pass.

Since the effect of pass was significant within each format, it could not be eliminated from the model. The way in which it was handled thereafter, however, depended on the nature of the effect. There were two possibilities at the extremes:

1) The effect of pass was consistent among formats. In this case it would not be possible to compare estimates obtained with different formats on different passes, since the effects of pass and format would be confounded.

2) The effect of pass was not consistent among formats. In this case it would be possible to compare estimates obtained with different formats on different passes since, for purposes of testing the effect of format, the effect of pass would simply add to the error variance.

Since pass was significant as a covariate within each format, the first possibility could not be excluded altogether. In order to decompose the effect of pass into a consistent portion and a residual representing interaction, an analysis of variance was done on only the 11 schools that permitted all effects to be estimated simultaneously (Table 6). These schools were photographed in 1980 with both the 229-mm and 127-mm cameras on at least two passes. Both portions were significant, but the consistent effect of pass accounted for three quarters of the variance associated with pass. The effect of pass was therefore found to be largely consistent among formats.

**Effect of format** — Since the effect of pass was consistent among formats, the only good test of format was restricted to passes on which at least two cameras were operated successfully. This requirement effectively restricted the comparison to the same set of 11 schools referred to above. In the analysis of variance of those estimates (Table 6), format was significant as a fixed effect ( $P = .04$ ), but again the effect was small, .015. This means that on average the estimates made from 229-mm photographs were 1.5% greater than the estimates made from 127-mm photographs.

#### **Precision of average photographic estimates**

For a particular school and format, the variance of an average photographic estimate is smaller than the variance of a single photographic estimate. In this situation, let

$n_p$  = the number of passes over the school

$n_r$  = the number of readings per pass

$\sigma_p^2, \sigma_r^2$  = the corresponding variance components of the log estimate  $y$ .

It can be shown that:

$$V(\bar{y}) = \frac{\sigma_r^2}{n_r n_p} + \frac{\sigma_p^2}{n_p}$$

With  $n_r = n_p = 2$ , and with  $\sigma_r = .05$  and  $\sigma_p = .08$  as above, the standard deviation of the average photographic estimate for a school is  $S(\bar{y}) = .06$  or about 6% of school size. Therefore, even if differences due to camera format add 1-2%, the average photographic estimate of school size is still very precise.

In what follows, the average photographic estimate will be treated essentially as a fixed point, regardless of the format or number of passes involved, because the variance of photographic estimates is so small compared with the variance of observer estimates.

### Comparison with observer estimates

The important question concerning observer estimates is whether there is a consistent relationship between observer and photographic estimates of a given school. If there is, the relationship can be used to adjust observer estimates of the schools that were not photographed. If there is not, the interpretation of the observer estimates is problematic.

The quantity of interest here is therefore not an observer estimate itself, but the difference between an observer estimate and the average photographic estimate of the same school. For practical purposes this difference can be thought of as the error in the observer estimate, since the average photographic estimate has a variance much smaller than the variance of observer estimates of a given school. Treating the difference as an error assumes that the bias of the average photographic estimate is small or nil.

Like the photographic estimates, the errors of the observer estimates have variances that increase with school size. To standardize the variances, each observer estimate was divided by the average photographic estimate of that school, and this ratio was used in all the analyses. Algebraically, this quantity is:

$$\begin{aligned} \text{Ratio} &= \frac{\text{Observer estimate}}{\text{Average photographic estimate}} \\ &= \frac{\text{Average photographic estimate} + \text{Error of observer estimate}}{\text{Average photographic estimate}} \\ &= 1 + \frac{\text{Error observer estimate}}{\text{Average photographic estimate}} \end{aligned}$$

Working with the ratio is therefore equivalent to working with the *relative* error (which can be either positive or negative) of the visual estimate. The sources of variance in this ratio are:

- 1) School size. To categorize this effect, schools were divided into five size



groups according to average photographic estimates: 1-99, 100-199, 200-499, 500-999, and  $\geq 1000$ . These divisions were chosen because they provided a reasonably even distribution of schools among the five categories.

2) Observer. There were 13 observers in these studies, but most were represented by rather few estimates. Only the estimates of three observers (from the 1980 IATTC study) provided adequate coverage of the school size categories and adequate homogeneity of variance to carry out the analysis.

In addition, there may be a significant effect due to individual school, but as this effect was not of interest, it was not estimated (i.e. in the analysis of variance, it was left as part of the error term).

A scatter diagram of all estimates by the 13 observers and corresponding average photographic estimates (Figure 2, Table 7) shows that despite some scatter, the observer estimates as a group are fairly accurate for small schools (up to about 200 animals), but that the majority are low for larger schools. This suggests a curvilinear relationship between observer estimate and school size, and consequently accounts for some of the variance in the ratios of observer estimate to average photographic estimate.

Only three observers had large samples of estimates over a broad range of school sizes. When this three-observer subset was analyzed (Table 8), all factors (observer, school size, and the interaction) were found to be highly significant, with mean ratios of relative error as follows:

<i>School Size</i>	<i>Observer 1</i>	<i>Observer 2</i>	<i>Observer 3</i>
1-99	.96	.85	.70
100-199	.93	.84	.64
200-499	1.00	.66	.71
500-999	.88	.76	.49
1000+	.65	.45	.36

When only the first two school size categories were included in the analysis, school size was not significant, but observer and the interaction were still highly significant. With only the first three school size categories in the analysis, school size was again highly significant.

Unlike pass and format in the case of observer estimates, the significant differences here are not small. Even within school size categories, the differences are not a few percent of school size but a few tens of percent.

## DISCUSSION

The results of the *Gina Anne* experiment indicate that estimates based on photographic counts are likely to reflect accurately the actual sizes of cetacean schools. Since only five schools could be compared, more data are needed to confirm these results. In particular, schools in which 100% of the animals are captured are needed to reduce the error associated with observers having to estimate

numbers of evading dolphins in addition to counting them during backdown. In this study, however, it was thought that this error was likely to be small because the group sizes of escaping dolphins were usually small and perhaps more likely to be estimated accurately.

The analysis of variance of the photo estimates from the 1980 IATTC study showed that all possible sources of variation were significant—school, format, pass, and the interactions—but that the effect of school dwarfed all the rest of them. This allowed different passes, along with different estimates by the readers, to be considered as replicates. The precision analysis subsequently indicated that the photographic estimates have a standard deviation approximately 6% of school size and thus are quite precise.

The interpretation of the observer estimates, however, is problematic. The general relationship between observer and photographic estimates appears to be curvilinear and suggests that most observers tend to underestimate large schools. Some observers, however, tended to estimate high, and sometimes very high. The results of the analysis of variance of the three-observer subset indicated that this relationship varies among observers, and varies widely. These results may even understate the differences among observers, as the three observers in the subset all happened to estimate low on average. In some school size categories, therefore, it seems likely that the average differences among some observers could amount to much more than the 10–30% of school size indicated by the three-observer subset.

These results and studies by other researchers (Brown, 1971; Heyland, 1972; Sinclair, 1973; Lavigne, Øritsland, and Falconer, 1977; Ray and Wartzok, 1980; Withrow, 1982) indicate that observer estimates can be highly variable. Two methods have been used to calibrate observer estimates, however. Caughley, Sinclair, and Scott-Kemmis (1976) adjusted for bias on an observer-by-observer basis by measuring the performance of each aerial observer in the field where the population size (in this case, a herd of sheep) was known. While their study focused on observer bias at detecting animals, this approach has been applied to group size estimates as well (Withrow, 1982). Large sample sizes over the whole range of school sizes are needed, however, to calibrate the observers. Given the effort needed to calibrate the observers, it is reasonable to assume that a constant cadre of observers would be available for the required surveys.

A second approach is to train observers with slides or photographs of aggregations of known size, allowing the observers to calibrate themselves. Aerial observers have been successfully trained in this manner for surveys of terrestrial animals (Brown, 1971; Sinclair, 1973; Norton-Griffiths, 1978; Dirschl, Norton-Griffiths, and Wetmore, 1981) and hauled-out pinnipeds (Withrow, 1982). The IATTC has also used cine film of known-size dolphin schools taken during the *Gina Anne* cruise to train shipboard observers.

---

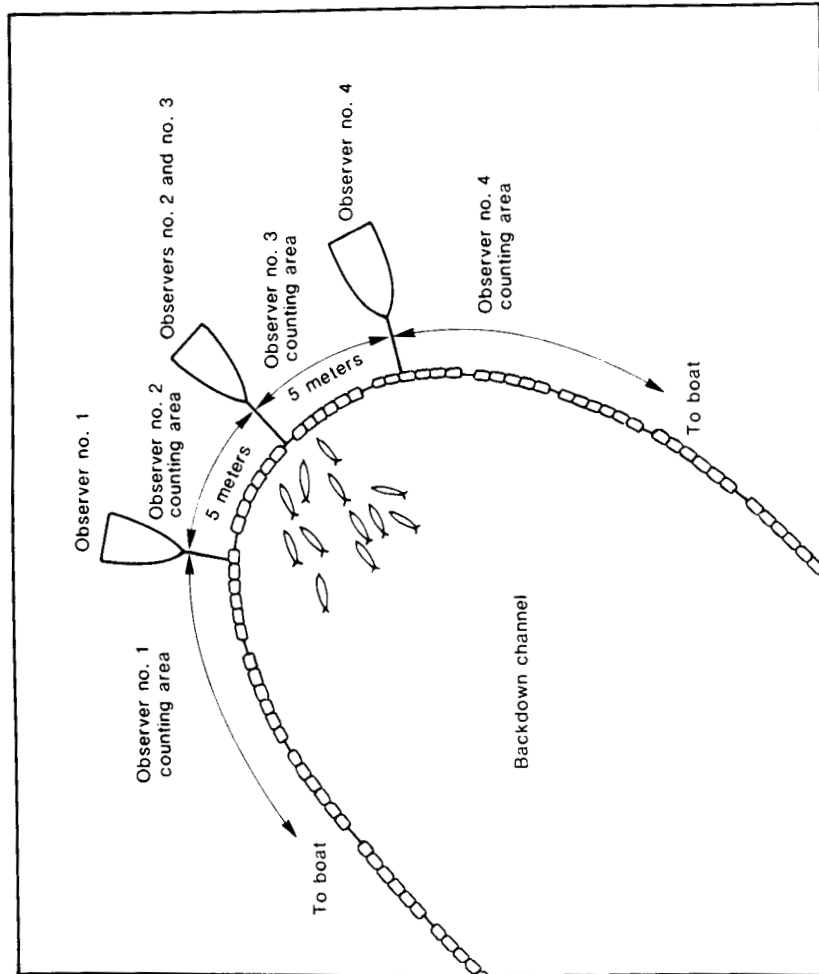
Our data suggest the occurrence of self-training by Observer 1. This observer participated in the 1979 NMFS survey, the *Gina Anne* study (as an aerial observer), and the 1980 IATTC study. In addition, he was a reader of the photographs after each study. For schools of less than 400 animals (the largest group photographed during the *Gina Anne* study and, thus, the subset which could provide a uniform comparison among the three studies), his bias was  $-16.1\%$  during the 1979 study,  $+19.9\%$  during the *Gina Anne* study, and  $-2.0\%$  during the 1980 study. It can be argued that this observer's performance was due to the self-calibration allowed by comparing his previous estimates with the photographic counts.

This points out the likely value of observer experience in accurately estimating school size. Yet the question remains, what constitutes experience in this case? Aerial observers may have spent many hours in the air watching cetacean schools, but may never have had the opportunity to compare their estimates with any form of ground truth, particularly for very large aggregations. Thus, these observers may reliably give the same estimates for schools of the same size, but these estimates may not accurately reflect the true school size. Perhaps our notion of "experience" needs to be re-examined to include calibration of observer estimates against counts from aerial photographs.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

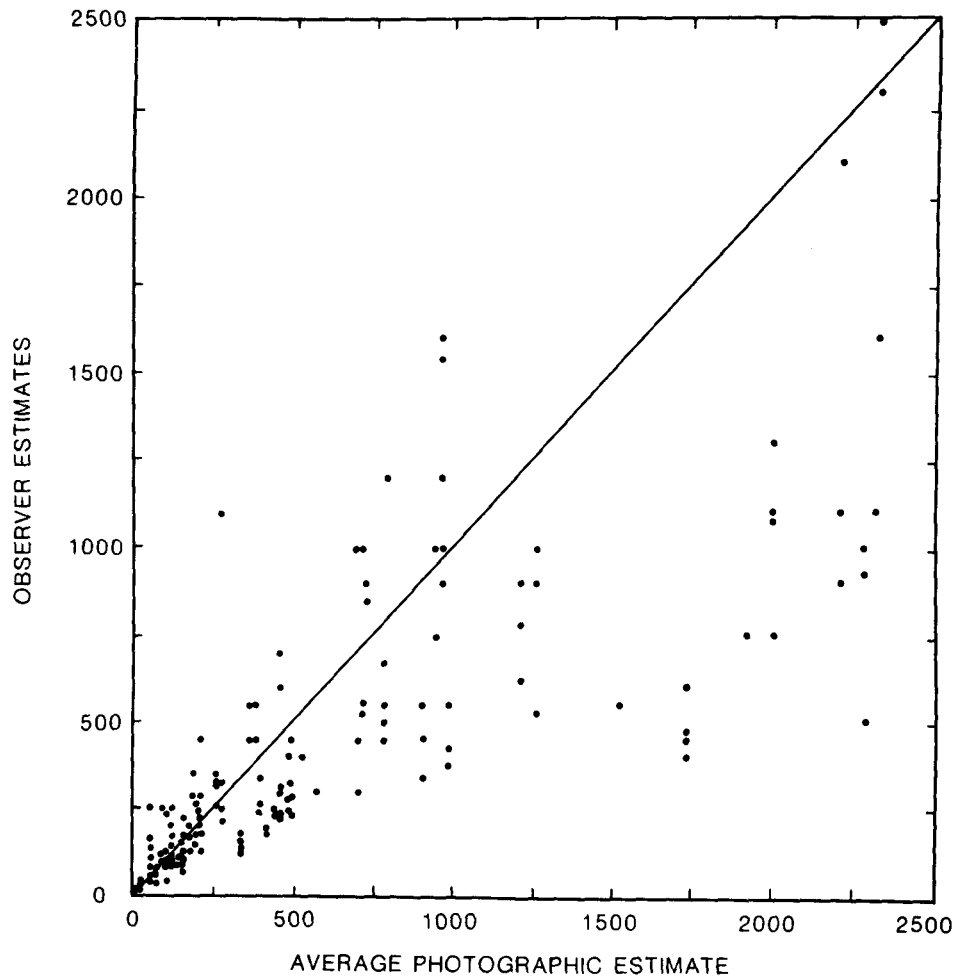
The authors gratefully acknowledge the following individuals who participated in these surveys as pilots, observers, or readers: S. Alexander, E. Barham, W. Brinkerhoff, R. De Rosa, T. Flynn, L. Hansen, R. Holt, T. Jackson, C. Jardin, J. Laake, S. Leatherwood, J. Niehaus, C. Oliver, J. Olson, F. Ralston, J. Rutledge, R. Stives, and W. Walker. We also are grateful to Captain Pete Balestrieri and the crew of the M/V *Gina Anne* whose willing cooperation and assistance made it possible to do the shipboard and helicopter study. We also thank the staff of the EROS facility at Bay St. Louis, Mississippi, for their help and the use of their Variscan projectors. Funding for the study was provided by the IATTC; camera equipment was provided by the NMFS. The analysis by W. Clark was supported in part with funds provided by the U.S. Marine Mammal Commission. The following people reviewed the manuscript and gave much useful advice: W. Bayliff, D. DeMaster, M. Hall, P. Hammond, A. Hohn, R. Holt, J. Laake, C. Peterson, G. Scott, and P. Tomlinson.

---



**FIGURE 1.** Positions of speedboats and observers during the backdown procedure on the 1979 *Gina Anne* cruise (modified from Allen et al., 1980).

**FIGURA 1.** Posición de los observadores y de las lanchas durante la maniobra del retroceso en el crucero de 1979 del *Gina Anne* (modificada de Allen et al., 1980).



**FIGURE 2.** Comparison of visual estimates made by aerial observers and the corresponding average photographic estimates of cetacean schools. Not shown are observer estimates of 2500, 4000, 4200, and 4800 for a school with an average photographic estimate of 6028. The diagonal line is the 1:1 bisector.

**FIGURA 2.** Comparación de las estimaciones visuales hechas por los observadores a bordo de las aeronaves y el promedio correspondiente de las estimaciones fotográficas de los cardúmenes de cetáceos. No se presentan las estimaciones de los observadores de 2500, 4000, 4200 y 4800 de un cardumen con un promedio estimado fotográfico de 6028. La línea bisectriz es de 1:1.

TABLE 1. Studies during which aerial photographs were taken.

Study	Aircraft	Cameras	Total no. of observers	Area covered
1979 aerial survey	PBY-5A Catalina	K-17C 229-mm camera; Hasselblad 70-mm camera	6	Off the coasts of Mexico, Central America, and South America, to 750 nm offshore
1979 <i>Gina Anne</i> study	Bell-47 helicopter	KA-51A 127-mm camera; Hasselblad 70-mm camera	3	Off the coast of Mexico, to 800 nm offshore
1980 aerial photogrammetric study	Beechcraft AT-11	KC1B 229-mm camera; KA-62A 127-mm camera; KA-45A 127-mm camera; 4 Hasselblad 70-mm cameras	5	Off the coast of Mexico, to 200 nm offshore
1981 aerial survey	Beechcraft AT-11	KA-62A 127-mm camera; 4 Hasselblad 70-mm cameras	6	Off the coast of Costa Rica, to 56 nm offshore

TABLA 1. Estudios durante los cuales se tomaron fotografías aéreas.

Estudio	Aeronave	Cámara	No. total de observadores	Zona abarcada
Reconocimiento aéreo de 1979	Catalina PBY-5A	cámara K-17C de 229 mm; cámara Hasselblad de 70 mm	6	frente a las costas de México, la América Central y Sudamérica, hasta 750 mn mar afuera
Estudio <i>Gina Anne</i> de 1979	Helicóptero Bell-47	cámara KA-51A de 127 mm; cámara Hasselblad de 70mm	3	frente a la costa de México, hasta 800 mn mar afuera
Estudio fotogramétrico aéreo de 1980	Beechcraft AT-11	cámara KC1B de 229 mm; cámara KA-62A de 127 mm; cámara KA-45A de 127 mm; 4 cámaras Hasselblad de 70 mm	5	frente a la costa de México, hasta 200 mn mar afuera
Reconocimiento aéreo de 1981	Beechcraft AT-11	cámara KA-62A de 127 mm; 4 cámaras Hasselblad de 70 mm	6	frente a la costa de Costa Rica, hasta 56 mn mar afuera

TABLE 2. Comparison of school size estimates based on backdown counts and photographs from the 1979 *Gina Anne* cruise.

Species	Backdown count	Percent of school captured (estimated)	Estimated total school size	Average estimate from photographs
Especie	Cálculo del retroceso	% capturado del cardumen (estimado)	Estimación de la magnitud total del cardumen	Estimación promedio según las fotografías
<i>Stenella longirostris</i>	119	83%	144	201
Mixed <i>S. longirostris</i> and <i>S. attenuata</i>	239	71%	339	396
Mixed <i>S. attenuata</i> and <i>S. longirostris</i>	195	80%	243	216
<i>S. attenuata</i>	143	100%	143	161
<i>S. attenuata</i>	90	34%	264	238

**TABLE 3.** Counts and estimates of dolphin school size from aerial photographs taken during four surveys, 1979-1981.**TABLA 3.** Cálculos y estimaciones de la magnitud de los cardúmenes de delfines según fotografías aéreas tomadas durante cuatro reconocimientos, 1979-1981.

School number	Species	Average photographic count	Average photographic estimate
Número del cardumen	Especie	Promedio del cálculo fotográfico	Promedio de la estimación fotográfica
<i>1979 Gina Anne Study</i>			
<i>Estudio del Gina Anne 1979</i>			
6	<i>Stenella longirostris</i> and <i>S. attenuata</i>	339	362
31	<i>Steno bredanensis</i>	52	55
40	<i>S. attenuata</i>	73	80
72	<i>S. longirostris</i>	182	190
91	<i>S. longirostris</i> and <i>S. attenuata</i>	55	62
100	<i>S. longirostris</i> and <i>S. attenuata</i>	147	153
110	<i>S. attenuata</i> and <i>S. longirostris</i>	380	396
127	<i>S. longirostris</i>	124	127
147	<i>S. longirostris</i>	186	214
159	<i>S. attenuata</i>	141	150
171	<i>S. attenuata</i> and <i>S. longirostris</i>	194	204
<i>1979 NMFS Aerial Survey</i>			
<i>Reconocimiento Aéreo del NMFS 1979</i>			
4	<i>S. attenuata</i>	124	125
31	<i>Tursiops truncatus</i>	24	24
33	<i>T. truncatus</i>	16	17
34	<i>S. attenuata</i>	251	277
47	<i>S. longirostris</i>	57	59
78	<i>S. attenuata</i>	99	107
81	<i>S. longirostris</i>	870	973
82	<i>S. longirostris</i>	2212	2332
137	<i>S. longirostris</i>	58	60
141	<i>Delphinus delphis</i>	89	94
143	<i>T. truncatus</i>	71	72
176	<i>D. delphis</i>	144	154
198	<i>S. attenuata</i>	110	119
383	<i>D. delphis</i>	90	100
384	<i>D. delphis</i>	98	107
<i>1980 Aerial Photogrammetric Study</i>			
<i>Estudio Aéreo Fotogramétrico 1980</i>			
2	<i>S. attenuata</i>	174	181
4	<i>S. attenuata</i>	206	213
8	<i>D. delphis</i>	446	455
9	<i>D. delphis</i>	432	441
14	<i>S. longirostris</i>	484	499
17	<i>Feresa attenuata</i>	24	24
24	<i>S. attenuata</i> and <i>S. longirostris</i>	159	165



TABLE 3. (Continued)

TABLA 3. (Continuación)

25	<i>F. attenuata</i>	68	68
26	<i>S. attenuata</i>	131	141
32	<i>S. longirostris</i> and <i>S. attenuata</i>	298	307
35	<i>F. attenuata</i>	24	26
38	<i>S. longirostris</i>	202	210
39	<i>F. attenuata</i>	73	74
41	<i>S. longirostris</i> and <i>S. attenuata</i>	64	68
44	<i>S. longirostris</i>	148	156
45	<i>Peponocephala electra</i>	704	730
46	<i>S. longirostris</i> and <i>S. attenuata</i>	364	377
47	<i>S. longirostris</i> and <i>S. attenuata</i>	250	262
48	<i>S. attenuata</i> and <i>S. longirostris</i>	704	722
51	<i>F. attenuata</i>	14	15
54	<i>F. attenuata</i>	56	58
63	<i>S. longirostris</i>	2136	2219
67	<i>S. longirostris</i>	542	573
68	<i>S. longirostris</i>	508	530
67 & 68	<i>S. longirostris</i>	1212	1265
70	<i>S. longirostris</i>	1466	1525
71	<i>S. longirostris</i>	1850	1935
72	<i>S. attenuata</i>	324	336
75	<i>S. longirostris</i>	916	956
77	<i>S. longirostris</i>	152	158
78	<i>S. longirostris</i>	50	53
80	<i>S. attenuata</i> and <i>S. longirostris</i>	667	703
83	<i>S. longirostris</i>	756	800
85	<i>S. longirostris</i> and <i>S. attenuata</i>	472	492
86	<i>S. longirostris</i>	472	484
87	<i>S. longirostris</i>	5754	6028
88	<i>S. longirostris</i>	1175	1215
90	<i>S. longirostris</i>	1692	1737
92	<i>S. longirostris</i>	967	989
93	<i>S. longirostris</i>	888	913
94	<i>S. longirostris</i>	1967	2014
95	<i>S. longirostris</i>	2240	2294
99	<i>S. longirostris</i>	738	786
<i>1981 Aerial Survey</i>			
<i>Reconocimiento Aéreo 1981</i>			
60	<i>S. attenuata</i>	171	176
235	<i>S. longirostris</i>	444	458

**TABLE 4.** ANOVA tables for the logarithms of the photographic estimates within camera format; pass treated as a nested factor (from Clark, 1984).

**TABLA 4.** Tablas del análisis de la varianza (ANOVA) de los logaritmos de las estimaciones fotográficas en el formato de la cámara; las pasadas se consideran como un factor anidado (de Clark, 1984).

Source	SS	df	MS	F	P(F)
Fuente	SC	gl	CM	F	P(F)
<i>229-mm camera (1980)</i>					
<i>Cámara de 229 mm (1980)</i>					
School	52.55	12	4.380	263.58	< .005
Cardumen					
Pass within school	.57	35	.016	5.85	< .005
Pasada en el cardumen					
Reading	.15	52	.003		
Lectura					
<i>127-mm camera</i>					
<i>Cámara de 127 mm</i>					
School	316.01	33	9.576	737.17	< .005
Cardumen					
Pass within school	.92	73	.013	6.19	< .005
Pasada en el cardumen					
Reading	.24	120	.002		
Lectura					
<i>70-mm camera</i>					
<i>Cámara de 70 mm</i>					
School	33.13	4	8.283	544.51	< .005
Cardumen					
Pass within school	.11	7	.015	6.90	< .005
Pasada en el cardumen					
Reading	.08	37	.002		
Lectura					

**TABLE 5.** ANOVA tables for the logarithms of photographic estimates within camera format; pass treated as a covariate (from Clark, 1984).**TABLA 5.** Tablas del análisis de la varianza (ANOVA) de los logaritmos de las estimaciones fotográficas en el formato de la cámara; las pasadas se consideran como una covariante (de Clark, 1984).

Source	SS	df	MS	F	P(F)
Fuente	SC	gl	CM	F	P(F)
<i>229-mm camera (1980)</i>					
<i>Cámara de 229 mm (1980)</i>					
School Cardumen	52.52	12	4.377	563.99	<.005
Pass Pasada	.05	1	.051	6.55	.012
Reading Lectura	.67	86			
<i>127-mm camera</i>					
<i>Cámara de 127 mm</i>					
School Cardumen	316.04	33	9.577	1638.86	<.005
Pass Pasada	.04	1	.038	6.46	.012
Reading Lectura	1.12	192	.006		
<i>70-mm camera</i>					
<i>Cámara de 70 mm</i>					
School Cardumen	31.04	4	7.760	2117.06	<.005
Pass Pasada	.03	1	.031	8.57	.005
Reading Lectura	.16	43	.004		

**TABLE 6.** ANOVA table for the logarithms of photographic estimates of the 11 schools photographed in 1980 with both the 229-mm and 127-mm cameras on at least two passes (from Clark, 1984).**TABLA 6.** Tabla del análisis de la varianza (ANOVA) de los logaritmos de las estimaciones fotográficas de los 11 cardúmenes fotografiados en 1980, con ambas cámaras la de 229 mm y 127 mm, por lo menos en dos pases (de Clark, 1984).

Source	SS	df	MS	F	P(F)
Fuente	SC	gl	CM	F	P(F)
School Cardumen	90.43	10	9.043	4029.39	<.005
Pass within school Pasada en el cardumen	.59	28	.021	9.39	<.005
Camera format Formato de la cámara	.01	1	.010	4.31	.041
Reading Lectura	.19	84	.002		

**TABLE 7.** Average photographic estimates and observer estimates of dolphin school sizes.  
**TABLA 7** Promedio de las estimaciones fotográficas y de las estimaciones de los observadores de la magnitud de los cardúmenes de delfines.

School number	Average photographic estimate	Observer estimates						
Número del cardumen	Promedio de la estimación fotográfica	Estimaciones de los observadores						
<i>1979 Gina Anne Study</i>								
<i>Estudio Gina Anne 1979</i>								
		<i>Obs. 1</i>	<i>Obs. 15</i>	<i>Obs. 16</i>				
6	362	450	550					
31	55	58						
40	80	80						
72	190	285	350	144				
91	62	75						
100	153	143						
110	396	240	260	339				
127	127	185	250					
147	214	275	450	243				
159	150	115	175	143				
171	204	285	175	264				
<i>1979 Aerial Survey</i>								
<i>Reconocimiento aéreo 1979</i>								
		<i>Obs. 1</i>	<i>Obs. 3</i>	<i>Obs. 4</i>	<i>Obs. 5</i>	<i>Obs. 6</i>	<i>Obs. 8</i>	<i>Obs. 10</i>
4	125	140		130	170	95	200	
31	24				28	35	40	
33	17				19	18	20	19
34	277	210			1100	325	250	300
47	59			80	165	80	120	
78	107	80		80	235	110	120	100
81	973	900		1600	1540	1200	1000	1200
82	2332	1100		2500	1500	2300	1500	1600
137	60			130		110	250	
141	94					250	80	
143	72			75	102			
176	154	70		100		125	80	130
198	119	100		130	200		140	
383	100	90		115		95		125
384	107	85	45					
<i>1980 Aerial Photogrammetric Study</i>								
<i>Estudio Aéreo Fotogramétrico 1980</i>								
		<i>Obs. 1</i>	<i>Obs. 2</i>	<i>Obs. 3</i>	<i>Obs. 11</i>	<i>Obs. 12</i>		
2	181	165	125	150				
4	213		125	200				
8	455	310	220	300				
9	441		225	250				
14	499		175	190				
17	24	20	28	23	32			

TABLE 7. (Continued)

TABLA 7. (Continuación)

24	165	150	175		125
25	69	50	50		40
26	141	135	150	80	130
32	307	285		175	275
35	26	30	22		20
38	210	240	225		
39	74	60	35	40	90
41	68	95	80		70
44	156	130	140	130	
45	730	850	900		
46	377	550	450		
47	262	350	260	325	320
48	722	1090	530	350	560
51	15	15	14		
54	58	35	45	35	
63	2219	2100	900	1100	
67	573		300		
68	530		400		
67 & 68	1265	900		525	1000
70	1525		550		
71	1935		750		
72	336	175	120	135	150
75	956	750	700		1000
77	158	140	80	85	225
78	53	42	38		45
80	703		450	300	1000
83	800		1200		
85	492	325	240	280	450
86	484	275	230		400
87	6028	4800	4200	2500	4000
88	1215	780	620		900
90	1737	600	475	450	400
92	989	550	425		375
93	913	450	340	450	550
94	2014	1300	1075	750	1100
95	2294	1400	925	500	1000
99	786	675	500	450	550
<i>1981 Aerial Survey</i>					
<i>Reconocimiento Aéreo 1981</i>					
		<i>Obs. 8</i>	<i>Obs. 10</i>	<i>Obs. 13</i>	
60	176	200	200		
235	458	600	700	600	

**TABLE 8.** ANOVA tables for the ratio of visual estimate to average photographic estimate for schools estimated by Observers 1, 2, and 3 (from Clark, 1984).**TABLA 8.** Tablas del análisis de la varianza (ANOVA) que corresponden a la razón entre la estimación visual y el promedio de la estimación fotográfica de los cardúmenes estimados por los observadores 1, 2 y 3 (de Clark, 1984).

Source	SS	df	MS	F	P(F)
Fuente	SC	gl	CM	F	P(F)
<i>Case I. All schools included in the analysis</i>					
<i>I Caso. Todos los cardúmenes incluidos en el análisis</i>					
Observer	14.49	2	7.247	101.30	<.005
Observador					
School size	3.41	4	.853	11.92	<.005
Magnitud del cardumen					
Interaction	57.21	9	6.357	88.85	<.005
Interacción					
Residual	7.58	106	.072		
Residual					
<i>Case II. Only schools &lt;500 animals included in the analysis</i>					
<i>II Caso. Solo cardúmenes &lt;500 animales incluidos en el análisis</i>					
Observer	13.02	2	6.511	82.59	<.005
Observador					
School size	1.04	2	.518	6.57	<.005
Magnitud del cardumen					
Interaction	43.21	5	8.643	109.62	<.005
Interacción					
Residual	5.44	69	.079		
Residual					
<i>Case III. Only schools &lt;200 animals included in the analysis</i>					
<i>III Caso. Solo cardúmenes &lt;200 animales incluidos en el análisis</i>					
Observer	11.05	2	5.523	95.25	<.005
Observador					
School size	.03	1	.027	.47	.496
Magnitud del cardumen					
Interaction	25.10	3	8.366	144.28	<.005
Interacción					
Residual	2.38	41	.058		
Residual					

# EL EMPLEO DE FOTOGRAFIAS AEREAS PARA ESTIMAR LA MAGNITUD DE LOS CARDUMENES DE LOS CETACEOS

por

Michael D. Scott<sup>1</sup>, Wayne L. Perryman<sup>2</sup> y William G. Clark<sup>3</sup>

## EXTRACTO

Se examinó la exactitud y la precisión de las estimaciones de la magnitud de los cardúmenes de delfines basadas en el cálculo de las fotografías aéreas, usando los datos obtenidos en los últimos reconocimientos aéreos y de los barcos. En 1979, durante un crucero de investigación en un cerquero atunero, se encontró que estas estimaciones eran acertadas; se fotografiaron los cardúmenes de delfines desde un helicóptero del barco, cercados con la red y luego se contaron a medida que se libraban los delfines de la red. Una comparación de las estimaciones fotográficas con estos cálculos indicó que la relación era bastante aproximada y no hubo indicación que se diferenció significativamente de la razón 1:1. Durante un estudio aéreo en 1980, se compararon las estimaciones fotográficas de diferentes cardúmenes, en los pases y los formatos de las cámaras y se encontró que eran bastante precisos, con una desviación normal de cerca del 6% de la magnitud del cardumen.

Se compararon también las estimaciones fotográficas con las estimaciones realizadas por los observadores aéreos. La mayoría de los observadores tienden a subestimar la magnitud de los cardúmenes, especialmente los cardúmenes grandes. La variabilidad entre los observadores fue elevada, lo que indica que se deben calibrar individualmente los datos de observadores.

## INTRODUCCION

La magnitud del cardumen es un factor importante en la estimación de la densidad y la abundancia de los cetáceos. En lo que se refiere a las especies de delfines en el Océano Pacífico oriental (OPO), los reconocimientos aéreos se han empleado para proveer datos sobre la densidad de los cardúmenes y el promedio de la magnitud de los mismos. Los datos de la magnitud de los cardúmenes se basan típicamente en los cálculos o las estimaciones de los observadores a bordo de aeronaves.

Sin embargo, las estimaciones de los observadores de grandes congregaciones de animales, pueden ser muy erradas. Chaitin (1952) ha descrito dichas estimaciones muy acertadamente como "una suposición infundada más el diez por ciento". Lavigne, Øritsland y Falconer (1977) presentaron a 134 observadores

<sup>1</sup> Comisión Interamericana del Atún Tropical, c/o Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, CA 92037

<sup>2</sup> Southwest Fisheries Center, NOAA, P.O. Box 271, La Jolla, CA 92038

<sup>3</sup> School of Fisheries, University of Washington, Seattle, WA 98195

diapositivas en las que había un gran número de puntos y diapositivas aéreas de grupos de pinnípedos que se encontraban sobre el hielo y demostraron la tendencia que tienen estos observadores de sobreestimación. Ray y Wartzok (1980) indicaron resultados similares en las estimaciones de los observadores en fotografías de pinnípedos y cetáceos. Brown (1971), sin embargo, demostró que los observadores subestiman grandes números de objetos presentados en las fotografías. Heyland (1972) comparó las estimaciones aéreas de gansos de los observadores con fotografías aéreas tomadas al mismo tiempo y encontró que los observadores subestimaron el número actual de los gansos. Similarmente, Sinclair (1973) comparó las estimaciones de los observadores y las fotografías de los búfalos (*Syncerus caffer*) africanos y encontró que las estimaciones de los observadores variaban considerablemente en precisión y que comúnmente subestimaban la magnitud del rebaño, especialmente en rebaños grandes de más de 500 animales. Withrow (1982) encontró resultados similares en grupos grandes (>200) de leones marinos Stellar (*Eumetopias jubatus*) fuera del agua. Esta disparidad en los resultados hace que sea difícil hablar en general de las estimaciones de los observadores.

Se han empleado cada vez más las fotografías aéreas para obtener datos de la magnitud de los grupos de cetáceos (Heyland, 1974; Ray y Wartzok, 1980; R. Wells, datos inéditos). Sin embargo, no puede fotografiarse con éxito cada cardumen encontrado. Tales factores como el estado del mar, el resplandor del sol, la claridad del agua o el comportamiento de los animales pueden oscurecer porciones del cardumen, haciendo que las fotografías sean inservibles para el análisis. Por consiguiente, hay que confiar a menudo en las estimaciones de los observadores para obtener los datos de la magnitud del cardumen, aunque estas estimaciones son frecuentemente deficientes en lo que se refiere a congregaciones grandes.

Durante cuatro reconocimientos en el Océano Pacífico oriental se tomaron fotografías aéreas de cardúmenes de delfines (Tabla 1). Se proyectó uno de estos reconocimientos para determinar la precisión de las estimaciones derivadas de las fotografías. La precisión de las estimaciones fotográficas se determinó según los resultados de otro reconocimiento en el que se compararon las estimaciones obtenidas de las fotografías tomadas por cámaras de diferentes formatos, en diferentes pases y por diferentes lectores. Los datos de los cuatro reconocimientos permitieron la comparación de las estimaciones tanto de los observadores aéreos como de las fotografías.

Este estudio trata de aquellas cuestiones que pueden contestarse mediante el análisis estadístico de los datos anteriores, como son:

- 1) Describen acertadamente la magnitud real del cardumen las estimaciones derivadas de las fotografías?
  - 2) Producen estimaciones estadísticamente indistinguibles de la magnitud del cardumen las fotografías tomadas con la misma cámara en pases sucesivos?
  - 3) Producen diferentes estimaciones de la magnitud de los cardúmenes los diferentes tipos de cámara?
-



- 4) Existen diferencias sistemáticas entre los observadores en las estimaciones visuales?
- 5) Se pueden calibrar las estimaciones de los observadores mediante las estimaciones fotográficas de esos cardúmenes para los que se tienen ambas clases de estimaciones?

## MATERIALES Y METODOS

### Métodos usados en el campo

En 1979, la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) realizó un estudio para investigar la exactitud y precisión de las estimaciones de los observadores obtenidas desde un cerquero atunero, *Gina Anne* (Allen, *et al.*, 1980). Los observadores a bordo del *Gina Anne* estimaron independientemente la magnitud de los cardúmenes de delfines capturados por el cerquero. Luego los delfines capturados fueron contados por dos, tres o cuatro observadores a medida que se liberaban los delfines sobre la red durante la maniobra del "retroceso" (Figura 1). Estos observadores contaban desde pequeños botes estacionados a lo largo del área de retroceso. Se obtuvo una estimación de la magnitud total del cardumen al agregar el cálculo de los observadores que se encontraban en los botes, el número estimado de delfines que no fue capturado y la cantidad de delfines muertos, si es que ocurrió alguna mortalidad durante el lance. Más tarde se compararon los cálculos del retroceso con las estimaciones de los observadores a bordo.

Estos cardúmenes de delfines fueron también fotografiados por el personal del National Marine Fisheries Service (NMFS) en el helicóptero Bell-47 del *Gina Anne* con una cámara KA-51A de 127 mm (5 pulgadas) montada verticalmente y una cámara manual Hasselblad 500 EL/M de 70 mm. Cuantas veces fue posible, el helicóptero realizó varios pases fotográficos sobre los cardúmenes a altitudes de 215-336 m y a velocidades de 65-70 nudos. Con el fin de evaluar la precisión de las estimaciones fotográficas aéreas, se compararon las estimaciones de la magnitud de los cardúmenes basadas en los cálculos hechos según las fotografías con las estimaciones basadas en los cálculos del retroceso. Las estimaciones aéreas de la magnitud de los cardúmenes fueron hechas por uno, dos o tres observadores y estas estimaciones se compararon tanto con las estimaciones fotográficas como con los cálculos del retroceso.

En 1979, se tomaron fotografías aéreas como parte de un reconocimiento aéreo de delfines en el Océano Pacífico oriental del NMFS (Jackson, 1980). Se usó un avión cuadrimotor Catalina PBV-5A en este reconocimiento; los vuelos se iniciaban en aeropuertos de México, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, el Ecuador y Perú. Se tomaron fotografías con una cámara K-17C de 229 mm (9 pulgadas) montada verticalmente y una cámara manual Hasselblad de 70 mm. Se hicieron varios pases fotográficos sobre cardúmenes a alturas de 240-305 m y a velocidades de 90-100 nudos. Los observadores a bordo anotaron el comportamiento de los cardúmenes y la formación de los mismos. Luego se voló alrededor de ellos para que los

---

observadores pudieran identificar las especies y estimar la magnitud del cardumen.

Las estimaciones se basaron generalmente en algún tipo de cálculo. Fue posible contar animales individuales en cardúmenes muy pequeños, pero usualmente se contaron subgrupos que incluían aproximadamente cantidades iguales de animales en cardúmenes grandes. Así que cuanto más grande fuera el cardumen tenían que ser más grandes los subgrupos. Puede que un observador haya contado agregaciones de 200 o más animales en cardúmenes grandes con miles de animales. Estas estimaciones (hasta de 6 observadores por cardumen) se hicieron independientemente y no se discutieron hasta que se terminó el estudio preliminar. No se pudieron fotografiar con éxito todos los cardúmenes de los que se hicieron estimaciones de la magnitud.

En 1980, la CIAT realizó también un estudio aéreo fotogramétrico, con personal y equipo del NMFS. Este estudio se designó principalmente para comprobar la posibilidad de medir la longitud de los delfines según las fotografías aéreas (Anónimo, 1981). Además, de uno a cuatro observadores hicieron estimaciones independientes de la magnitud de los cardúmenes las que se compararon con las estimaciones de la magnitud de los cardúmenes hechas según las fotografías. En este estudio, a bordo de un avión bimotor Beechcraft AT-11, se montaron verticalmente una cámara KA-45A de 127 mm, una cámara KA-62A de 127 mm, una cámara KC1B de 229 mm y cuatro cámaras Hasselblad de 70 mm. Sin embargo, las fotografías tomadas con la cámara KA-45A, no se usaron, debido a una avería en la cámara. Los pases fotográficos se hicieron a altitudes de 240-275 m a velocidades de 90-100 nudos. Se voló alrededor de los cardúmenes a una altura de 150 m para obtener las estimaciones de los observadores de la magnitud del cardumen.

En 1981, se tomaron también fotografías durante un reconocimiento aéreo del NMFS, proyectado para comprobar los efectos de las condiciones ambientales sobre la cantidad de cardúmenes vistos (Holt, 1983). Se tomaron fotografías de cardúmenes de delfines frente a la costa de Costa Rica con una cámara KA-62A de 127 mm y cuatro cámaras Hasselblad de 70 mm, montadas verticalmente a bordo de un avión Beechcraft AT-11. Los métodos para obtener las fotografías y las estimaciones de los observadores fueron iguales a los del estudio de la CIAT de 1980.

### **Cálculos fotográficos**

Se examinaron las fotografías procesadas de todos los reconocimientos en una mesa iluminada para eliminar las imágenes de mala calidad o que no contengan todos los límites de los cardúmenes. La mayoría de las fotografías que se juzgaron aceptables para el análisis fueron ampliadas a 6-12x en proyectores de proyección Variscan Mark II, localizados en las oficinas del Earth Resources Observation System (EROS) en Bay Saint Louis, Mississippi. Las imágenes de animales individuales fueron marcadas independientemente hasta por cinco lectores en una película de acetato montada en la pantalla. Las diapositivas tomadas en el estudio

---

de 1979, en el *Gina Anne* con la cámara Hasselblad, se vieron con un proyector de diapositivas de 70 mm y fueron marcadas en un cuaderno grande de papel de dibujo.

El pase fue la unidad en que se basó la estimación y generalmente el cardumen estaba incluido en dos o tres cuadros en un solo pase. Se calculó primero el cuadro central que incluía todo o la mayoría del cardumen. Los cuadros adjuntos se sobrepusieron en los gráficos del cuadro central y los delfines que no se habían contado anteriormente se agregaban al gráfico. La sobreposición entre los cuadros permitía entonces que se volvieran a examinar las imágenes dudosas en los cuadros adyacentes y permitía contar los animales que tal vez estaban a demasiada profundidad para ser contados en los otros cuadros. El cálculo de los subgrupos distantes que aparecieron en algunos pases, pero no en otros, se incluyeron en las estimaciones de la magnitud del cardumen en los pases en que faltaban los subgrupos.

Los lectores de las fotografías registraron dos tipos de datos. Uno fue el número actual de delfines contado en cada pase (la suma de todos los delfines graficados); el otro fue una estimación basada en el cálculo actual, pero incluyendo otro porcentaje, comúnmente pequeño, para incorporar los delfines que no se habían observado. Se consideró un número de factores al calcular el porcentaje agregado. Estos incluían la calidad de la fotografía, la cantidad de resplandor solar o el salpicado que pudiera velar a los delfines y el número de delfines que se estaban zambullendo o nadando muy por debajo de la superficie como se observó en las fotografías o en las anotaciones registradas. Por consiguiente, los cálculos se consideraron usualmente como subestimaciones de la magnitud del cardumen, especialmente a medida que los delfines eran menos visibles. La variabilidad de los lectores se encuentra presente tanto en los cálculos como en las estimaciones.

## RESULTADOS

### Precisión de las estimaciones fotográficas

Cinco cardúmenes que fueron fotografiados durante el experimento del *Gina Anne* fueron comparados con los cálculos del retroceso. En la Tabla 2 se presentan las estimaciones fotográficas y los cálculos del retroceso. El gradiente de la regresión (forzado a pasar a través del origen) de la estimación fotográfica sobre el cálculo del retroceso fue de 1.06, con un intervalo de confianza del 95% (0.90, 1.22) y  $R^2 = 0.79$ . Aunque solo se dispuso de cinco puntos de referencia, la relación entre los dos no indicó que se diferenciaron significativamente de la razón 1:1.

Debe observarse que los cálculos del retroceso no son "absolutamente precisos". Existía la posibilidad de que los delfines hubieran sido subcalculados o se hubieran contado en exceso cuando un grupo denso de animales hubiera pasado a través de un solo "sector de cálculo". Sin embargo, el error debido a esto, parece que sea pequeño. Otra fuente de error es que los delfines algunas veces evaden la captura después de que se han tomado las fotografías. El número de delfines

---

en estos grupos (comúnmente grupos pequeños de 10-40 animales) fue estimado por los observadores a bordo del barco (Tabla 2).

Aunque las estimaciones fotográficas de la magnitud de los cardúmenes muestreados durante el estudio del *Gina Anne* fluctuaron de 161 a 396, la evidencia deducida indica que las estimaciones fotográficas pueden también ser acertadas en cardúmenes más grandes. Durante el estudio de 1980, de la CIAT, se observaron dos cardúmenes que se estaban incorporando en uno solo. Los dos cardúmenes fueron fotografiados cada uno antes de incorporarse y luego se volvieron a fotografiar cuando ya se habían unido. La suma del promedio de las estimaciones fotográficas de los cardúmenes más pequeños separados (573 y 530) fue bastante próxima al promedio de la estimación del cardumen más grande (1265), lo que indica que las estimaciones fotográficas eran probablemente consistentes entre los cardúmenes pequeños y grandes.

### **Análisis de la varianza de las estimaciones fotográficas**

Durante los cuatro reconocimientos se fotografió un total de 151 cardúmenes, de los cuales 71 (47%) se encontraban en fotografías de una calidad lo suficientemente buena para usarlas en el análisis. El promedio de los cálculos y el promedio de las mejores estimaciones de las fotografías se presentan en la Tabla 3.

Se hicieron los análisis de la varianza para calcular el efecto de varios factores en las estimaciones fotográficas de la magnitud del cardumen (Clark, 1984). Como la varianza entre las lecturas de la misma fotografía fue mayor con relación a los grandes cardúmenes que los pequeños, se empleó una transformación logarítmica para normalizar las varianzas entre las casillas. La prueba de Bartlett no indicó una heterogeneidad significativa de la varianza en los logaritmos de las estimaciones fotográficas, así que se usaron éstas en todos los análisis. Más o menos hablando, una diferencia entre las casillas en los logaritmos de las estimaciones puede considerarse como una diferencia proporcional.

Las fuentes de variación entre las estimaciones fotográficas que fueron examinadas incluían:

- 1) La lectura. Los diferentes lectores comúnmente obtuvieron diferentes estimaciones en un solo pase. Estas diferencias entre las lecturas de la misma fotografía evalúan la duda mínima inherente de este método. Para los objetivos del análisis de la varianza, suministraron la varianza entre las casillas, la que se comparó con los otros efectos.

- 2) El pase. Se realizaron pruebas para determinar si, en promedio, existía una diferencia significativa entre las estimaciones basadas en las fotografías tomadas con la misma cámara en diferentes pases sobre el mismo cardumen.

- 3) Formato de la cámara. Se hicieron pruebas para determinar si había, en promedio, una diferencia significativa entre las estimaciones basadas en las fotografías tomadas por cámaras con diferentes formatos (70 mm, 127 mm o 229 mm) en los mismos pases sobre el mismo cardumen.

4) Cardumen. Evidentemente hubo grandes diferencias entre los cardúmenes en las estimaciones de la magnitud de éstos y fueron bastante consistentes entre los pases y los formatos. Aunque no existió duda de que el efecto del cardumen fue grande y significativo, este factor apareció necesariamente en todos los análisis de la varianza para poderlo estimar y luego se eliminó para probar los efectos de los pases y el formato de las cámaras.

En términos del análisis de la varianza, se empleó un modelo mixto anidado: el formato de la cámara se trató como un efecto fijo que había que examinar para ver si era significativo y estimarlo si se encontraba significativo, mientras que los cardúmenes y los pases se trataron como efectos aleatorios con pases anidados dentro del cardumen. Solo en los cardúmenes fotografiados durante el estudio de la CIAT de 1980, en el que se hicieron pases múltiples y se emplearon los tres formatos de las cámaras, hubo la oportunidad de tratar simultáneamente los efectos de los cardúmenes, los pases, los formatos y las lecturas.

Los efectos de los pases—Con el fin de usar tantos datos como fuera posible, se hizo un análisis de la varianza separadamente para cada formato (Tabla 4). Al tratar separadamente los formatos con este fin, se simplificó también el modelo, ya que solo el cardumen, el pase y la lectura permanecieron como fuentes de varianza. En el análisis de cada formato de cámara se usaron las estimaciones de todos los cardúmenes que tenían por lo menos dos lecturas de cada pase (siempre que hubiera un mínimo de dos pases) cuando se estaba usando la cámara de que se trataba. No se pudo tratar la cámara de 9-pulgadas empleada en 1979, porque no se usó con éxito en más de un pase sobre cualquier cardumen.

El análisis de la varianza indicó en cada uno de los tres formatos, que el efecto del pase era significativo ( $P < .005$ ). Sin embargo, el efecto del pase no es muy grande (6-8% de la magnitud del cardumen) y apenas excede la variación debida a la lectura, que es cerca del 5% de la magnitud del cardumen en todos los tres formatos. El cardumen es responsable por aproximadamente el 99% de la varianza total en cada una de las tres series de datos.

Como una aeronave que hace pases repetidos sobre un cardumen afecta el comportamiento de los animales, se pueden considerar los pases como una covariante en lugar de un componente de la varianza (Tabla 5). Cuando lo fue, el gradiente fue positivo y significativo en cada formato de cámara, lo que significa que hubo una tendencia significativa en las estimaciones fotográficas de aumentar de un pase al otro:

	<i>Formato de 229 mm</i>	<i>Formato de 127 mm</i>	<i>Formato de 70 mm</i>
Gradiente estimado	.018	.011	.038
Intervalo de confianza del 95%	.004-.032	.003-.020	.012-.064

De nuevo, debe observarse que aunque el efecto del pase es significativo, es pequeño (1-2% de la magnitud del cardumen por pase).

Como el efecto del pase fue significativo dentro de cada formato, no pudo eliminarse del modelo. Sin embargo, la manera en que fue manejado más tarde dependió de la naturaleza del efecto. Hubo dos posibilidades en los extremos:

1) El efecto de los pases fue consistente entre los formatos: En este caso no sería posible comparar las estimaciones obtenidas con diferentes formatos en diferentes pases, ya que podrían confundirse los efectos del pase y del formato.

2) El efecto de los pases no fue consistente entre los formatos: En este caso, sería posible comparar las estimaciones obtenidas con diferentes formatos en diferentes pases, ya que al examinar el efecto del formato, el efecto del pase aumentaría sencillamente el error de la varianza.

Como el pase fue significativo como un covariante dentro de cada formato, no se pudo excluir totalmente la primera posibilidad. Con el fin de desintegrar el efecto del pase en una porción consistente y en un residuo representante de la interacción, se hizo un análisis de la varianza solo en 11 cardúmenes que permitieron que se estimaran todos los efectos simultáneamente (Tabla 6). Estos cardúmenes fueron fotografiados en 1980, por lo menos en dos pases, tanto con cámaras de 229 mm como de 127 mm. Ambas porciones fueron significantes, pero el efecto consistente del pase es responsable por tres cuartos de la varianza asociada con el pase. Se encontró, por consiguiente, que el efecto del pase era casi uniforme entre los formatos.

Efecto del formato — Como el efecto del pase fue uniforme entre los formatos, la única prueba buena del formato fue limitada a los pases en los que por lo menos dos cámaras habían funcionado con éxito. En efecto, este requisito limitó la comparación en tal forma, que solo se pudo usar la misma serie de 11 cardúmenes nombrada anteriormente. En el análisis de la varianza de esas estimaciones (Tabla 6), el formato fue significativo como un efecto fijo ( $P = .04$ ), pero de nuevo el efecto fue pequeño, .015. Esto significa que las estimaciones hechas según las fotografías de 229 mm fueron, en promedio, 1.5% superiores a las estimaciones hechas de fotografías de 127 mm.

### **Precisión del promedio de las estimaciones fotográficas**

En un formato y cardumen particular, la varianza del promedio de una estimación fotográfica es más pequeña que la varianza de una sola estimación fotográfica. En este caso,

- $n_p$  = el número de pases sobre el cardumen
- $n_r$  = el número de lecturas por pase
- $\sigma_p^2, \sigma_r^2$  = los componentes correspondientes de la varianza de la estimación logarítmica de  $y$ .

Puede indicarse que:

$$V(\bar{y}) = \frac{\sigma_r^2}{n_r n_p} + \frac{\sigma_p^2}{n_p}$$

Con  $n_r = n_p = 2$ , y con  $\sigma_r = .05$  y  $\sigma_p = .08$  como antes, la desviación normal del promedio de la estimación fotográfica de un cardumen es  $S(\bar{y}) = .06$  o sea cerca del 6% de la magnitud del cardumen. Por consiguiente, aún si las diferencias debidas al formato de la cámara agregan del 1-2%, el promedio de la estimación fotográfica de la magnitud del cardumen continúa siendo muy preciso.

En lo que sigue, el promedio de la estimación fotográfica se tratará esencialmente como un punto fijo, sin considerar el formato o el número de pases incluidos, debido a que la varianza de las estimaciones fotográficas es tan pequeña comparada con la varianza de las estimaciones de los observadores.

### Comparación con las estimaciones de los observadores

Una cuestión importante referente a las estimaciones de los observadores es si existe una relación consistente entre las estimaciones de los observadores y las fotográficas de un cardumen determinado. Si existe, se puede usar la relación para ajustar las estimaciones de los observadores de cardúmenes que no fueron fotografiados. Si no existe, la interpretación de las estimaciones de los observadores es problemática.

El interés aquí no es, por consiguiente, la estimación en sí del observador, pero la diferencia entre una estimación del observador y el promedio de la estimación fotográfica del mismo cardumen. Con fines prácticos esta diferencia puede considerarse como el error en la estimación del observador, ya que el promedio de la estimación fotográfica tiene una varianza mucho más pequeña que la varianza de las estimaciones del observador de un cardumen determinado. Al tratar la diferencia como un error se supone que el sesgo del promedio de la estimación fotográfica es pequeño o no existe.

Igual que las estimaciones fotográficas, los errores de las estimaciones de los observadores tienen varianzas que aumentan con la magnitud del cardumen. Para normalizar las varianzas, cada estimación de los observadores fue dividida por el promedio de la estimación fotográfica de ese cardumen y esta razón se empleó en todos los análisis. Algebraicamente, esta cantidad es:

$$\begin{aligned} \text{Razón} &= \frac{\text{Estimación del observador}}{\text{Promedio de la estimación fotográfica}} \\ &= \frac{\text{Promedio estimación fotográfica} + \text{error estimación observador}}{\text{Promedio de la estimación fotográfica}} \\ &= 1 + \frac{\text{Error de la estimación del observador}}{\text{Promedio de la estimación fotográfica}} \end{aligned}$$

Trabajar con la razón es, por consiguiente, equivalente a trabajar con el error *relativo* (que puede ser ya sea positivo o negativo) de la estimación visual. Las fuentes de varianza en esta razón son:

1) Magnitud del cardumen. Para categorizar este efecto, se dividieron los cardúmenes en cinco grupos de magnitud de acuerdo al promedio de las estimaciones fotográficas: 1-99, 100-199, 200-499, 500-999 y  $\geq 1000$ . Se escogieron estas divisiones porque proveen una distribución razonablemente uniforme de los cardúmenes entre las cinco categorías.

2) Observador. En estos estudios hubo 13 observadores, pero la mayoría presentaron más bien pocas estimaciones. Solo las estimaciones de tres observadores (del estudio de 1980, de la CIAT) suministraron un abarcamiento adecuado de las categorías de magnitud de los cardúmenes y una homogeneidad adecuada de la varianza para realizar este análisis.

Además, puede que haya un efecto significativo debido a los cardúmenes individuales, pero como este efecto no era de interés, no fue estimado (es decir, en el análisis de la varianza se dejó como parte del término de error).

Un diagrama de dispersión de todas las estimaciones de los 13 observadores y el promedio correspondiente de las estimaciones fotográficas (Figura 2, Tabla 7) indica que a pesar de alguna dispersión, las estimaciones de los observadores como grupo son bastante precisas para los pequeños cardúmenes (hasta de unos 200 animales), pero la mayoría son bajas para los cardúmenes más grandes. Esto indica una relación curvilínea entre la estimación del observador y la magnitud del cardumen y por consiguiente es responsable por parte de la varianza en las proporciones de la estimación del observador con relación al promedio de la estimación fotográfica.

Solo tres observadores tenían grandes muestras de estimaciones sobre una amplia distribución de las magnitudes de los cardúmenes. Cuando se analizó esta subserie de los tres observadores (Tabla 8) se encontró que todos los factores (observador, magnitud del cardumen y la interacción) eran altamente significantes, con proporciones medias del error relativo como sigue:

<i>Magnitud del cardumen</i>	<i>1 Observador</i>	<i>2 Observador</i>	<i>3 Observador</i>
1-99	.96	.85	.70
100-199	.93	.84	.64
200-499	1.00	.66	.71
500-999	.88	.76	.49
1000+	.65	.45	.36

Cuando se incluyeron en el análisis solo las dos primeras categorías de la magnitud de los cardúmenes, ésta no fue significativa, pero el observador y la interacción fueron altamente significativas. Con solo las tres primeras categorías de la magnitud de los cardúmenes en el análisis, la magnitud del cardumen fue de nuevo altamente significativa.

A diferencia de los pases y formatos en el caso de las estimaciones de los observadores, las diferencias significativas aquí no son pequeñas. Aún dentro de las categorías de la magnitud de los cardúmenes, las diferencias no son de unos



pocos por ciento de la magnitud del cardumen pero aproximadamente entre el 10 y 30 por ciento.

### DISCUSION

Los resultados del experimento del *Gina Anne* indicaron que las estimaciones basadas en los cálculos fotográficos reflejan probablemente con precisión la magnitud actual de los cardúmenes de cetáceos. Como solo pudieron compararse cinco cardúmenes, se necesitan más datos para confirmar estos resultados. Se necesitan especialmente, cardúmenes en los que se capturan 100% de los animales para reducir el error asociado con la estimación de los observadores al contar los animales evasivos además de contarlos durante el retroceso. Sin embargo, en este estudio, se pensó que este error era más bien pequeño debido a que la magnitud de los grupos de los delfines que se escapaban era comúnmente pequeño y tal vez con más probabilidad de ser estimados correctamente.

El análisis de la varianza de las estimaciones de las fotografías del estudio de 1980 de la CIAT indicó que todas las fuentes posibles de variación eran significativas—cardumen, formato, pase y las interacciones—pero que el efecto del cardumen minimizó todo el resto de ellas. Esto permitió considerar diferentes pases, junto con diferentes estimaciones de los lectores como réplicas. El análisis de la precisión indicó posteriormente que las estimaciones fotográficas tienen una desviación normal aproximadamente del 6% de la magnitud del cardumen y por lo tanto son bastante precisas.

Sin embargo, la interpretación de las estimaciones de los observadores es problemática. La relación general entre las estimaciones de los observadores y las fotográficas parece ser curvilínea e indica que la mayoría de los observadores tienden a subestimar los cardúmenes grandes. Sin embargo, algunos observadores, tienden a hacer una estimación elevada, algunas veces demasiado alta. Los resultados de los análisis de la varianza de la subserie de los tres observadores indicaron que esta relación varía entre los observadores, variando ampliamente. Estos resultados pueden aún exponer inadecuadamente las diferencias entre los observadores, ya que los tres observadores en la subserie subestimaron, en promedio, la magnitud de los cardúmenes. Por consiguiente, en algunas categorías de la magnitud de los cardúmenes, parece probable que el promedio de las diferencias entre algunos observadores pueden sumar mucho más que el 10-30% de la magnitud del cardumen indicada en la subserie de los tres observadores.

Estos resultados y estudios por otros investigadores (Brown, 1971; Heyland, 1972; Sinclair, 1973; Lavigne, Øritsland, y Falconer, 1977; Ray y Wartzok, 1980; Withrow, 1982) indican que las estimaciones de los observadores pueden ser muy variables. Sin embargo, se han empleado dos métodos para evaluar las estimaciones de los observadores. Caughley, Sinclair y Scott-Kemmis (1976) ajustaron sus datos de acuerdo al sesgo de cada observador, al calcular el desempeño de cada observador aéreo en el campo en el que se conocía la magnitud de la población (en este caso, un rebaño de ovejas). Aunque su estudio se centralizó en el sesgo

---

de los observadores al descubrir los animales, este método ha sido también aplicado a las estimaciones de la magnitud de los grupos (Withrow, 1982). Sin embargo, se necesitan muestras de gran magnitud sobre toda una escala de la magnitud de los cardúmenes para calibrar los datos de los observadores. Si se tiene en cuenta el trabajo necesario para calibrar las estimaciones de los observadores, es razonable suponer que se podría disponer de un conjunto continuo de observadores para los reconocimientos necesarios.

Otro método es entrenar los observadores con diapositivas o fotografías de agregaciones de magnitud conocida, permitiendo que los observadores hagan sus propias evaluaciones. Se ha tenido éxito en entrenar a los observadores aéreos en esta forma para reconocimientos de animales terrestres (Brown, 1971; Sinclair, 1973; Norton-Griffiths, 1978; Dirschl, Norton-Griffiths y Wetmore, 1981) y de pinnípedos en las playas (Withrow, 1982). La CIAT ha usado también una película de delfines en cardúmenes de magnitud conocida, tomada durante el crucero del *Gina Anne* para entrenar observadores.

En el caso del primer observador nuestros datos indican los efectos de la experiencia anterior en la estimación de la magnitud de los cardúmenes. Este observador participó en el reconocimiento de 1979, del NMFS, en el estudio del *Gina Anne* (como un observador aéreo) y en el estudio de 1980, de la CIAT. Además, fue un lector de las fotografías después de cada estudio. En cardúmenes de menos de 400 animales (el grupo más grande fotografiado durante el estudio del *Gina Anne* y, por lo tanto, la subserie que podía proveer una comparación uniforme entre los tres estudios), su sesgo fue  $-16.1\%$  durante el estudio de 1979,  $+19.9\%$  durante el estudio del *Gina Anne* y  $-2.0\%$  durante el estudio de 1980. Puede argumentarse que el desempeño de este observador se debió a su experiencia previa que le permitió comparar sus estimaciones anteriores con los cálculos fotográficos.

Esto indica el valor probable de la experiencia del observador en estimar correctamente la magnitud del cardumen. Pero queda la cuestión, qué constituye la experiencia en este caso? Puede que los observadores aéreos hayan gastado muchas horas en el aire mirando los cardúmenes de cetáceos, pero puede que nunca hayan tenido la oportunidad de comparar sus estimaciones con ninguna forma de información sólida, especialmente en agregaciones muy grandes. Por consiguiente, estos observadores pueden confiadamente dar las mismas estimaciones para cardúmenes de la misma magnitud, pero estas estimaciones puede que no reflejen precisamente la verdadera magnitud del cardumen. Tal vez sea necesario volver a examinar nuestro concepto de la "experiencia" para incluir la evaluación de las estimaciones de los observadores contra los cálculos de las fotografías aéreas.

### RECONOCIMIENTO

Los autores reconocen y agradecen a las siguientes personas que participaron en estos reconocimientos como pilotos, observadores o lectores: S. Alexander, E. Barham, W. Brinkerhoff, R. De Rosa, T. Flynn, L. Hansen, R. Holt, T. Jackson,

C. Jardin, J. Laake, S. Leatherwood, J. Niehaus, C. Oliver, J. Olson, F. Ralston, J. Rutledge, R. Stives y W. Walker. Agradecemos también al Capitán Pete Balestrieri y a la tripulación del *Gina Anne* cuya colaboración y ayuda hicieron posible el estudio a bordo del barco y el helicóptero. Damos también las gracias al personal de las oficinas de EROS en Bay de St. Louis, Mississippi, por su ayuda y el uso de los proyectores Variscan. Los fondos para este estudio fueron provistos por la CIAT; el equipo de las cámaras fue provisto por el NMFS. El análisis de W. Clark fue subvencionado en parte por los fondos provistos por la Comisión de Mamíferos Marinos de los EEUU. Las siguientes personas examinaron el manuscrito y prestaron consejos útiles: W. Bayliff, D. DeMaster, M. Hall, P. Hammond, A. Hohn, R. Holt, J. Laake, C. L. Peterson, G. Scott y P. Tomlinson.

---

## LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

- Allen, R.L., D.A. Bratten, J.L. Laake, J.F. Lambert, W.L. Perryman, and M.D. Scott. 1980. Report on estimating the size of dolphin schools, based on data obtained during a charter cruise of the M/V *Gina Anne*, October 11–November 25, 1979. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Data Rep., 6: 1–28.
- Anonymous. 1981. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission 1980 (in English and Spanish). pp. 49–50.
- Brown, R.G.B. 1971. Experiments on the counting behaviour of waterfowl observers. Canadian Wildlife Service '71, Dept. of Environ. Ottawa, Canada. p. 20.
- Caughley, G., R. Sinclair, and D. Scott-Kemmis. 1976. Experiments in aerial survey. *J. Wildl. Mngmt.* 40(2): 290–300.
- Chattin J.E. 1952. Appraisal of California waterfowl concentrations by aerial photography. *Trans. of the 17th N. Amer. Wildl. Conf.* pp. 421–426.
- Clark, W.G. 1984. Analysis of variance of photographic and visual estimates of dolphin school size. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv. SWFC Admin. Rep. No. LJ-84-11C. 36 pp.
- Dirschl, H.J., M. Norton-Griffiths, and S.P. Wetmore. 1981. Training observers for aerial surveys of herbivores. *Wildl. Soc. Bull.* 9(2):108–115.
- Heyland, J.D. 1972. Vertical aerial photography as an aid in wildlife population studies. *Proc. First Canadian. Symp. on Remote Sensing.* pp. 121–136.
- Heyland, J.D. 1974. Aspects of the biology of beluga (*Delphinapterus leucas* Pallas) interpreted from vertical aerial photographs. *Proc. of the Second Canadian Symp. on Remote Sensing.* pp. 373–390.
- Holt, R.S. 1983. Report of porpoise experiment testing detection of on-track schools (PET DOTS) March 7–April 5, 1981. NMFS Tech. Memo. NOAA-TM-NMFS-SWFC-27. 80 pp.
- Jackson, T. 1980. Trip report: Porpoise population aerial survey of the eastern tropical Pacific Ocean, January 22–April 25, 1979. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv. SWFC Admin. Rep. No. LJ-80-1. 74 pp.
- Lavigne, D.M., N.A. Øritsland, and A. Falconer. 1977. Remote Sensing and Ecosystem Management. *Skrifter nr. 166, Norsk Polarinstitut.* 51 pp.
- Norton-Griffiths, M. 1978. Counting Animals. African Wildlife Leadership Foundation, Nairobi, Kenya. 139 pp.
- Ray, G.C. and D. Wartzok. 1980. Remote sensing of marine mammals of Beringea. Contract Report NAS 2-9300 to the U.S. National Aeronautics and Space Administration. 77 pp.
-

- Sinclair, A.R.E. 1973. Population increases of buffalo and wildebeest in the Serengeti. *E. Afr. Wildl. J.* 11:93-107.
- Withrow, D.E. 1982. Using aerial surveys, ground truth methodology, and haul out behavior to census Stellar sea lions, *Eumatopias jubatus*. M.S. thesis, Univ. of Washington. 105 pp.
-