

INTER-AMERICAN  
TROPICAL TUNA COMMISSION

COMISION INTERAMERICANA  
DEL ATUN TROPICAL

Special Report No. 4

Informe Especial No. 4

REPORT ON THE WORKSHOP ON TUNA-DOLPHIN INTERACTIONS

INFORME DEL GRUPO DE TRABAJO SOBRE LA INTERACCION ATUN-DELFIN

Managua, Nicaragua

April 6-10, 1981

edited by -- editado por

P.S. Hammond

La Jolla, California

1981

CONTENTS -- INDICE

ENGLISH VERSION -- VERSION EN INGLES

|   | Page |
|---|------|
| FOREWORD.....   | 2    |
| INTRODUCTION.....   | 3    |
| DOLPHIN DISTRIBUTION AND STOCKS.....  | 4    |
| DOLPHIN LIFE HISTORY.....   | 7    |
| DOLPHIN ABUNDANCE.....  | 10   |
| TUNA-DOLPHIN INTERACTIONS.....  | 12   |
| MANAGEMENT OF THE TUNA-DOLPHIN COMPLEX.....   | 20   |
| SUMMARY OF RESEARCH SUGGESTIONS.....  | 23   |
| <br>-----   |      |
| LITERATURE CITED.....   | 30   |
| <br>-----   |      |
| APPENDIX 1 -- Dynamics of three simple conceptual models<br>of possible tuna-dolphin interactions.....  | 33   |
| APPENDIX 2 -- Natural mortality of dolphins.....  | 43   |
| APPENDIX 3 -- Abundance estimation of dolphins in the east-<br>ern Pacific with line transect sampling--a<br>comparison of the techniques and suggestions<br>for future research..... | 56   |
| APPENDIX 4 -- Dolphin stocks in the eastern tropical Pacific.   | 97   |
| APPENDIX 5 -- Comments on the distribution of spotted,<br>spinner, common and striped dolphin in the<br>tropical Pacific Ocean.....   | 108  |
| APPENDIX 6 -- List of Workshop Participants.....  | 125  |

VERSION EN ESPANOL -- SPANISH VERSION

|  | Página |
|--|--------|
| PREFACIO.....  | 128    |
| INTRODUCCION.....  | 128    |
| POBLACIONES Y DISTRIBUCION DE LOS DELFINES.....  | 130    |
| CICLO VITAL DE LOS DELFINES.....   | 133    |
| ABUNDANCIA DE DELFINES.....  | 137    |
| INTERACCION ATUN-DELFIN.....   | 139    |
| ADMINISTRACION DEL COMPLEJO ATUN-DELFIN.....   | 148    |
| SUMARIO DE LAS PROPUESTAS DE INVESTIGACION.....  | 151    |
| <br>-----  |        |
| BIBLIOGRAFIA.....  | 159    |
| <br>-----  |        |
| ANEXO 1 -- La dinámica de tres modelos sencillos conceptuales de las posibles interacciones atún-delfín....  | 162    |
| ANEXO 2 -- Mortalidad de los delfines.....   | 172    |
| ANEXO 3 -- Estimación de la abundancia de los delfines en el Pacífico oriental tropical según el muestreo de la derrota.....   | 185    |
| ANEXO 4 -- Existencias de delfines en el Pacífico oriental tropical.....   | 228    |
| ANEXO 5 -- Comentarios sobre la distribución de <u><i>Stenella attenuata</i></u> , <u><i>S. longirostris</i></u> , <u><i>Delphinus delphis</i></u> y <u><i>S. coeruleoalba</i></u> en el Océano Pacífico tropical..... | 241    |
| ANEXO 6 -- Lista de participantes.....   | 258    |

FOREWORD

In April 1981 the IATTC convened a working group of scientists in Managua, Nicaragua to discuss the tuna-dolphin association and to suggest priorities for future research which would enable the effects of any interaction to be detected or quantified. As a guide, the group tried to satisfy the terms of reference, which are listed below.

1. To review the current knowledge of subjects concerning tuna-dolphin interactions in the eastern tropical Pacific Ocean.
2. To discuss the possible forms of tuna-dolphin interactions.
3. To discuss the management of the tuna-dolphin complex in terms of the above.
4. To discuss areas of necessary and effective research in order to determine the nature of tuna-dolphin interactions.
5. To suggest future experiments and surveys for this purpose.

The following report is an edited version of the discussions of the workshop presented as a single contribution prepared by IATTC staff. Points arising from the workshop but not actually discussed there are included as footnotes. The report will be used as a guide to future IATTC research on tuna-dolphin interactions. It incorporates and acknowledges the ideas of all the workshop participants, who are listed in Appendix 6, although it does not necessarily represent individual or collective feelings.

The workshop was conducted with the assistance of the staff of the Nicaraguan Instituto de la Pesca, whose co-operation is gratefully acknowledged.

### INTRODUCTION

The yellowfin tuna, Thunnus albacares, fishery in the eastern tropical Pacific is unique in that a significant proportion of the catch is of fish found in association with one or more species of dolphins. This association has never been fully understood but for many years tuna fishermen have used the more visible and more easily herded dolphin schools to help them locate and capture the tuna. In recent years, the concept of managing renewable resources in relation to their environments has been more fully developed. Any renewable resource is closely linked to other components in its general system and it is becoming increasingly more apparent that the harvesting of one resource affects another. This is the case with yellowfin tuna and dolphins in the eastern tropical Pacific, although the dolphins are killed incidental to the fishery and are not harvested. There would seem to be obvious advantages in managing the tuna-dolphin complex as a whole. To do this it is necessary to understand the effect that tuna and dolphins have on each other and the causal mechanisms of the interactions.

The involvement of dolphins in the purse seine fishery for yellowfin tuna has been described by Allen (1981), but it is pertinent here to stress some of the important points. Dolphins are currently an important part of the fishery. As much as 80% of the annual yellowfin tuna catch by purse seiner in the eastern tropical Pacific has been in association with dolphins, although in recent years this percentage has dropped to less than 50% (IATTC, 1980). Once formed, the association seems to be very strong as indicated by the fact that even when a dolphin school is being chased or set upon by a seiner, the yellowfin tuna stay with the dolphins. This provides some suggestion that it is the yellowfin tuna which are the active participant in the association. Given this, it may be somewhat surprising that yellowfin tuna definitely associate more with dolphins of certain species than of others.

As a background to discussion of the possible bases for tuna-dolphin interactions it is first necessary to describe what is currently known of the species involved. It is also useful at this stage to discuss the ways in which our current knowledge could be increased, in terms of solving problems apparent in current methods and in terms of new areas of work which could be approached.

Although this document is concerned with the interaction between tuna and dolphins, the following discussion of current work deals with dolphins only. However, it is important to mention some aspects of the biology of yellowfin tuna. A synopsis by Cole (1980) summarizes previous research. Current Commission research on yellowfin tuna is also described in IATTC (1980). In general, data obtained for yellowfin tuna will be more amenable to analyses attempting to detect the effects of proposed types of interactions between tuna and dolphins. This is because data on yellowfin tuna data are more extensive, have been collected for a longer period of time, and are in many ways more detailed than data on the various species of dolphin. It is also easier to collect experimental data on tuna than on dolphins. Consequently, it is important to describe the life history of yellowfin tuna as accurately as possible so that any variation due to the effects of the interaction may be detected as easily as possible. One line of investigation, for instance, would be to try to determine the stage of the life history at which density-dependent mechanisms, implied by the good fit of a simple production model to the data, are acting. For example, a cohort analysis including a density-dependent natural mortality may give a better fit to the data than one using a constant natural mortality. Alternatively, density-dependence may be shown to act on growth rates or recruitment. It is important to note here that extensive data are available only for the recruited stock; there are limited data on larval and pre-recruited yellowfin tuna (Cole, 1980).

#### DOLPHIN DISTRIBUTION AND STOCKS

Being able to determine the distribution of a population of animals, apart from being ecologically interesting, is important when the population is being reduced by mortality caused by fishing. If the effects of this mortality are to be assessed, the physical extent of the entire population being affected needs to be defined. Also, if the effort inflicting the mortality is not randomly distributed, it is important to determine the distribution of the population within its effective limits. The determination of distributions is closely linked to abundance estimation; this section deals with ways of defining popu-

lation boundaries and with qualitative ways of examining distributions within those boundaries.

In the eastern tropical Pacific the distributions of Stenella spp. and Delphinus delphis seem to be at least partially determined by physical features of the environment. Au, Perryman and Perrin (1979) have reviewed the oceanography of the region and discussed the relationships between dolphin distributions and physical features such as prevailing winds, currents, sea surface temperature, surface salinity, oxygen concentration, mixed layer depth and thermocline gradient. The oceanography of this area changes seasonally, so that at any point in time it is likely that each of the various dolphin species only occupies a portion of its historically determined range.

As a means of improving our knowledge of the effects of oceanographic features on dolphin distributions, it may be productive to look in some detail at dolphin distributions at times when anomalous physical conditions exist, such as in El Niño years. Information from such a study may help our understanding of what mechanisms are operating under normal conditions. In addition, further information on how the oceanography of the area affects dolphin distribution may be obtained by investigating dolphin movements at different times of the year as the physical environment changes.

Data which have been used by U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS) staff to determine the extents of the distributions of the four species most affected by the purse seine fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific (spotted, spinner, common and striped dolphins) come primarily from two sources; research vessels and commercial tuna seiners. A review of these and other data by Alverson (Appendix 5) confirms that these species may have trans-Pacific distributions. Certainly, there are sightings outside the ranges chosen by the U.S. NMFS, mainly in areas near central and western Pacific island chains. The sightings data also indicate that there are distinct core areas which necessitates the stratification of the areas in question in order to make estimates of abundance. One way to increase our knowledge of the distributions of Stenella spp. and D. delphis would be to utilize other sighting data, but these would have to undergo rigorous validation since data collected on "platforms of opportunity" can be of dubious quality.

Questions of the distribution of dolphin species inevitably lead to questions of intra-specific variation and the definition of stocks and stock boundaries. Scott (Appendix 4) has reviewed the boundaries currently used by the U.S. NMFS to manage dolphins affected by the tuna purse seine fishery in the eastern tropical Pacific. The delineation of stocks within a species is based on non-random variability in measurable characters of that species, but there is also variability within stocks as shown by the different breeding seasons of eastern spinner dolphins that inhabit different core areas (Barlow, 1979).

The stocks of dolphins currently occupying the eastern tropical Pacific are the result of evolutionary mechanisms. The following hypothesis, based on the apparent radial cline in spinner dolphin characteristics from the Costa Rica Dome area westwards and southwards, has been proposed (W.F. Perrin, pers. comm.). This radial cline may be a consequence of far eastern Pacific populations becoming isolated because of shifts in the cold water Peru and California currents, possibly during the most recent glacial period. During this time there may have been divergence between the Costa Rican/eastern forms and the Hawaiian form of the spinner dolphin. When this isolation broke down, during the current inter-glacial period, these populations reblended, thus explaining the stepwise cline in characteristics from Costa Rican to eastern to northern whitebelly to Hawaiian and southern whitebelly spinner dolphins. Such an isolation may also have occurred in the tropical Atlantic, but it may have lasted longer allowing speciation to occur within both spinner dolphins, S. longirostris and S. clymene, and spotted dolphins, S. attenuata and S. plagiodon. The eastern Atlantic form of S. longirostris is similar to the eastern form in the Pacific.

Some stock boundaries currently used by the U.S. NMFS are based on limited data and therefore tentative (see e.g. Perrin, Sloan and Henderson, 1979) but there are several ways of improving the delineation of stock boundaries. Firstly, better, more extensive morphological data may allow observed differences between populations to become statistically significant so that we would have more confidence in labelling them as stocks. The U.S. NMFS will shortly have additional data on which to base its decisions. Secondly, the tagging and tracking of movements of animals in the vicinity of current stock boundaries would

indicate how much mixing occurs between the different stocks. Much preliminary work has been done along these lines (Perrin, Evans and Holts, 1979; Jennings and Gandy, 1980) but it remains to be seen whether such experiments will be able to be conducted on a scale large enough to yield useful results. Thirdly, work on the electrophoresis of proteins could be continued and extended. To date this work has encountered problems in differentiation even at the species level, but the examination of more protein systems may prove beneficial. Some work with whales has been successful in this respect, e.g. Wada and Numachi (1979). Fourthly, now that techniques have been developed which allow the accurate examination of tooth sections, it may be possible to differentiate stocks by identifying patterns of growth layers typical of populations that have experienced different histories. In vivo marking with tetracycline may also be able to be used to good effect in such a procedure. Fifthly, the occurrence and distribution of natural tags, such as parasites, would be an interesting line of study and is currently being investigated by the U.S. NMFS.

Such questions as what is a stock?, why have stocks at all?, and what guidelines should be adopted for identifying stocks? are best answered in the context of what the stocks are to be used for and are consequently relegated to the section on management of the tuna-dolphin complex.

#### DOLPHIN LIFE HISTORY

One way of assessing the status of a population is to evaluate life-history parameters such as growth rate, reproductive rate and mortality rate. It is widely accepted that in marine mammal populations a reduction in numbers will tend to produce density-dependent responses such as increased pregnancy rates, reduced mortality, and decreased age at first reproduction. By studying these features of an animal's life-history it is often possible to infer the status of a population, which can then be used to help determine management strategy.

The U.S. NMFS has been concerned for several years with the collection and analysis of data to estimate these so-called vital rates. The methods and results are described by Perrin, Coe and Zweifel (1976), Perrin and Henderson (1979) and Henderson, Perrin and Miller (1980).

This work is continuing and attempts are being made to deal with the problems of sampling bias and age determination in the data collected by scientific technicians aboard tuna seiners. There is evidence that calves are more vulnerable to mortality incidental to fishing than adults, especially in sets with a low incidental kill. In addition, the sample may be biased by seasonal breeding synchrony unless sampling is spread evenly over the year. However, the U.S. NMFS has developed a procedure to adjust for seasonal bias (Barlow, 1979). A recently developed technique of age determination is presently being applied to large samples of teeth.

Data presented by Henderson *et al.* (1980) suggest that there may be differences in pregnancy rates between eastern and whitebelly spinner dolphins and between northern and southern offshore spotted dolphins. If results from their favored estimation "Method II" are compared, the more exploited eastern spinner and northern offshore spotted populations have higher pregnancy rates and shorter mean lactation periods than do their less exploited counterparts. These differences, if real, could be explained in two ways. Firstly, the increased pregnancy rates and decreased lactation periods of the heavily exploited populations may be due to a reduction in density. If the controlling factor in this density-dependent response is ovulation leading to pregnancy, an increase in pregnancy rate may affect calf survivorship by premature termination of lactation. Secondly, the differences may be due simply to a purely mechanical effect of the kill of calves. The death of a calf terminates lactation prematurely and allows the mother to become pregnant again.<sup>1</sup> However, pregnancy rates and lactation periods estimated by Henderson *et al.* (1980) using their "Method I" actually show differences in the opposite direction. Clearly, further work is necessary to clarify this point.

Perrin and Henderson (1979) detected a difference in estimated age at first reproduction between eastern and whitebelly spinner dolphins.

---

<sup>1</sup>Age structured incidental kill data for the spotted dolphin are available from 1973. Consequently, a simple calculation could determine whether calf mortality is likely to have accounted for the differences observed in pregnancy rates and lactation periods between more and less exploited populations.

They noted that the estimate of younger age for the eastern spinner was in the expected direction for a density dependent response to heavy exploitation. It is possible, however, that whitebelly spinners may grow more slowly because they are slightly bigger animals and the theoretical contribution that this factor may have on differences between estimates of age at first reproduction could be examined.

There are some data collection procedures which would not be biased. The taking of blood samples from all the dolphins in a school using the U.S. NMFS Porpoise School Impoundment System (PSIS) would give pregnancy rate data for entire schools. Also, the sample of animals killed in sets with a large kill ("disaster sets") is probably unbiased, and the possibility of utilizing these samples should be investigated.

The causes of natural mortality in dolphins have been reviewed by Hammond (Appendix 2). Thus far, natural mortality rates have not been directly estimated for dolphin populations in the eastern tropical Pacific because of a lack of data, although some work on the effects of the nematode Crassicauda sp. on the spotted dolphin has been done (Perrin and Powers, 1980). In the past, spotted dolphin natural mortality has been calculated as the difference between estimated gross annual reproduction for the eastern Pacific population and a supposedly unexploited population off the coast of Japan (Southwest Fisheries Center, 1976). However, it was subsequently found that the Japanese population may actually have been significantly exploited. In addition, school segregation by sex and age has been described in this population, presenting sampling difficulties. It would seem to be important to ascertain whether such segregation also occurs in eastern Pacific spotted dolphin populations.

Given the lack of knowledge concerning natural mortality rates of dolphins in the eastern tropical Pacific, it is important to consider the sensitivity of current assessment models to variation in estimates of natural mortality rates. The sensitivity of current models is high. Although not directly related to the subject of this report, incidental mortality of dolphins inflicted by the fishery is nevertheless important through its influence on population sizes. Current estimates of incidental mortality are made from the sample of observed fishing trips for each year. The kill per set on observed trips is then extrapolated

to the entire fleet. However, it may be possible to make estimates of incidental mortality on unobserved trips, and this should be looked at in more detail. Studies investigating the effects of capture on live dolphins have found no indications of disease attributable to stress imposed by capture (Cowan and Walker, 1979) and that abortion in the net was not a significant occurrence (Benirschke, Johnson and Benirschke, 1979).

Methods of estimating total mortality from age-specific catch data have not been used on eastern tropical Pacific dolphin populations because of the lack of large samples of dolphins whose age has been accurately determined, and because of potential biases in the data. When such data become available soon, the U.S. NMFS staff plans to initiate studies into estimating mortality taking biases into account. Estimation of total mortality using tagging has been examined but a very large number of animals would need to be tagged based on current catch rates. Furthermore, a suitable tag with a low shedding rate is not available for use on Stenella spp. at this time.

#### DOLPHIN ABUNDANCE

The estimation of abundance is a necessary component in the study of the population dynamics of any exploited species and in the implementation of management programs for it. Currently, estimates of population sizes of dolphin species and stocks in the eastern tropical Pacific are made within the framework of line transect sampling theory. Laake (Appendix 3) has reviewed this work. There are several possible ways in which the assumptions necessary for line transect sampling to give accurate estimates of density may be violated. Hammond (1981) and Laake (loc. cit.) have discussed these.

Data are available from three different survey platforms (aircraft, research vessel and tuna purse-seiner) and the assumptions are violated differentially by these platforms. The accurate collection of data for the calculation of perpendicular distances is a problem, especially with ships. Data collected aboard seiners may be subject to bias due to non-random searching, although there is some evidence that this is not the case (Hammond, 1981). The problem of ensuring that all dolphin schools in the vicinity of the line of search are seen may affect data

from all platforms; aircraft because of their speed and ships in bad weather conditions. Movement of schools towards or away from approaching ships may affect research vessel and tunabot data. There are also significant differences between mean school sizes calculated from data collected from different platforms. Laake (loc. cit.) has calculated that aircraft are probably less efficient than tuna purse seiners at accumulating sightings, and that aircraft data collected in the past give unacceptable coefficients of variation of estimates of dolphin density at the stock level. Aircraft can cover more area per time surveying than ships, although they have been limited in the past to areas fairly close to the shore. These kinds of considerations should be taken into account in the planning of any survey.

Within the confines of line transect methods of abundance estimation, research is clearly needed in several areas. Some of these areas are presently being investigated. The NMFS has recently completed an experiment examining the effects of sun condition and sea state on aerial surveys and the data are currently being analyzed. A method of grouping sighting angle and sighting distance data collected from shipboard platforms in order to estimate school density more accurately is being developed. The possibility of improving the accuracy of perpendicular distance data collected from aircraft by taking photographs of schools close to the track line of the aircraft could also be investigated. The movement of cetaceans in response to approaching vessels has been investigated to some extent (Au and Perryman, *in press*) but further work is needed. For example, evasive behavior of dolphins in the eastern tropical Pacific is known to vary between areas of the fishery with different histories of exploitation. Work also needs to be done to explain differences in mean school size estimates. Analyses and experiments could be designed to investigate the different sampling biases inherent in each of the platforms. Some work has been done on calibrating school size estimates against "ground truth" counts on a chartered purse seiner (Allen *et al.*, 1980) but differences in mean school sizes calculated from estimates made by crew and technicians from data collected on regular tunabot trips are difficult to explain. Methods for stratifying data collected aboard tuna purse seiners to cope with possi-

ble non-random search patterns are also currently being examined.

Alternative methods of abundance estimation have so far not been used for dolphins in the eastern tropical Pacific. Capture-mark-recapture methods would involve tagging very large samples which probably renders them impractical even without considering other problems such as estimating the shedding rate of tags. Catch-per-unit-of-effort methods could be investigated using fishing vessel logbook data but so far this has not been attempted.

#### TUNA-DOLPHIN INTERACTIONS

The growing realization that independent management of yellowfin tuna and the species of dolphin with which they associate is likely to be inefficient at best and possibly harmful to the species involved, places new emphasis on increasing our understanding of tuna-dolphin interactions. At the very least it becomes important to predict in a qualitative way how changes in the abundance of each species/stock affect the abundance of the others. Additional understanding of the causal mechanisms of the interaction is likely to be necessary in order to be able to make such predictions. The following discussion takes a critical look at what little is known of the association, the expected effects of different types of interaction, possible reasons for them, and the kinds of analyses and experiments which could make the most effective use of available resources aimed at elucidating tuna-dolphin interactions.

Data and observations providing useful information on any aspect of the association between tuna and dolphins are rare. Yellowfin tuna taken in association with dolphins are most often found with the spotted dolphin, Stenella attenuata, and stomach contents analysis has shown that there is a considerable overlap in the diets of these two species (Perrin, Warner, Fiscus and Holts, 1973). Conversely the diets of yellowfin tuna and spinner dolphins, S. longirostris, appear to be more different. Yellowfin tuna are far less frequently caught in association with spinner dolphins. This seems to indicate that the association is food-based, resulting in either a competitive, a parasitic or a commensal interaction. It is interesting to note that although yellowfin tuna must be active feeders to support their rapid growth rate, they are

often found with empty stomachs. Sharp and Francis (1976) estimated that there is enough production in the eastern tropical Pacific to support current estimates of yellowfin tuna biomass, but this does not imply that they are not food limited. In general, the available data on yellowfin tuna are more extensive and more precise than the available data on dolphins, so that any effects due to an interaction are more likely to be detected in analyses of yellowfin tuna data.

There are a number of ways in which the basis of the tuna-dolphin interaction could be viewed. These can range from entirely theoretical considerations to ideas originating from empirical data and observations. Interesting discussion can be generated from many approaches. Two overviews are presented below; one discusses the possible interaction types between two populations, the other discusses the implications of tuna seeking dolphins or of dolphins seeking tuna.<sup>2</sup>

Interactions between two populations can be described according to the beneficial or adverse effects that each population derives from or inflicts on the other. These interactions may be obligatory or optional for one or both of the populations. Many ecology texts have listed and described possible interactions between two populations but it is pertinent to review some of these here as a basis for subsequent discussion.

Competition for resources causes adversity to each competing population. For stable coexistence, competing populations must partition at least one resource, e.g. food, space, time, so that one has an advantage over a certain range of the resource while the other has an advantage over a different range. For example, populations which eat the same food may do so in different areas or at different times. There is some evidence that spotted dolphins and yellowfin tuna, at least, do compete for a large part of their food ranges.

---

<sup>2</sup>In June, 1981 the Marine Mammal Commission of the United States sponsored a workshop on alternative methods for capturing yellowfin tuna found in association with dolphins which was held at the Hubbs - Sea World Research Institute, San Diego, California. The tuna-dolphin association was discussed and a paper was presented on the subject (Stuntz, 1981).

Predation and parasitism are interactions where one population derives a benefit while the other is adversely affected. The populations may be at different trophic levels, e.g. a predator consuming a prey or a parasitoid developing within and destroying a host, or at the same level, e.g. a parasite depriving a host of some of its food. In practice, the distinction may be difficult to determine. Interactions of this type are normally obligatory for the predator or the parasite. If yellowfin tuna use dolphins to help locate their mutual food, the tuna would benefit but the dolphins may suffer through loss of food, and the interaction would be a form of parasitism. This would not be an obligatory relationship.

Interactions where one population derives a benefit and the other is either unaffected or also derives a benefit are termed commensalism and co-operation, respectively. Obligatory co-operation is sometimes called mutualism. These types of interaction may evolve from parasitism through commensalism to co-operation and possibly on to mutualism. Yellowfin tuna and dolphins may have an interaction based on protection from predators which could be commensal or co-operative.

There are other theoretical forms of interaction and variations of the above but they need not be detailed here. The three basic interaction types described above probably account for all the likely possibilities concerning the association of yellowfin tuna and dolphins. The overlap in food organisms between yellowfin tuna and spotted dolphins suggests that they may be competing for food. The additional presence of spinner dolphins with these species does not seem to be food-based.<sup>3</sup> If the interaction between spotted dolphins and yellowfin tuna were based on pure competition, it is difficult to envisage why they have not evolved towards a situation where there were no association. This leads to the supposition either that the two populations exhibit some separation of resources or that one of them derives some benefit from the association. This latter could be to the detriment of the other, such

---

<sup>3</sup>There are no available data on the feeding habits of common dolphins in the eastern tropical Pacific (a study by the U.S. NMFS found the stomachs of all sampled dolphins, caught in the same net as yellowfin tuna, to be empty) but such information may be of great value in assessing the role of food in the tuna-dolphin association.

as if yellowfin tuna were benefiting from the more efficient food-finding capabilities of dolphins, thus obtaining food which they otherwise would not have found while depriving the dolphins of some of their food. Alternatively, it could incorporate no effect on the other population or allow benefit for both, such as if the yellowfin tuna made the food more available by forcing the prey to the surface to facilitate feeding or if both species enjoyed increased protection from predators through the association.

The investigation of simple conceptual models may be a useful tool in gaining initial insight into forms of the tuna-dolphin interaction which are most likely. Such analyses would predict, in a qualitative way, expected trends in tuna and dolphin abundance given the known history of the fishery. These trends will differ if the interaction is essentially competitive, parasitic or co-operative. Appendix 1 outlines the dynamics of the three simple models.

The implications of the behavior of these models to the tuna-dolphin association in the eastern Pacific are clear. If the interaction is co-operative in nature, the highest yields of yellowfin tuna will be achieved by the maximum protection of dolphins. This will also be true if yellowfin tuna are parasitic on dolphins. If the interaction is based upon competition, however, higher yields of yellowfin tuna will result from depletion of the dolphin stocks. From the standpoint of the dolphin populations, levels should have tended to increase due to the exploitation of yellowfin tuna if the interaction is competitive or parasitic, but tended to decrease if the interaction is co-operative. The dramatic increase in incidental mortality of dolphins subsequent to 1959 obviously modifies these potential conclusions.

Using these predictions, it is possible to outline the expected changes in population levels of yellowfin tuna and dolphins since the fishery in the eastern Pacific began, for each of the three interaction types. If the interaction is competitive, the harvesting of yellowfin tuna prior to 1959 should have reduced yellowfin tuna stocks but increased competitive dolphin stocks. Subsequent to 1959, the incidental mortality on dolphins should have reduced dolphin stocks but potentially increased yellowfin tuna stocks. In recent years, as incidental dolphin mortality sharply declined, an increase in dolphin stock levels

and a potential decrease in yellowfin tuna stocks would be expected. If the interaction is parasitic, dolphins should have increased due to yellowfin tuna exploitation prior to 1959, decreased due to incidental mortality subsequent to 1959 causing yellowfin tuna stocks to decline further, and increased in recent years due to decreased incidental mortality allowing yellowfin tuna stock levels the potential to increase again. If the interaction is co-operative, dolphin stocks should have decreased with yellowfin tuna exploitation prior to 1959, decreased further with the onset of heavy incidental mortality causing a further potential decline in yellowfin tuna stocks, and increased in recent years with decreasing incidental mortality allowing yellowfin tuna stocks the potential to increase once more.

The obvious first step is to analyze available data to try to determine historical trends in abundance and to see which of the interactions best describes the circumstances. As a further step it may be possible to fit simple production models to data collected before, and subsequent to, the onset of the purse seine fishery to see whether estimates of growth rates or yields are different. There are sufficient data only for yellowfin tuna for this kind of exercise. In these ways, an idea of the type and detectability of the interaction may be obtained.

It is possible, even likely, that the original interaction has evolved into something either different or more complex, so that even if the raison d'être of the original interaction were known, this would not necessarily imply the existence of the same form of interaction today. Consequently, it is worth considering how an association between yellowfin tuna and dolphins might have occurred originally and how it might have evolved. These lines of inquiry are continued below after a brief review of some of the implications of assuming that either tuna or dolphins are the active partner in the interaction.

If yellowfin tuna actively seek schools of dolphins the association seems likely to be determined by the size of the tuna. Small, juvenile yellowfin tuna do not associate with dolphins as do often as large ones. Instead they school with other small tunas frequently in association with floating objects. This occurs primarily, but not exclusively, inshore. Larger, mature yellowfin tuna, however, are known to associate

often with schools of dolphins, primarily offshore, but seldom with smaller tunas or with floating objects. The attraction could be towards any dolphins present with protection as a possible basis, or towards particular dolphins possibly depending upon their diets. Available data tend to support the latter supposition, although protection may still play a role. Yellowfin tuna are most frequently found in association with spotted dolphins, fairly often with spinner dolphins and with common dolphins and rarely with striped dolphins. If size is the underlying basis for yellowfin tuna seeking dolphins, it would indicate an important change in the physiology and behavior of the tuna occurring at lengths related to the change from non-associated to associated fish. It is possible that there could be a relationship between the attainment of sexual maturity (at lengths of approximately 80-110 cm) and an association with dolphins, although there is considerable variation in the data (Allen, 1981). An interesting point is that the association with floating objects could have been the precursor to the association with dolphins. This, of course, assumes that it is the yellowfin tuna which are, or were, the active partner in the interaction.

If it is proposed, however, that dolphins actively seek yellowfin tuna, the possible reasons for the association seem less clear. It could be based on the age structure of the dolphin schools, but information on this is not abundant nor is it available for dolphin schools in areas where tuna are not fished. Alternatively, it could be based on the activity of dolphins, with schools only seeking tuna when migrating or during daily activity. Another possibility could be that the dolphins try to use tuna as a protective floor beneath them, just as the nocturnally feeding Hawaiian spinner dolphins seem to use shallow protected bays for protection during the day (Norris and Dohl, 1980).

Treating the association as two extremes, as above, is not intended to imply that any single proposal is most likely to be true. Rather, the actual interaction is more likely to be a combination of two or more of the proposed mechanisms. Any explanation of the interaction which proposes that the dolphins are the active component must account for the refusal of yellowfin tuna to break their association with dolphins while the latter are being chased or set upon by purse seiners.

Returning to the question of possible bases for the association, one line of inquiry into the mechanisms and causes of the interaction is to think about the schooling process and ask questions about what benefit either tuna or dolphins derive from schooling together. To do this it is first necessary to ensure that the basic mechanisms of single species schooling are understood. There are clearly advantages to schooling for some species in the form of increased protection from predators, increased utilisation of aggregated food, and facilitating the finding of mates, for example. There are also disadvantages, the greatest of which is individual competition for food. In a species which does school, the advantages presumably outweigh the disadvantages.

If two schooling species with similar prey and similar predators exist together, they may derive a further benefit by schooling with each other, and this mechanism may continue to include a larger number of species. Aggregations of pelagic predators in the eastern tropical Pacific are not necessarily restricted to two species. In aggregations involving fish and dolphins, yellowfin tuna are practically always present, skipjack tuna occasionally. One, two or possibly even three species of dolphin may occur and several types of birds, including frigate birds, terns, boobies, jaegers and shearwaters, may be present. In addition, sharks are frequently, and marlins occasionally, taken in tuna purse seines although it is not clear that they are part of the original aggregation. Studies of mixed-species flocks of birds in the tropics indicate that each species can be classified according to its role in the aggregation. In Moynihan's (1962) terminology they may be "attendant" or "nuclear", the nuclear species may be "active" or "passive", and species may also be "regular" or "occasional". Such terms may possibly also be applied to aggregations of pelagic predators in the eastern Pacific and if any species is nuclear it is likely to be the spotted dolphin and/or the yellowfin tuna.

The causal mechanisms for the aggregation of these populations may be based on food or protection or both. Tuna, dolphins and birds certainly utilize the same patches of prey, although there is stratification of available resources. Dolphins and tuna may also have similar predators in sharks and small whales. Aggregations formed on the basis of protection, co-operative or commensal interactions, would exhibit

different population dynamics than those formed as a result of competition for food or as a result of parasitism on the part of one population. This may be testable, for tuna and dolphins at least, as proposed above.

The available evidence certainly suggests that food is an important part of the tuna-dolphin interaction. If the association is food-based, an important factor will be the ecology of the patches of prey that make up the available food. Information about these prey patches such as horizontal, vertical and temporal distribution, size and species composition correlated with information on tuna and dolphin distributions may indicate the nature of prey availability to tuna and dolphins.

The way in which tuna and dolphins search for food is also important if the association is food-based and some crucial questions need to be answered. Do yellowfin tuna use the dolphins to find their food for them? If this is true, do the dolphins derive some benefit or is the presence of yellowfin tuna detrimental to them? Do dolphins and yellowfin tuna search for food in the same way in the presence or absence of the other? At the present time, there is insufficient information available to provide definitive answers to these questions.<sup>4</sup>

Another important factor to be considered if the interaction is food-based is that there are differences in the feeding habits of dolphins of different species and that these may correlate with the relative incidence of tuna-dolphin associations. The comparative ecology of dolphin species which are frequently, occasionally, or never found in association with yellowfin tuna may be a useful tool in helping us to decide how to plan and conduct experiments or surveys.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Some recent work has shown that yellowfin tuna undergo distinct vertical migrations several times in each hour. This occurs both while the tuna are free-swimming and in association with dolphins (Frank Carey, pers. comm.). If these vertical migrations were food-based, it would indicate that the tuna are searching for food in a similar manner with or without dolphins.

<sup>5</sup> A study of the common dolphin and its environment may be useful here. Common dolphins sometimes associate with yellowfin tuna but apparently not in a random fashion. It seems to depend upon season, area and even year. A most profitable study might be to try to determine why yellowfin tuna and common dolphins occur together in a particular area and season one year but not the next.

In conclusion, it is pertinent to reiterate those research suggestions already made and to propose any others which may be profitable. The construction of simple conceptual models and the examination of available data to see which model best accounts for historic trends in estimated abundance is seen as a valuable first step, as is the examination of estimated growth rate and yields from production model fits before and after the tuna fleet began intense fishing for dolphin-associated fish in 1959. Experimental work on the ecology of prey patches and the comparative ecology of different dolphins species are interesting and potentially useful topics of investigation.

Other areas of research which are of definite interest include the simultaneous tracking of tuna and dolphins from mixed species aggregations using sonic and radio tags, respectively. Simulation modelling may provide answers to questions concerning changes in population abundance and age-structure due to the implementation of certain management schemes. More general studies of areas which differ in certain characteristics but are similar in others may also be fruitful. These might include investigations in the eastern Pacific and the eastern Atlantic; yellowfin tuna fishery areas which have similar oceanography but different frequencies of tuna-dolphin interaction, or in areas of the eastern Pacific where tuna are or are not found in association with dolphins. Finally, the Commission is currently involved with some studies of trophic food chains which may shed some light on food selectivity of tuna and dolphins.

#### MANAGEMENT OF THE TUNA-DOLPHIN COMPLEX

The proper management of renewable resources is increasingly being seen to incorporate other interacting populations. This is especially true in the oceans of the world where the search for new sources of food is expanding. The harvesting of new populations can affect existing exploited populations and an awareness is developing that conventional methods of describing harvested stocks are unlikely to be adequate (May et al., 1980).

Tunas currently constitute approximately 4-5% of global marine fish landings and, of this, about 15% is taken by the purse seine fleet in the eastern tropical Pacific. Approximately half of this is yellowfin

tuna (FAO, 1980; IATTC, 1980). Since 1966, an annual quota on total yellowfin tuna catch in the Commission Yellowfin Regulatory Area (CYRA) has been recommended by the scientific staff of the IATTC. The Commission was unable to implement the quota effectively in 1979, or at all in 1980 and is unlikely to do so in 1981. The continuing aim of the IATTC has been to manage the yellowfin tuna fishery so that the maximum sustainable yield (MSY) is taken each year.

Since it became generally known in the late 1960's that dolphins were killed incidentally in purse seining operations (Perrin, 1968; 1969; 1970), the management and conservation of those species and stocks affected by the fishery has been seen as an important concern. The incidental kill of dolphins is partially controlled by national laws, the most stringent of which is the Marine Mammal Protection Act of the United States. Currently U.S. management goals are to keep all dolphin populations at, or above, "optimum sustainable population" levels and to reduce incidental kill to levels approaching zero.

The separate management schemes for yellowfin tuna and for dolphins in the eastern tropical Pacific have never involved consideration of the other interacting populations. That this may be inefficient, or even harmful to the species involved, has only recently been recognized as a point worth pursuing. Given the two major concerns, maximum sustained yellowfin tuna catch and dolphin protection, current management schemes are appropriate only if the yellowfin tuna derive some benefit from the interaction, as would be the case if it were co-operative, commensal or parasitic. If, however, the interaction were competitive, maximum protection of dolphins may be counter-productive to the yellowfin tuna fishery, effectively reducing the MSY of the yellowfin tuna population. In this case, potential yellowfin tuna production would increase if dolphins were reduced to lower levels. This does not necessarily mean that more yellowfin tuna would be taken, since dolphins are currently used to find a substantial proportion of the yellowfin tuna catch. The situation is complicated if a competitive interaction is occurring. Clearly, the form of the interaction must be known before any decisions can be made concerning joint management of yellowfin tuna and dolphins.

A more efficient strategy than the current management regime for yellowfin tuna may be to maximize economic benefit rather than

sustainable yield, and this may involve an entirely different scheme. However, there are complications because the fishery is international. The cost structures of the various national fleets are very different. For example, labor and fuel are cheaper in certain Central and South American countries than in North America. Also, vessels from these areas tend to fish closer to the coast and therefore travel less far than vessels from the United States.

In the management of dolphin stocks it is important to consider the effect that decisions concerning stock boundaries may have on dolphin and yellowfin tuna populations. A current underlying assumption is that there is a basic desire to save different kinds of animals from depletion and extinction. The current goals of the U.S. NMFS are to afford such protection to dolphin stocks in the eastern Pacific, as described above. Related to these goals are concerns about what would happen to the structure of the ecosystem if one or more populations were severely depleted or forced to extinction. Would their ecological roles be filled by populations of the same or different species, or would the ecosystem structure be drastically changed?<sup>6</sup> Information to answer these kinds of questions has, in the past, come too late to be of any use in making management decisions.

It is clearly important to identify populations correctly for management purposes. If this cannot be achieved, it is essential that this be recognized by those making management decisions. If a single management unit were actually composed of several stocks, exploitation would be practicable only if protection levels were relatively low. Conversely, protection levels should be relatively higher for management units that comprise single stocks and exploitation may be incompatible with protection. Where the true number of stocks in a management unit is unknown, there is clearly a balance to be struck between exploitation and protection.

In the management of any species or stock it is important to be able to define the limits to which it can safely be depleted. Apart

---

<sup>6</sup> Analyses of available data from the eastern Pacific may be able to show whether there are any changes in population levels of other species not involved with the fishery for yellowfin tuna correlated with the decrease in population levels of tunas or spinner and spotted dolphins.

from concerns about abundance, genetic variability should also be considered. For instance, how low can this become before the recovery of the population is significantly impeded? The northern elephant seal was reduced to a low population level but has now recovered in numbers and it has been shown that genetic variability in the population is currently at a low level (Bonnell and Selander, 1974). However, low genetic variability is thought to be typical of marine mammals and in groups of animals which are old in an evolutionary sense, as elephant seals are. It is therefore difficult to say whether the observed low genetic variability in the case of the northern elephant seal is due to the reduction in population size. It is impossible to determine from this example what level of genetic variability, if any, should be regarded as an allowable minimum.

#### SUMMARY OF RESEARCH SUGGESTIONS

This final section summarizes the research proposals suggested in the preceding pages. A description of each suggestion and what may be accomplished by it is outlined for each area or specific topic of research.

The IATTC will use the summary as a guide to its future research plans but this report attaches no priority to any of the ideas. The topics of suggested research are ordered into general areas which follow the same progression as the preceding sections; dolphin distribution and stocks, dolphin life history, dolphin abundance, and tuna-dolphin interactions. Several proposals cover more than one area and are described once only.

There are three suggestions for research on dolphin distributions. The first is to monitor the distribution of species or stocks through the year as the physical environment changes seasonally and to correlate distributions with oceanographic data. This would give a detailed description of how dolphin distributions are affected by the environment. The second is to look at dolphin distributions in years when anomalous conditions exist, such as in El Niño years. By observing how dolphin populations react to unusual environmental conditions, knowledge of distributions under normal circumstances may be enhanced. The third is to monitor the movements of dolphins in the vicinity of proposed

stock boundaries. This could involve tracking dolphins fitted with conventional radio transmitters, tracking dolphins fitted with transmitters capable of being received by satellites or fitting large numbers of dolphins with visual tags and waiting for returns. The extent of any movement would tell us how useful current boundaries are in delimiting stocks.

There are four suggestions for morphometric, meristic or biochemical research on dolphin stocks. The first is to collect more data from the dolphins killed incidental to the fishery. This is part of the continuing effort by the U.S. NMFS to identify stocks on the basis of morphological variation. The larger sample will enable any real differences to be better defined and will allow more confidence in the results. The second is to investigate stock differences possibly being manifest in patterns in teeth. Now that the U.S. NMFS has developed a technique for counting increments in dolphin teeth, a further step could be to look for patterns typical of stocks. The third is to examine the polymorphism of more enzyme loci than have previously been looked at. Little success has been achieved in the past but differences between stocks may possibly be obtained by investigating more loci. The fourth is to investigate the possibility of differentiating dolphin stocks that carry natural tags such as parasites. The U.S. NMFS is currently examining this.

Proposed research on dolphin life history is varied and several areas seem to be important. Some are concerned with obtaining an adequate, unbiased sample of data. An unbiased method of estimating the proportion of females lactating or pregnant in a school is to examine each animal individually, checking the mammary slits and taking a blood sample. This could be done by using the U.S. NMFS PSIS, mentioned previously. These data would then be used to estimate reproductive rates. Another way to obtain unbiased data is to utilize the occurrence of purse-seine sets which kill large number of dolphins. Animals do not seem to be selectively killed in these sets. Data collected from them would therefore be free of the bias involved in sampling any one school and could be used to make unbiased estimates of pregnancy rate, age at first reproduction, age of maturity, etc. In view of the sexual and age-structured segregation which seems to occur in Japanese spotted

dolphin populations the possibility of this occurring in eastern Pacific populations could be investigated. In the past, it has been assumed that the sexual and age compositions of schools of these populations were constant. If a random sample of schools is to be taken as representative of the entire population, the variation in sexual and age-structure composition between schools should be ascertained. A minor point involving bias is that differences in age at first reproduction between eastern and whitebelly spinner could be affected by possible differences in growth rates between the two stocks. The relative contribution of differential growth rates to differences in age at first reproduction could be calculated.

Although not related to the life history of unexploited populations, there are two research topics concerning the effects of the fishery for yellowfin tuna on dolphin populations. One is to see if estimates could be made of expected dolphin mortality on fishing trips where no scientific technician was aboard. This is clearly a difficult problem and would have to be approached by looking at data from observed trips and making implications concerning unobserved trips. If successful, it would enable better estimates of incidental mortality to be made. The other proposal is to investigate the physiological effects of chasing and capturing schools of dolphins in purse seines. Little is known about stress which may be endured by the vast majority of dolphins which are not killed or injured by fishing operations. It has been proposed that a first step would be to chase and capture a school of dolphins and hold them in a purse seine for a period of time. By taking sample material from the animals at regular intervals, the physiological state of the school could be monitored while they were captive in the net. A study of this sort would provide basic data which may give an indication of the stress endured by the dolphins. The results would depend upon many variables such as the species used and the size of the school, but they should provide better information than studies of animals in oceanaria.

Research proposals in the area of dolphin abundance all have the same ultimate goal; to improve the estimation of dolphin density in the eastern Pacific. To date, the majority of the research has been concerned with line transect methods of estimation and all the topics

described below involve ways of improving data collection and techniques of analysis for these methods. Most of the proposals are specific in that they deal with particular problems encountered in the collection or analysis of data from certain platforms.

One series of proposals involves data collected by scientific technicians aboard tuna seiners. The angle and distance to a sighted school of dolphins can usually only be estimated on these vessels and the data tend to be rounded to convenient values so that they are essentially grouped. It has been proposed that methodology be developed so that the density of dolphin schools can be estimated directly from these data. This would eliminate any bias caused by assuming the ungrouped data to be without error. Tunaboot data may also be biased by schools of dolphins detecting approaching vessels and moving away from the line of search before their relative positions have been recorded. This potential problem is likely to be confounded with the effects of weather on the sighting process. Schools are more likely to have moved in response to approaching vessels before being sighted in poor weather conditions where they cannot be detected easily. The combination of the effects of dolphin movement and weather is also a potential problem for research vessels and its quantification is important if shipboard data are to be used for absolute estimates of density. A final proposal concerning the tunaboot data involves the effects that the uncontrolled search patterns of these vessels may have upon estimates of dolphin density. If they are non-random with respect to dolphin density, estimates of density could be biased. Work would concentrate on data stratification to see if a problem exists and, if so, to account for biases.

Another topic of research involves improving the estimates of angles and distances to schools of dolphins sighted from research vessels. The opportunity exists to develop more sophisticated and accurate means of collecting data from these platforms so that there is no need to group the data. This would in itself improve the precision of density estimates for dolphins. Problems concerning data collection from aircraft have mostly been dealt with. However, the accuracy of perpendicular distance measurements from schools to the line of search could be improved by photographing the track beneath the aircraft. This

would increase the accuracy of data in this crucial area and improve estimates of density.

A final area of proposed research involves all three platforms; the estimation of mean school size for sightings of dolphin schools. In the past, mean school size from these platforms have differed. In addition, mean school sizes calculated from estimates of the same schools by crew and technicians are different. Clearly, these differences need to be examined. On several occasions, school sizes have been estimated by aerial photography. Estimates could be checked if schools were photographed and then captured and counted while leaving the net through the U.S. NMFS PSIS, or using techniques employed by the IATTC on the chartered vessel GINA ANNE (Allen *et al.*, 1980). For data collected aboard ships, estimates are made visually. One way to try to quantify the differences between tuna vessels and research vessels would be to have a vessel of each type operate in the same area at the same time. Alternatively, sighting crews from tuna and research vessels could work on the same vessel so that identical schools were seen. Another possibility would be to have tunaboot crew and technicians aboard a research vessel and research vessel technicians aboard a tunaboot. The understanding of the reasons for the differences between platforms is important in order that the most accurate estimates can be chosen.

Research to increase knowledge of the tuna-dolphin interaction itself falls into four categories; modelling and theoretical work, food-based studies, tagging experiments, and environmental investigations. Three proposals could be considered in the modelling category. Firstly, the analysis of simple conceptual models, based on the preliminary work in Appendix 1, could give an indication of the type of interaction to be expected. Trends in population abundance predicted by different models could be compared to available data to see which most closely described the history of the species involved in the fishery for yellowfin tuna. Secondly, data for yellowfin tuna prior, and subsequent, to the onset of heavy incidental mortality of dolphins could be used to fit production models. This may indicate changes in growth rate or dynamics of yellowfin tuna which could be attributable to the effects of an interaction with dolphin populations. Thirdly, more complex simulation models could be constructed describing the biology of yellowfin

tuna and dolphins and the behavior of the fishing fleet more fully. This type of model would incorporate as much information as is available and would make predictions about the effects of different management strategies on tuna and dolphins.

For food-based research there are four proposals. A study of prey-patches could be conducted, measuring such variables as size, species composition and vertical, horizontal and temporal distribution. This could be correlated to the distribution of those species of pelagic predators which feed on the patches and to physical features of the environment. From this, an idea of the interaction between environment, prey and predators would be obtained. Investigations into the comparative ecology of dolphin species could also be included in this category although they could also involve other factors. The differences in the feeding ecology of various dolphin species could be correlated with the differences in occurrence of their association with yellowfin tuna. This would highlight any food-based differences between the dolphin species which do associate with yellowfin tuna and those which do not. Trophic level studies connecting pelagic predators to forage organisms would also be interesting if they could show links between yellowfin tuna and its prey and between different dolphin species and their prey. A final food-related proposal concerns further study of the stomach contents of tuna and dolphins found in association. This would involve a carefully designed experiment to collect stomachs only in relevant time and area strata. Related to this study would be investigations into differences in stomach contents in pure and mixed schools of spotted and spinner dolphins. Stomachs of tuna and dolphins could also be examined in areas where tuna are not exploited or where they do not associate with dolphins. Results from such analyses would clarify our knowledge of the trophic structure of the marine environment in which tuna and dolphins live and also increase our understanding of why schools of different species associate with one another.

Perhaps the most direct way to study the behavior of tuna and dolphins in association is to capture an aggregation, tag some individuals from both groups and release all the animals. This research, if successful, would provide direct observations on the dynamics of the tuna-dolphin bond. The dolphins would be tagged with radio transmitters and

the tuna with sonic transmitters. The sonic transmitters, depending on the frequency, may interfere with the echolocation sounds of the dolphins and vice versa. Preliminary tests of the effects of sonic transmitters on dolphin behavior may be required.

The relationship between the occurrence of tuna-dolphin associations and the environment could be examined in a number of ways. This could take the form of looking at different areas within the eastern tropical Pacific where the association occurs and where it does not. Alternatively, it could involve comparing the eastern Pacific with the eastern Atlantic where oceanographic conditions are similar but the tuna-dolphin association is not known to be so prevalent. A most useful exercise may also be to investigate the occurrence of the yellowfin tuna association with common dolphins. This association is interesting in that it seems to occur in a particular area and season in some years but not in others. If environmental conditions and animal distributions could be monitored during periods when the association is prevalent and when it is absent, an idea of what causes the association may be obtained.

LITERATURE CITED

- \*Allen, R.L. 1981. Dolphins and the purse seine fishery for yellowfin tuna. IATTC Internal Report No. 16, 23 pp.
- \*Allen, R.L., Bratten, D.A., Laake, J.L., Lambert, J.F., Perryman, W.L. and Scott, M.D. 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. IATTC Data Report No. 6, 28 pp.
- Au, D.W.K. and Perryman, W.L. In press. Movement and speed of dolphin schools responding to an approaching ship. Fishery Bulletin 1982, 80(2).
- \*Au, D.W.K., Perryman, W.L. and Perrin, W.F. 1979. Dolphin distribution and the relationship to environmental features in the eastern tropical Pacific. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-79-43, 59 pp.
- Barlow, J. 1979. Reproductive seasonality in pelagic dolphins of the eastern tropical Pacific. Paper no. SOPS/79/26 prepared for the Status of Porpoise Stocks Workshop, August 27-31, 1979. Southwest Fisheries Center, La Jolla, California. 22 pp.
- Benirschke, K., Johnson, M.L. and Benirschke, R.J. 1979. A study of nonpregnant dolphins (Stenella longirostris and S. attenuata) possessing corpora lutea. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-79-27, 46 pp.
- Bonnell, M.D. and Selander, R.K. 1974. Elephant seals: genetic variation and near extinction. Science 184, 908-909.
- \*Cole, J.S. 1980. Synopsis of biological data on the yellowfin tuna, Thunnus albacares (Bonnaterre, 1788), in the Pacific Ocean. In W.H. Bayliff (ed.) Synopses on the biology of eight species of Scombrids. IATTC Special Report No. 2, pp 71-150.
- \*Cowan, D.F. and Walker, W.A. 1979. Disease factors in Stenella attenuata and Stenella longirostris taken in the eastern tropical Pacific tuna purse seine fishery. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-79-32C, 21 pp.
- FAO. 1980. 1979 Yearbook of fishery statistics, catches and landings. Vol. 48, pp 96-172.

- \*Hammond, P.S. 1981. Some problems in estimating the density of dolphin populations in the eastern tropical Pacific using data collected aboard tuna purse seiners. IATTC Internal Report No. 15, 40 pp.
- \*Henderson, J.R., Perrin, W.F. and Miller, R.B. 1980. Rate of gross annual production in dolphin populations (Stenella spp. and Delphinus delphis) in the eastern tropical Pacific, 1973-1978. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-80-02, 51 pp.
- \*IATTC. 1980. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1979. 227 pp.
- Jennings, J.G. and Gandy, W.F. 1980. Tracking pelagic dolphins by satellite. In Amlaner, C.J. and Macdonald, D.W. (eds.) A handbook on biotelemetry and radio tracking. Pergamon Press. pp 753-755.
- \*May, R.M., Beddington, J.R., Clark, C.W., Holt, S.J. and Laws, R.M. 1979. Management of multispecies fisheries. Science 205, 267-277.
- Moynihan, M. 1962. The organization and probable evolution of some mixed species flocks of neotropical birds. Smithsonian Miscellaneous Collections 143(7), 1-140.
- Norris, K.S. and Dohl, T.P. 1980. Behavior of the Hawaiian spinner dolphin, Stenella longirostris. Fishery Bulletin 77(4), 821-849.
- Perrin, W.F. 1968. The porpoise and the tuna. Sea Frontiers 14(3), 166-174.
- Perrin, W.F. 1969. Using porpoise to catch tuna. World Fishing 18(6), 4 pp.
- Perrin, W.F. 1970. The problem of porpoise mortality in the U.S. tropical tuna fishery. In Proceedings of the sixth annual conference on biological sonar and diving mammals, 1969, Stanford Research Institute, pp 45-48.
- \*Perrin, W.F., Coe, J.M. and Zweifel, J.R. 1976. Growth and reproduction of the spotted porpoise, Stenella attenuata, in the offshore eastern tropical Pacific. Fishery Bulletin 74(2), 229-269.
- \*Perrin, W.F., Evans, W.E. and Holts, D.B. 1979. Movements of pelagic dolphins (Stenella spp.) in the eastern tropical Pacific as indicated by results of tagging, with summary of tagging operations, 1969-76. NOAA Technical Report NMFS SSRF-737, 14 pp.
- \*Perrin, W.F. and Henderson, J.R. 1979. Growth and reproductive rates in two populations of spinner dolphins, Stenella longirostris, with

- different histories of exploitation. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-79-29, 37 pp.
- \*Perrin, W.F. and Powers, J.E. 1980. Role of a nematode in natural mortality of spotted dolphins. *J. Wildl. Manage.* 44(4), 960-963.
- \*Perrin, W.F., Sloan, P.A. and Henderson, J.R. 1979. Taxonomic status of the "Southwestern stocks" of spinner dolphin Stenella longirostris and spotted dolphin S. attenuata. *Rep. Int. whal. Commn* 29, 175-184.
- \*Perrin, W.F., Warner, R.R., Fiscus, C.H. and Holts, D.B. 1973. Stomach contents of porpoise, Stenella spp., and yellowfin tuna, Thunnus albacares, in mixed-species aggregations. *Fishery Bulletin*, 71(4), 1077-92.
- Sharp, G.D. and Francis, R.C. 1976. An energetics model for the exploited yellowfin tuna, Thunnus albacares, population in the eastern Pacific Ocean. *Fishery Bulletin*, 74(1), 36-50.
- Southwest Fisheries Center 1976. Report of the workshop on stock assessment of porpoises involved in the eastern Pacific yellowfin tuna fishery. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-76-29, 108 pp.
- Stuntz, W.E. 1981. The tuna-dolphin bond - a discussion of current hypotheses. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-81-19, 9 pp.
- Wada, S. and Numachi, K. 1979. External and biochemical characters as an approach to stock identification for the Antarctic minke whale. *Rep. Int. whal. Commn* 29, 421-432.

\* Papers available to participants as background documents.



APPENDIX 1

DYNAMICS OF THREE SIMPLE CONCEPTUAL MODELS  
OF POSSIBLE TUNA-DOLPHIN INTERACTIONS

edited by P.S. Hammond

Inter-American Tropical Tuna Commission  
La Jolla, California, USA.

Prepared at the  
Tuna-Dolphin Workshop

Managua, Nicaragua  
April 6-10, 1981



(a) Non-obligatory parasitic interaction where both populations are subject to harvesting

May et al. (1979) and Beddington and May (1980) fully describe the analysis of a simple model of predation which is equivalent to obligatory parasitism. Summarized below is an analysis of a simple model of non-obligatory parasitism where the parasite population can exist in the absence of the host population.

Model

The rate of change of the host can be represented by

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left[ 1 - \frac{N_1}{K_1} \right] - a N_1 N_2 - r_1 F_1 N_1 \quad (1)$$

and of the parasite by

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left[ 1 - \frac{N_2}{K_2(1+bN_1)} \right] - r_2 F_2 N_2 \quad (2)$$

where  $N_1$  is host density,  $N_2$  is parasite density,  $r_1$  and  $r_2$  are the respective growth rates,  $K_1$ , and  $K_2$  are the respective "carrying capacities" in the absence of the other population,  $a$  is the "attack rate" of the parasite,  $b$  is a constant scaling the effects of the host to parasite "carrying capacity" and  $F_1$  and  $F_2$  are measures of fishing effort on host and parasite populations, respectively, scaled to equal unity when fishing effort equals the respective growth rates,  $r_1$  and  $r_2$ .

In dimensionless form

$$\text{from (1)} \frac{dx_1}{dt} = r_1 x_1 (1 - x_1 - F_1 - \alpha x_2) \quad (3)$$

$$\text{from (2)} \frac{dx_2}{dt} = r_2 x_2 \left( 1 - \frac{x_2}{1+\beta x_1} - F_2 \right) \quad (4)$$

$$\text{where } x_1 = \frac{N_1}{K_1}, \quad x_2 = \frac{N_2}{K_2}, \quad \alpha = \frac{aK_2}{r_1}, \quad \beta = bK_1$$

At equilibrium

from (3) when  $\frac{dX_1}{dt} = 0$ ,  $X_1 = 1-F_1 - \alpha X_2$  or  $X_2 = \frac{1-F_1-X_1}{\alpha}$  (5)

from (4) when  $\frac{dX_2}{dt} = 0$ ,  $X_2 = (1-F_2)(1+\beta X_1)$  or  $X_1 = \frac{X_2 - (1-F_2)}{\beta(1-F_2)}$  (6)

so that the equilibrium point is given by

$$X_1^* = \frac{1-F_1-\alpha(1-F_2)}{1+\alpha\beta(1-F_2)} \quad (7)$$

$$X_2^* = \frac{(1-F_2)[1+\beta(1-F_1)]}{1+\alpha\beta(1-F_2)} \quad (8)$$

The equilibrium isoclines, (5) and (6), and the equilibrium point, (7) and (8), are represented graphically in Figure A1.

As fishing effort,  $F_1$ , is increased on the host,  $X_1$ , the  $dX_1/dt = 0$  isocline moves down towards the origin, the gradient remaining the same, causing the equilibrium level of both host and parasite to decrease. As fishing effort,  $F_2$ , is increased on the parasite,  $X_2$ , the gradient and  $X_2$  - intercept of the  $dX_2/dt = 0$  isocline decrease causing the equilibrium level of the host to increase and the parasite to decrease.

Yields

The equilibrium yields,  $Y_1^*$  and  $Y_2^*$ , are obtained by multiplying the equilibrium population levels,  $X_1^*$  and  $X_2^*$ , by fishing effort. Therefore

from (7)  $Y_1^* = r_1 F_1 X_1^* = \frac{r_1 F_1 [1-F_1 - \alpha(1-F_2)]}{1 + \alpha\beta(1-F_2)}$  (9)

from (8)  $Y_2^* = r_2 F_2 X_2^* = \frac{r_2 F_2 (1-F_2)[1+\beta(1-F_1)]}{1 + \alpha\beta(1-F_2)}$  (10)

The maximum sustainable yield (MSY) for the host,  $X_1$ , for fixed  $F_2$ , is obtained at a level of fishing effort,  $F_1 = 0.5$ . Increasing  $F_2$ , increases MSY<sub>1</sub> as a linear function of  $\alpha$ . The MSY for the parasite,

$X_2$ , for fixed  $F_1$ , is obtained at a level of fishing effort dependent upon the parameter combination  $\alpha\beta$ . For example, at  $\alpha\beta = 1$ ,  $MSY_2$  is achieved at  $F_2 = 0.59$ . Increasing  $F_1$  decreases  $MSY_2$  as a linear function of  $\beta$ .

The essential difference between the model described above and the predator-prey model described by May *et al.* (1979) and Beddington and May (1980) is that in the above model the parasite can exist in the absence of the host. This is demonstrated in figure A1 where the  $dX_2/dt = 0$  equilibrium isocline can be seen to have a positive value at  $X_1 = 0$ . In the model described by the above authors, this isocline passes through the origin. The yield properties of the two models are similar. In both the level of fishing effort supporting MSY for the parasite/predator population depends upon the value of model parameters. The dimensionless parameter  $v$  in the May *et al.* (1979) and Beddington and May (1980) model is equivalent to the parameter combination  $\alpha\beta$  in the above model.

(b) Competitive interaction where both populations are subject to harvesting

Clark (1976) describes an extension of Gause's (1935) model of a competitive interaction where one population is subject to harvesting. Summarized below is an analysis extending this model so that both populations are subject to harvesting.

Model

The rate of change of each of the two competing populations can be represented by

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1}\right) - a_1 N_1 N_2 - r_1 F_1 N_1 \quad (11)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2}\right) - a_2 N_2 N_1 - r_2 F_2 N_2 \quad (12)$$

where  $N_1$  and  $N_2$  are the densities of the two populations,  $r_1$  and  $r_2$  are the respective growth rates,  $K_1$  and  $K_2$  are the respective "carrying capacities",  $a_1$  and  $a_2$  represent the effects of population  $N_2$  on  $N_1$  and  $N_1$  on  $N_2$ , respectively, and  $F_1$  and  $F_2$  are measures of fishing effort on

the two populations scaled to equal unity when fishing effort equals the respective growth rates,  $r_1$  and  $r_2$ .

In dimensionless form

$$\text{from (11)} \frac{dx_1}{dt} = r_1 x_1 (1 - x_1 - F_1 - \alpha_1 x_2) \quad (13)$$

$$\text{from (12)} \frac{dx_2}{dt} = r_2 x_2 (1 - x_2 - F_2 - \alpha_2 x_1) \quad (14)$$

$$\text{where } x_1 = \frac{N_1}{K_1}, \quad x_2 = \frac{N_2}{K_2}, \quad \alpha_1 = \frac{a_1 K_2}{r_1}, \quad \alpha_2 = \frac{a_2 K_1}{r_2}$$

At equilibrium

$$\text{from (13) when } \frac{dx_1}{dt} = 0, \quad x_1 = 1 - F_1 - \alpha_1 x_2 \quad \text{or} \quad x_2 = \frac{1 - F_1 - x_1}{\alpha_1} \quad (15)$$

$$\text{from (14) when } \frac{dx_2}{dt} = 0, \quad x_2 = 1 - F_2 - \alpha_2 x_1 \quad \text{or} \quad x_1 = \frac{1 - F_2 - x_2}{\alpha_2} \quad (16)$$

so that the equilibrium point is given by

$$x_1^* = \frac{1 - F_1 - \alpha_1 (1 - F_2)}{1 - \alpha_1 \alpha_2} \quad (17)$$

$$x_2^* = \frac{1 - F_2 - \alpha_2 (1 - F_1)}{1 - \alpha_1 \alpha_2} \quad (18)$$

The equilibrium isoclines, (15) and (16), and the equilibrium point, (17) and (18), are represented graphically in Figure A2 (i)-(iv).

The effect of increasing fishing effort is to move each equilibrium isocline towards the origin whilst the gradient remains constant. In Figure A2(i), where a stable equilibrium point exists in the first quadrant, increasing fishing effort on either population will move the equilibrium isocline down towards the origin, without changing the gradient, thus decreasing the equilibrium level of that population whilst increasing the equilibrium level of the other.

### Yields

Equilibrium yields are obtained by multiplying equilibrium population levels by fishing effort. Therefore

$$\text{from (17)} \quad Y_1^* = r_1 F_1 X_1^* = \frac{r_1 F_1 [1 - F_1 - \alpha_1 (1 - F_2)]}{1 - \alpha_1 \alpha_2} \quad (19)$$

$$\text{from (18)} \quad Y_2^* = r_2 F_2 X_2^* = \frac{r_2 F_2 [1 - F_2 - \alpha_2 (1 - F_1)]}{1 - \alpha_1 \alpha_2} \quad (20)$$

For fixed fishing effort,  $F_2$ , on population  $X_2$ , MSY for population  $X_1$  is achieved at a level of fishing effort,  $F_1=0.5$ . MSY<sub>1</sub> depends upon a second order term involving  $F_2$ , so that increasing  $F_2$  causes MSY<sub>1</sub> to increase disproportionately. The same is true for population  $X_2$ .

### (c) Co-operative interaction where both populations are subject to harvesting

The model analysed here is identical to the Gause (1935) model of competition with positive instead of negative interaction terms for the effect of each population on the other and allowing harvesting of both populations.

### Model

The rate of change of each of the two co-operative populations can be represented by

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1}\right) + a_1 N_1 N_2 - r_1 F_1 N_1 \quad (21)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2}\right) + a_2 N_1 N_2 - r_2 F_2 N_2 \quad (22)$$

where  $N_1$  and  $N_2$  are the densities of the two populations,  $r_1$  and  $r_2$  are the respective growth rates,  $K_1$  and  $K_2$  are the respective "carrying capacities",  $a_1$  and  $a_2$  represent the effects of population  $N_2$  on  $N_1$  and  $N_1$  on  $N_2$ , respectively, and  $F_1$  and  $F_2$  are measures of fishing effort on the two populations scaled to equal unity when fishing effort equals the respective growth rates,  $r_1$  and  $r_2$ .

In dimensionless form

$$\text{from (21)} \frac{dx_1}{dt} = r_1 x_1 (1 - x_1 - F_1 + \alpha_1 x_2) \quad (23)$$

$$\text{from (22)} \frac{dx_2}{dt} = r_2 x_2 (1 - x_2 - F_2 + \alpha_2 x_1) \quad (24)$$

$$\text{where } x_1 = \frac{N_1}{K_1}, \quad x_2 = \frac{N_2}{K_2}, \quad \alpha_1 = \frac{a_1 K_2}{r_1}, \quad \alpha_2 = \frac{a_2 K_1}{r_2}$$

At equilibrium

$$\text{from (23) when } \frac{dx_1}{dt} = 0, \quad x_1 = 1 - F_1 + \alpha_1 x_2 \text{ or } x_2 = \frac{x_1 - (1-F_1)}{\alpha_1} \quad (25)$$

$$\text{from (24) when } \frac{dx_2}{dt} = 0, \quad x_2 = 1 - F_2 + \alpha_2 x_1 \text{ or } x_1 = \frac{x_2 - (1-F_2)}{\alpha_2} \quad (26)$$

so that the equilibrium point is given by

$$x_1^* = \frac{1 - F_1 + \alpha_1(1-F_2)}{1 - \alpha_1\alpha_2} \quad (27)$$

$$x_2^* = \frac{1 - F_2 + \alpha_2(1-F_1)}{1 - \alpha_1\alpha_2} \quad (28)$$

The equilibrium isoclines, (25) and (26), and the equilibrium point, (27) and (28), are represented graphically in Figure A3.

An equilibrium occurs in the first quadrant only if  $\alpha_1\alpha_2 < 1$ .  $F_1$  can be greater than unity as long as  $\alpha_1 < (1-F_1)/(F_2-1)$ . Likewise,  $F_2$  can be greater than unity as long as  $\alpha_2 < (1-F_2)/(F_1-1)$ . Increasing fishing effort on either population causes the equilibrium isocline to move towards the origin, without changing the gradient, thus decreasing the equilibrium level of both populations.

Yields

Equilibrium yields are obtained by multiplying equilibrium population levels by fishing effort. Therefore

$$\text{from (27)} \quad Y_1^* = r_1 F_1 X_1^* = \frac{r_1 F_1 [1 - F_1 + \alpha_1 (1 - F_2)]}{1 - \alpha_1 \alpha_2} \quad (29)$$

$$\text{from (28)} \quad Y_2^* = r_2 F_2 X_2^* = \frac{r_2 F_2 [1 - F_2 + \alpha_2 (1 - F_1)]}{1 - \alpha_1 \alpha_2} \quad (30)$$

For fixed fishing effort,  $F_2$ , on population  $X_2$ , MSY for population  $X_1$  is achieved at a level of fishing effort,  $F_1 = 0.5$ . MSY<sub>1</sub> depends upon a second order term involving  $F_2$ , so that increasing  $F_2$  causes MSY<sub>1</sub> to decrease disproportionately. The same is true for population  $X_2$ .

LITERATURE CITED

- Beddington, J.R. and May, R.M. (1980). Maximum sustainable yields in systems subject to harvesting at more than one trophic level. Mathematical Biosciences 51, 261-281.
- Clark, C.W. (1979). Mathematical Bioeconomics. Wiley, N.Y. 352 pp.
- Gause, G.F. (1934). The Struggle for Existence. Hafner, N.Y. 163 pp.
- May, R.M., Beddington, J.R., Clark, C.W., Holt, S.J. and Laws, R.M. (1979). Management of multi-species fisheries. Science 205, 267-277.

FIGURE LEGENDS

Figure A1 Equilibrium isoclines for model of parasitism. Equilibrium point  $(X_1^*, X_2^*)$  is stable if in the first quadrant.

Figure A2 Equilibrium isoclines for model of competition. Heavy arrows indicate population trajectories towards equilibrium points.

- (i) Equilibrium point  $(X_1^*, X_2^*)$  is in the first quadrant and stable only if  $\alpha_1 < (1-F_1)/(1-F_2)$  and  $\alpha_2 < (1-F_2)/(1-F_1)$ . Points  $(0, X_2^*)$  and  $(X_1^*, 0)$  are unstable equilibria.
- (ii) Equilibrium point  $(X_1^*, X_2^*)$  is in the first quadrant and unstable only if  $\alpha_1 > (1-F_1)/(1-F_2)$  and  $\alpha_2 > (1-F_2)/(1-F_1)$ . Points  $(0, X_2^*)$  and  $(X_1^*, 0)$  are stable equilibria.
- (iii) There is no equilibrium point in the first quadrant,  $(0, X_2^*)$  is an unstable equilibrium point and  $(X_1^*, 0)$  is a stable equilibrium point if  $\alpha_1 < (1-F_1)/(1-F_2)$  and  $\alpha_2 > (1-F_2)/(1-F_1)$ .
- (iv) There is no equilibrium point in the first quadrant,  $(0, X_2^*)$  is a stable equilibrium point and  $(X_1^*, 0)$  is an unstable equilibrium point if  $\alpha_1 > (1-F_1)/(1-F_2)$  and  $\alpha_2 < (1-F_2)/(1-F_1)$ .

Figure A3 Equilibrium isoclines for model of co-operation. Equilibrium point  $(X_1^*, X_2^*)$  is stable if in the first quadrant.

Figure A1

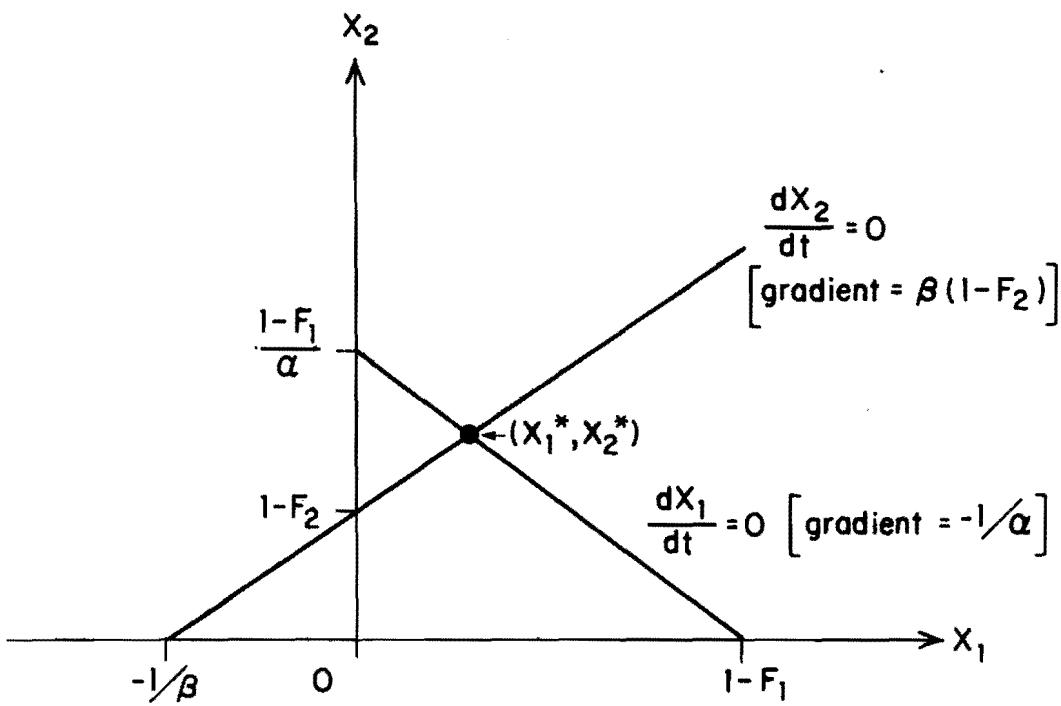


Figure A2

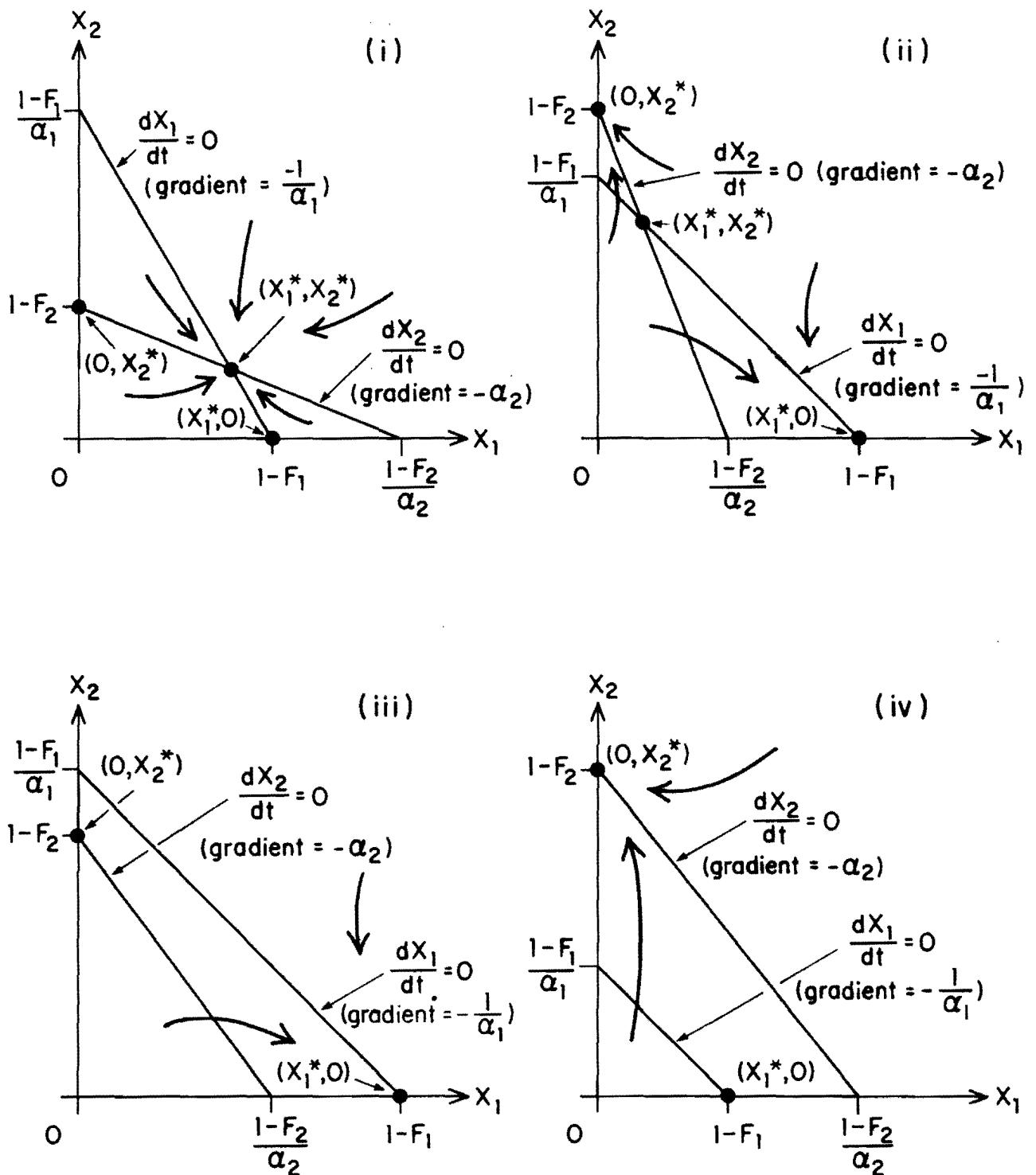
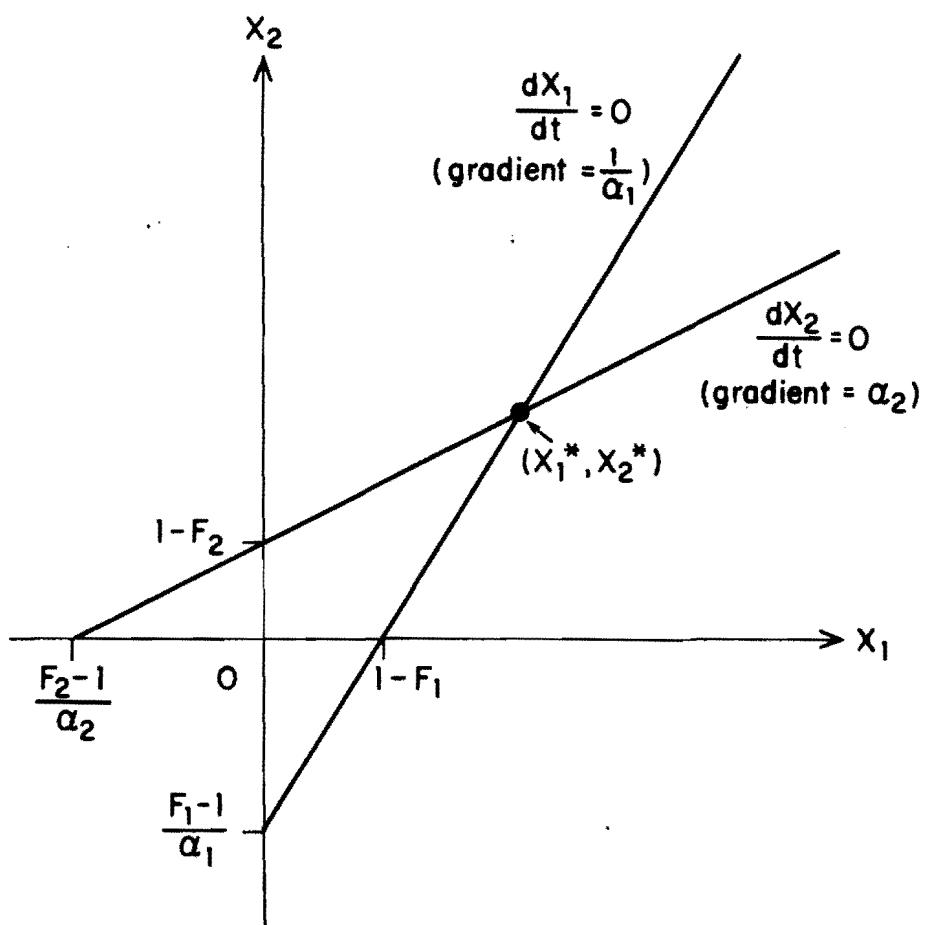


Figure A3



APPENDIX 2

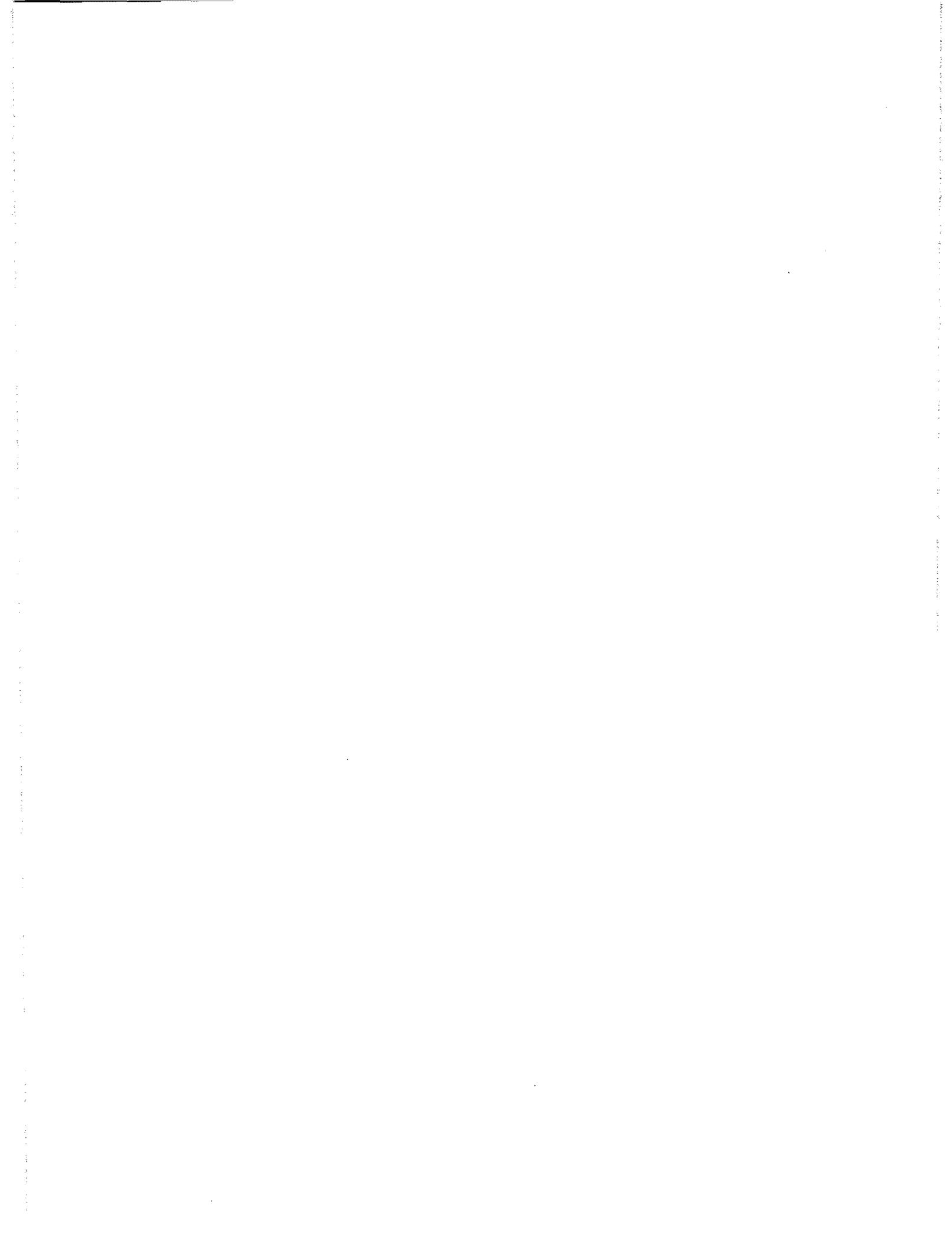
NATURAL MORTALITY OF DOLPHINS

P.S. Hammond

Inter-American Tropical Tuna Commission  
La Jolla, California, USA

Review paper prepared for the  
Tuna-Dolphin Workshop

Managua, Nicaragua  
April 6-10, 1981



### INTRODUCTION

This short review paper is intended as a summary of the constituent factors of natural mortality in dolphin populations. Evidence of mortality from disease, predation and parasitism is discussed. Parasitism is the most documented element and is therefore seen as the major cause of natural mortality on dolphins. Natural mortality rates of dolphin populations affected by the purse seine tuna fishery in the eastern tropical Pacific are also discussed.

### NON-PARASITIC DISEASE

There have been a few reports of dolphins suffering from disease not due to parasites both in captivity and in the wild. Cases of such disease in captive animals are not worth discussing here since it is commonly thought that the strange environment in close proximity to land animals and humans in particular is a major cause of disease in oceanaria. Migaki, Valerio, Irvine and Garner (1971) and Caldwell, Caldwell, Woodward, Ajello, Kaplan and McClure (1975) have both reported the fungal skin disease Lobomycosis on Atlantic bottlenose dolphins, Tursiops truncatus, captured in the Gulf of Mexico. Cowan and Walker (1979) in a study of 49 Stenella attenuata and 19 S. longirostris in the eastern tropical Pacific noted evidence of small superficial heart scars, minor liver inflammation and various irregularities of the kidneys. None of the above reports suggested that the disease discovered was likely to affect survivorship. Stroud and Roffe (1979) have identified the cause of death of a common dolphin, Delphinus delphis, as meningoencephalitis, a viral infection. It is likely that bacterial and viral disease are more common in dolphins than the scanty data indicate. Slijper (1962) has said that disease has little effect upon the mortality rate of whales, but Tomilin and Smyshlyayev (1968) suggest that the significance of disease is underestimated since sick cetaceans will die in the depths, becoming prey to scavengers and will rarely be discovered. This will of course be true of parasitic disease also.

There is little that can be added to these opinions. Clearly, diseases in marine mammals, including dolphins, do occur in the wild and may even be commonplace, but there is no way to assess their impact upon

the survivorship of these animals.

#### PREDATION

As with non-parasitic disease, it is difficult to determine both the extent and the effects of predation upon dolphins. Perhaps it is even more difficult since predation can only be proved by the physical observation of one species attacking another. Reports of dolphins being found in the stomachs of sharks and small whales, although plentiful, are not evidence of active predation; the dolphins may have been dead or dying from other causes when they were taken. Similarly, reports of aggressive behavior on the part of sharks or small whales towards dolphins in captivity are not evidence of such a relationship in the wild. However, there are several documented instances where dolphins have been observed being attacked by sharks or whales. Wood, Caldwell and Caldwell (1970) reported on a few cases of sharks harrassing and attacking dolphins, notably a school of about 50 Delphinus sp. being troubled by a group of sharks and a story of a shark and a large female Tursiops truncatus in battle resulting in the death of the dolphin. Pike and MacAskie (1969) presented logbook records of the predatory activity of killer whales in British Columbian waters giving two reports of killer whales attacking Dall's porpoise schools. Morejohn (1979) also described attacks made by Orca on Dall's porpoise, but states that the latter swim too fast to be troubled by sharks. Wursig and Wursig (1980) document evasive behavior of Lagenorhynchus obscurus, the dusky dolphin, upon the approach of the killer whale, Orca orcinus on six occasions. On three of these, the dolphins swam towards the shore into water less than 1 m deep. The authors considered that this was probably as a defense against attack by killer whales. Indeed it is difficult to envisage how such behavior could have evolved unless the whales were a threat to the dolphins. They also noted that some reliable observers once saw killer whales surface amongst a school of dusky dolphins, one with blood dripping from its mouth suggesting an attack. In the eastern tropical Pacific, Perryman and Foster (1980) have documented reports from observers aboard tuna purse seiners of small whales attacking dolphins. In the observer records they found several instances of Pseudorca crassidens, the false killer whale, being seen attacking Stenella

spp. or Delphinus delphis. In some cases identification was tentative. Most, but not all, of these attacks were observed during fishing operations so that there is some question of whether such attacks occur naturally. However, the fact that Stenella spp. and D. delphis do panic in the purse seine net when mammalian predators approach, a common observation, is indicative of a predator - prey interaction. As mentioned above, the evolution of this type of behavior could only have been possible if such a relationship exists. Leatherwood, Perrin, Garvie and LaGrange (1971) relate instances of shark attacks on dolphins during fishing operations from tuna purse seiners, but attacks were largely on obviously injured or disorientated animals.

Perhaps the most dramatic and graphic description of predation upon dolphins is that by Grey (1927). He witnessed a school of "blackfish" with "sharp black fins" (probably a small whale such as Pseudorca) chasing and attacking a school of "porpoise". The whales appeared to have rounded up the dolphins, chased them until they were exhausted and then attacked them.

Clearly, small whales and sharks do attack dolphins of various species. There are numerous reports of dolphins having been observed with scars obviously due to bites from sharks or small whales. Predation, like non-parasitic disease is likely to be a significant factor in the natural mortality of dolphins. Sharks and toothed whales are known to be catholic feeders and they may feed on dolphins when the chance presents itself. This would be more likely to be when the dolphins were at a disadvantage such as during tuna purse seine operations in the eastern tropical Pacific.

#### PARASITIC DISEASE

Parasitism is by far the most documented form of natural mortality in dolphins. Reports of parasites being found in Cetacea go back to the last century, but the first comprehensive review was by Delyamure (1955). He cites two cases of particular interest due to their quantitative information. The first was of the heavy infection of Black Sea common dolphins, D. delphis, by the lung nematode Skrjabinalius cryptcephalus. He found 175 out of 604 individuals (29%) to be infected by 3-227 (mean of 25) parasites per dolphin. The infection rate varied

between 16.9% to 39.0% for five different schools. Embryos and sucklings were free from infection, juveniles were negligibly infected and adults were intensely infected. Delyamure considered skrjabinaliosis to be a mortality factor of some significance. The second case was of the 100% infection of a sample of Azov Sea porpoise, Phocoena phocoena relicta, by the nematode Stenurus minor in the auditory and nasal cavities of the skull. Delyamure knew of evidence of severe damage to the auditory organs of these porpoise due to stenrosis. Common and bottlenose dolphins in the Azov Sea were not affected.

Since Delyamure (1955), Stenurus spp. have been found by a number of authors. Reysenbach de Haan (1957) found that opening the air-filled cavities in the skulls of marine mammals often revealed "a large number of worms, frequently twined into balls." In particular, S. globicephala was found in pilot whales. Norris and Prescott (1961) found large quantities of Stenurus sp. in the lateral air sinus near the inner ear in a Dall's porpoise and Johnston and Ridgeway (1969) found a Dall's porpoise with numerous S. minor in the head sinuses and lungs. In a study of a mass stranding of the Atlantic white-sided dolphin, Lagenorhynchus acutus, Geraci, Testaverde, St. Aubin and Loop (1974) found all subadults and adults (of a total of approximately 150 animals) to be infected with S. globicephala in the head sinuses and middle ears. Stenrosis seems to be a fairly common infection amongst dolphins and clearly has the potential to cause considerable inconvenience. Lung parasites have also been reported since Delyamure (1955), notably by Geraci (1979) who found several species of lung worms "sometimes appearing to be limited in number only by their own density" in 25 stranded harbor porpoise, P. phocoena. Geraci also noted that large numbers of worms are sometimes found in healthy animals.

High infection by the stomach nematode Anisakis spp. has been noted. Kagei, Oshima and Takemura (1967) found 254 of 411 (61.8%) striped dolphins, Stenella coeruleoalba, to be infected. An interesting point here is that the animals were collected in two consecutive years and the results differed widely between these years. Percentage parasitism was much higher in 1965 than in 1966 and the mean number of parasites per dolphin in 1965 was nearly four times that in 1966. Also the length of the worms differed; nearly half the worms being over 30 mm

long in 1965 but only 15% being of this length in 1966. Dailey and Perrin (1973) found the percentage parasitism of 72 spotted dolphins, Stenella attenuata, by Anisakis sp. to increase with age. Neonatals had 0% infection, calves - 62%, subadults - 76% and adults - 83%. Only subadults had large numbers of worms. No mention was made in either of these reports of the significance of Anisakis as a mortality factor.

Many of the reports of dolphin parasitism come from studies of the stranding of marine mammals. Indeed, parasitism has been suggested as the cause of strandings, particularly from parasites which are found in the brains of dolphins. Ridgeway and Dailey (1972) found seven Delphinus delphis to be subject to considerable parasitism by the trematode Campula rochebruni in the liver and the brain. A Lagenorhynchus obliquidens was also found with brain lesions thought to be caused by the trematode Zalophotrema sp. The authors stated "At least three species of trematodes parasitic in dolphins shed ova which in some unknown way get to the brain causing extensive damage. This damage leads to incoordination and eventual death. Affected animals that survive long enough are cast ashore or become stranded." Geraci (1979) reported on Campula oblonga in the livers of harbor porpoise stranded along the New England coast. He found up to 15% of hepatic tissue to be infected and replaced, and noted that this was not too serious. He did consider, however, that the pancreatic damage caused by C. oblonga could be a far more serious condition. Dailey and Walker (1978) found Campula spp. to cause varying degrees of fibrosis in the pancreatic ducts of three out of four Dall's porpoise and 23 out of 37 (68%) common dolphins stranded singly along the southern California coastline. They also found the trematode Nasitrema spp. in the air sinuses of 40 out of 60 singly stranded dolphins of four species. In 26 individuals, adult worms were found in the brain and to have caused lesions there. Only two out of 31 control striped and common dolphins taken offshore were infected and no lesions were observed. This is an important finding and strongly suggests that trematodes of the genus Nasitrema may be a cause of single strandings of dolphins through damage to the central nervous system.

Parasitism with the potential of affecting dolphin reproduction has been noted by Geraci, Testaverde, St. Aubin and Loop (1974) and Geraci, Dailey and St. Aubin (1978). In a study of a mass stranding of the

Atlantic white-sided dolphin, Lagenorhynchus acutus, these authors found 14 of 30 examined mature females to be infected by the nematode Crassicauda grampicola in the mammary glands. Some individuals had organs which were sufficiently damaged so that milk production and possibly quality could have been affected. This would not cause mortality to the infected individual, but may reduce calf survivorship and consequently herd productivity.

Crassicauda sp. has also been found to be an important parasite in the skulls of spotted dolphins in the eastern tropical Pacific. Dailey and Perrin (1973) found, in a sample of 129 skulls, that the percentage of lesions due to Crassicauda sp. decreased with age in older animals. Near-term fetuses and neonatals had 0% lesions, calves - 44.4%, subadults - 11.1% and adults 7.1%. Such damage is irreversible and these results clearly imply that animals are dying due to Crassicauda infection or a condition related to its occurrence. Perrin and Powers (1980) have analyzed the skulls of 704 spotted dolphins to assess the number with severe nematode related damage. They used a simple model of infection and mortality to estimate that the percentage mortality due to Crassicauda sp. or a related cause was approximately 1% per year for animals having at least eight dentinal layers (possibly years). Using another of their model fits, mortality could be as high as 3% per year for animals having five dentinal layers or more. This is an important development in the study of parasitism as a factor in the natural mortality of dolphins. More studies of this type, where damage due to parasitism is irreversible, are needed.

It seems clear that parasitism in dolphins is the major element in natural mortality. Not only is it wide spread, Johnston and Ridgeway (1969) noted "striking incidence of parasitism", but some parasites can reduce survival. Geraci, Dailey and St. Aubin (1978) state that few parasites have been shown to cause more than local disturbance, exceptions being lung parasites associated with pneumonia and cranial nematodes such as Crassicauda sp. Probably other parasites do induce mortality, e.g. Crassicauda grampicola in mammary tissue, Stenurus spp. in auditory organs and Campula spp. in pancreatic tissue, but this has not yet been actively demonstrated.

PRIMARY AND SECONDARY CAUSES OF MORTALITY

Although this short review has been sectioned into non - parasitic disease, predation and parasitic disease, the three parts are inseparable in practice. Diseased individuals will be less fit and therefore more likely to succumb to other diseases and/or predation. Similarly animals attacked by predators may be more susceptible to infection through the injuries they receive. In general, weaker animals will be at greater risk from natural mortality factors than stronger animals. This includes the young and the old as well as the sick. Pathologists often have problems determining the cause of death of marine mammals which become stranded ashore. There is frequently more than a single contributing factor and these may be listed as primary and secondary causes of death (Stroud and Roffe, 1979).

NATURAL MORTALITY RATES OF DOLPHINS AFFECTED BY THE PURSE SEINE TUNA FISHERY IN THE EASTERN TROPICAL PACIFIC

The dolphin species most often killed by the fishery for tuna in the eastern Pacific are the spotted dolphin, *Stenella attenuata*, the spinner dolphin, *S. longirostris*, and the common dolphin, *Delphinus delphis*. The effect of dolphin mortality on the tuna fishery through the interaction between the populations of yellowfin tuna and dolphins and the restrictions imposed upon the fishery by the U.S. Marine Mammal Protection Act of 1972 (MMPA) necessitate a clear understanding of the dynamics of the populations involved. For the last three decades, the Inter-American Tropical Tuna Commission has researched the population dynamics of yellowfin tuna in the eastern Pacific. Research into dolphin population dynamics in this area is a relatively recent concern, however, initiated primarily by the passage of the MMPA (1972).

Most of the work has been in preparation for, or as a result of, two workshops convened by the U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS) in La Jolla, California, SWFC (1976) and Smith (1979), to fulfil their obligations to the MMPA (1972). In 1979, rates of natural mortality were assumed to be approximately equal to the gross reproductive rates for lightly exploited populations, based on the thesis that these were more or less at equilibrium with their environment. Natural mortality rates could not be estimated directly due to lack of data. Rates

found to be reasonable were of the order of 10% per year.

The failure of the most recent workshop (Smith, 1979) to produce direct estimates of natural mortality is an accurate representation of this problem in general. Data do not exist which allow these estimates to be made, because they are so difficult to collect. The problem could perhaps be approached in two ways. The first, and best, would be to be able to sample an unexploited or lightly exploited population assumed to be at equilibrium over all age classes such that a comprehensive life table could be constructed. Then, using reproductive data from this sample, rates of natural mortality could readily be calculated. The second approach would be to try to assess the cumulative quantitative effects of the constituent elements of natural mortality; non-parasitic disease, parasitism , predation and, possibly, old age. Clearly, neither of these methods can be undertaken lightly.

For the first approach, data are usually collected from exploited populations which are unlikely to be at equilibrium. Neither is the sample likely to be representative of the population due either to insufficient sample size or to selective sampling. Nevertheless, the work on the estimation of growth and reproductive rates of Stenella spp. and D. delphis is a basis for further work (Perrin, Coe and Zweifel, 1976; Perrin, Miller and Sloan, 1977; Perrin, Holts and Miller, 1977; Perrin and Henderson, 1979; Henderson, Perrin and Miller, 1980).

For the second approach, much has been written of parasites found in and on dolphins. There are several documented instances of dolphins suffering from non-parasitic disease and there are a few reports of predation upon dolphins. However, the work of Perrin and Powers (1980) on Crassicauda sp. in Stenella attenuata is the only known attempt to estimate a rate of mortality due to natural causes.

Ohsumi (1979) has attempted to draw some general conclusions concerning cetacean natural mortality rates. He plotted maximum body length against estimated natural mortality rate for several species of whale showing an inverse relationship. However, his estimates of mortality for the dolphin species may be too high and the relationship not as close as it seems.

Faced with such difficulties in collecting basic information, more interesting questions such as whether natural mortality is density

dependent in dolphins, and if so in what form, must remain unanswered except by theoretical considerations.

LITERATURE CITED

- Caldwell, D.K., Caldwell, M.C., Woodward, J.C., Ajello, L., Kaplan, W. and McClure, H.M. 1975. Lobomycosis as a disease of the Atlantic bottlenosed dolphin (Tursiops truncatus Montagu, 1821). Am. J. Trop. Med. Hyg. 24(1), 105-114.
- Cowan, D.F. and Walker, W.A. 1979. Disease factors in Stenella attenuata and Stenella longirostris taken in the eastern tropical Pacific tuna purse seine fishery. SWFC Admin. Rep. LJ-79-32C.
- Dailey, M.D. and Perrin, W.F. 1973. Helminth parasites of porpoises of the genus Stenella in the eastern tropical Pacific, with description of two new species: Mastigonema stenellae (Nematoda: spiruroidea) and Zalophotrema pacificum (Trematoda: Digenea). Fish. Bull. 71(2), 455-471.
- Dailey, M.D. and Walker, W.A. 1978. Parasitism as a factor (?) in single strandings of southern California cetaceans. J. Parasit. 64(4), 593-96.
- Delyamure, S.L. 1955. Helminthofauna of marine mammals. Academy of Sciences of the U.S.S.R. Laboratory of Helminthology Ed. K.I. Skrjabin. (Translated from Russian)
- Geraci, J.R. 1979. The role of parasites in marine mammals along the New England coast. In "Biology of Marine Mammals - insights through strandings" - Ed. J.B. Geraci and D.J. St. Aubin.
- Geraci, J.R., Dailey, M.D. and St. Aubin, D.J. (1978). Parasitic mastitis in the Atlantic white-sided dolphin, Lagenorhynchus acutus, with implications of its role in reproductive success. J. Fish. Res. Board Can. 35, 1350-55.
- Geraci, J.R., Testaverde, S.A., St. Aubin, D.J. and Loop, T.H. 1974. A mass stranding of the Atlantic white-sided dolphin, Lagenorhynchus acutus - a study into pathobiology and life history. Report to the Marine Mammal Commission, MMC-47.
- Grey, Z. 1927. Tales of swordfish and tunas. Harper and Brothers, N.Y.
- Henderson, J.R., Perrin, W.F. and Miller, R.B. 1980. Rates of gross annual production in dolphin populations (Stenella spp. and Delphinus delphis) in the eastern tropical Pacific 1973-78. SWFC

- Admin. Rep. No. LJ-80-02.
- Johnston, D.G. and Ridgeway, S.H. 1969. Parasitism in some marine mammals. J. Am. Vet. Med. Assn. 155(7), 1064-72.
- Kagei, N., Oshima, T. and Takemura, A. 1967. Survey of Anisakis spp. (Anisakinae, Nematoda) on marine mammals in the coast of Japan. Japanese Journal of Parasitology 16(6), 427-35.
- Leatherwood, J.S., Perrin, W.F., Garvie, R.L. and La Grange, J.C. 1971. Observations of sharks attacking porpoises (Stenella spp. and Dolphinus c.f. D. delphis). San Diego, California Naval Underseas Center Technical Publication No. 908.
- Migaki, G., Valerio, M.G., Irvine, B. and Garner, F.M. 1971. Lobo's disease in an Atlantic bottlenosed dolphin. J. Am. Vet. Med. Assn. 159(5), 578-82.
- Morejohn, G.V. The natural history of Dall's porpoise in the north Pacific ocean. In "Behavior of marine mammals: current perspectives in research, 3: Cetaceans." edited by Winn, H.E. and Olla, B.L. Plenum Press, N.Y.
- Norris, K.S. and Prescott, J.H. 1961. Observations on Pacific cetaceans of Californian and Mexican waters. U.C. Pub. Zool., Berkeley 63, 292-402.
- Ohsumi, S. 1979. Interspecies relationships among some biological parameters in cetaceans and estimation of the natural mortality coefficient of the southern hemisphere minke whale. Rep. Int. Whal. Commn 29, 397-406.
- Perrin, W.F., Coe, J.M. and Zweifel, J.R. 1976. Growth and reproduction of the spotted porpoise, Stenella attenuata, in the offshore eastern tropical Pacific. Fishery Bulletin 74(2), 229-269.
- Perrin, W.F. and Henderson, J.R. 1979. Growth and reproductive rates in two populations of spinner dolphins, Stenella longirostris, with different histories of exploitation. SWFC Admin. Rep. No. LJ-79-29.
- Perrin, W.F., Holts, D.B. and Miller, R.B. 1977. Growth and reproduction of the eastern spinner dolphin, a geographical form of Stenella longirostris in the eastern tropical Pacific. Fishery Bulletin 75(4), 725-750.
- Perrin, W.F., Miller, R.B. and Sloan, P.A. 1977. Reproductive parameters of the offshore spotted dolphin, a geographical form of Stenella

- attenuata in the eastern tropical Pacific, 1973-75. Fish. Bull. 75(3), 629-633.
- Perrin, W.F. and Powers, J.E. 1980. Role of a nematode in natural mortality of spotted dolphins. J. Wildl. Manage. 44(4), 960-963.
- Perryman, W.L. and Foster, T.C. 1980. Preliminary report on predation by small whales, mainly the false killer whale, Pseudorca crassidens, on dolphins (Stenella spp. and Delphinus delphis) in the eastern tropical Pacific. SWFC Admin. Rep. LJ-80-05.
- Pike, G.C. and MacAskie, I.B. 1969. Marine mammals of British Columbia. Fish. Res. Bd. Can. Bull. 171, 54 pp.
- Reysenbach de Haan, F.W. 1957. Hearing in whales. Acta Otolaryngologica, Suppl. 134, 114 pp.
- Ridgeway, H. and Dailey, M.D. 1972. Cerebral and cerebellar involvement of trematode parasites in dolphins and their possible role in stranding. Journal of Wildlife Diseases 8, 33-43.
- Ridgeway, S.H. and Johnston, D.G. 1965. Two interesting disease cases in wild cetaceans. Am. Journal Vet. Res. 26(112), 771-5.
- Slijper, E.J. 1962. Whales. Cornell Univ. Press, N.Y.
- Smith, T.D. (editor) 1979. Report of the status of porpoise stocks workshop. SWFC Admin. Rep. No. LJ-79-41.
- Stroud, R.K. and Roffe, T.J. 1979. Causes of death in marine mammals stranded along the Oregon coast. Journal of Wildlife Diseases 15, 91-97.
- SWFC. 1976. Report on the workshop of stock assessment of porpoises involved in the eastern Pacific yellowfin tuna fishery. SWFC. Administrative Report No. LJ-76-29.
- Tomilin, A.G. and Smyshlyayev, M.I. 1968. Some factors affecting whale mortality (Diseases of Cetaceans). Byulleten Moskovskogo Obshchestva Ispyutateley Priorody. Otdel Biologicheskiy 3, 5-12. (Translated from Russian).
- Wood, F.G., Caldwell, D.K. and Caldwell, M.C. 1970. Behavioral interaction between porpoises and sharks. In "Investigations on Cetacea" Ed. G. Pilleri II, 264-77.
- Wursig, B. and Wursig, M. 1980. Behavior and ecology of the dusky dolphin Lagenorhynchus obscurus in the south Atlantic. Fish. Bull. 77(4), 871-890.

APPENDIX 3

ABUNDANCE ESTIMATION OF DOLPHINS  
IN THE EASTERN TROPICAL PACIFIC  
WITH LINE TRANSECT SAMPLING

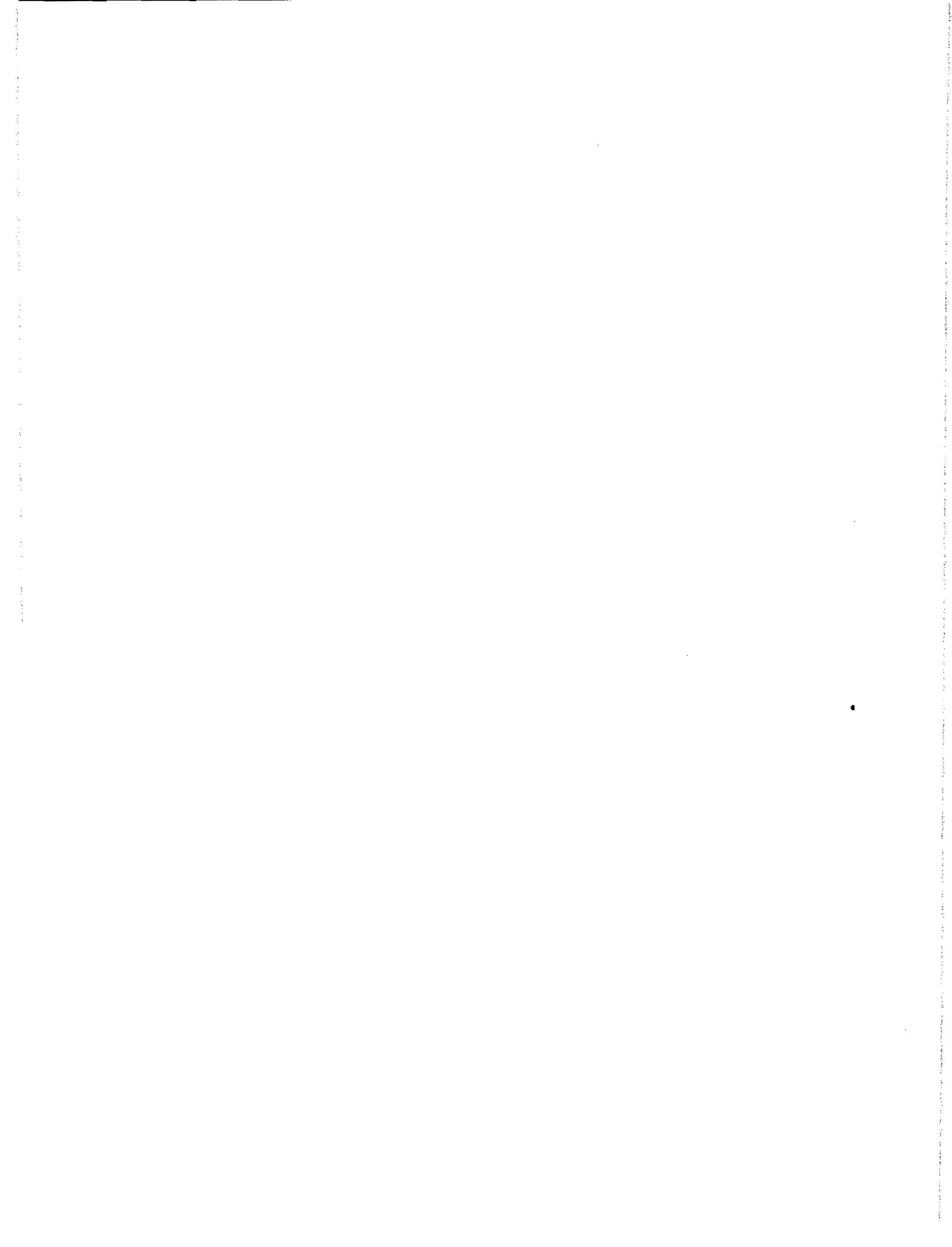
A comparison of the techniques  
and suggestions for future research

Jeffrey L. Laake

Inter-American Tropical Tuna Commission  
La Jolla, California, USA

Review paper prepared for the  
Tuna-Dolphin Workshop

Managua, Nicaragua  
April 6-10, 1981



### INTRODUCTION

The importance of multi-species management has only recently been stressed in the ecological literature (May et al. 1979) and recognized by agencies managing natural resources. The management of yellowfin tuna (Thunnus albacares) and the various species of dolphins associated with them in the eastern tropical Pacific Ocean (ETP) is a perfect example of the need for multi-species management (Allen 1961). Multi-species management requires a basic understanding of the population dynamics of each species and how these dynamics are affected by the physical environment, by the interactions of the species and by man's harvesting.

However, to study even the most fundamental aspect of population dynamics it is necessary to know the abundance of the population (either density (numbers per unit area) or numbers of animals). Andrewartha (1961) emphasizes this when he states that "... whatever the aspect of ecology that is being emphasized, the first essential for good work is to know how many animals there are in the area that you are studying..."

Population abundance in some rare instances can be attained by counting each individual in the population, but in most cases we must rely on a sample for an estimate. The sample must be both unbiased (representative of the population) and large enough to provide an accurate and precise estimate of the true or absolute abundance. In some instances it is not possible to ensure that the sample is unbiased; however, if the bias can be assumed to be constant, the estimates can be used to represent relative abundance for comparisons between areas or time periods. Management objectives should dictate whether an absolute or relative abundance estimate is necessary. In either case it is important to identify sources of bias.

Sampling can be achieved by a variety of methods to enable estimation of abundance. Of all the methods available, line transect sampling has proved to be the most useful for estimating the abundance of dolphin populations in the ETP. Its use was first attempted by Smith (1975) who performed an analysis on data collected in 1974 from aerial, research vessel and fishing vessel surveys. Subsequently, Holt and Powers (1979) did an extensive analysis based mostly on aerial and research vessel surveys conducted in 1977 and 1979 and to a small extent on fishing

vessel surveys, and Hammond (1981) constructed estimates from fishing vessel surveys during 1977-1979. Each of these studies have illustrated that there are problems in applying line transect sampling to dolphin populations. In this paper, the different techniques by which line transect sampling has been applied are examined and compared and research is suggested to address the problems that have been encountered.

#### REVIEW OF LINE TRANSECT SAMPLING THEORY

Before discussing how line transect sampling is applied to dolphin populations, a brief review of the concepts and theory will be given. For a more thorough discussion of line transect sampling refer to Burnham *et al.* (1980).

Line transect sampling is a direct sampling technique (in contrast to mark-recapture or change-in-ratio methods) in which the animals are directly observed and counted in a sample of the area that the population inhabits. Direct sampling techniques are based on the following concepts and assumptions. It is presumed that a population of animals inhabit an area  $A^*$  and that the goal is to estimate  $N^*$ , which is the number of individuals in the population. A sample area,  $A$  (e.g., a set of rectangular strips, quadrats, or circular plots), is chosen from the total area  $A^*$ . The number of animals in the sample area is  $N$  and these are observed and counted. Since the goal is to estimate  $N^*$  or  $D^* = N^*/A^*$ , it is necessary to relate the sample to the population. If the sample density,  $D = N/A$ , is representative of the population then the expected value of  $D$  should be  $D^*$ ,

$$E(D) = D^*$$

which allows the number of animals in the population to be estimated by

$$N^* = DA^*$$

This relationship is valid if the following assumptions hold:

Assumption (1) The total area ( $A^*$ ) is sampled randomly or the population of animals ( $N^*$ ) is distributed randomly over the area.

Assumption (2) The animals do not move or the sampling of the area occurs instantaneously with regard to any movement.

Assumption (3) The number of animals ( $N$ ) in the sample area ( $A$ ) can be determined without error.

Assumptions (1) and (2) jointly assure that the probability an animal is in the sample area,  $A$ , is equal to  $A/A^*$ . In this sense, the sample area is representative.

The first assumption assures that the choice of the sample area is representative of the total area in terms of the density of animals. This can be accomplished by assuming the population is randomly distributed in which case the choice of the sample area is irrelevant because the average population density is the same for all areas, or by assuming that the sample area is chosen randomly in which case, on the average, the density in the sample area will represent the population density. Most animal populations are not distributed randomly over the entire area they inhabit and thus an assumption of random sampling is usually invoked. In most cases, a systematic sample will suffice, unless the systematic nature of the sample is correlated with an environmental variable which affects density. In most designed surveys, random sampling can be accomplished and assumption (1) does not pose a problem.

The second assumption assures that the number of animals in the sample area remains constant while the sampling is performed. Animals, which move randomly with respect to the observer performing the sampling, have a higher probability of being counted in the sample area than if they were stationary (Koopman 1980, Schweder 1976). This should not be critical unless the speed of the animals is much greater than the rate at which the area is sampled. If animals move non-randomly into or out of the sample area in response to the observer without the observer's knowledge, then the density is no longer representative of the total area. If this type of movement occurs often it will cause a bias much greater than that from random movement.

Assumption (3) is necessary to assure that the density in the sample area is recorded accurately. This requires that animals must be counted only once and none may be missed. Counting an individual animal

more than once can be avoided if the individual can be recognized or if its position is known at all times. In most circumstances, it is not an extreme problem. However, counting all of the animals in the sample area may be rather difficult. Anderson and Pospahala (1970) sampled for duck nests with strip transects in which an observer searched for nests on both sides of a line, out to a perpendicular distance of 8.25 feet. They found that a considerable portion of the nests were missed even with such a narrow strip. Thus, the number ( $n$ ) which are observed and counted is very likely to be an underestimate of the number in the sample area ( $N$ ).

This realization is the basis for line transect sampling. In line transect sampling it is recognized that, for a number of reasons, animals will be missed in the sample area. If animals are only counted once, then the number of animals ( $n$ ) which are counted is the product of the number of animals ( $N$ ) in the area and the probability ( $P$ ) of seeing an animal. If  $P$  is known or can be estimated, then it is not necessary to assure that all animals are seen in the sample area, because an estimate of  $N$  can be constructed as

$$N = n/P ,$$

and the estimate of the sample density as

$$D = N/A = n/AP .$$

The estimation of  $P$  is the central concept of line transect sampling. In other direct sampling techniques, such as strip or quadrat sampling,  $P$  is assumed to be unity. The following material will discuss the concepts and the necessary assumptions for the estimation of  $P$ .

Similar to strip transects, line transect sampling is performed by one or more observers who travel along a line of length  $L$ , and search for animals out to a perpendicular distance,  $W$ , on either side of the line ( $A = 2LW$ ). It is not necessary that  $W$  be defined because it can be treated effectively as infinite in the analysis. However, unlike strip transects, the perpendicular distance ( $x$ ) from the line to each observed animal is recorded (regardless of which side of the line). This can be

accomplished by measuring the perpendicular distance directly or by computing it from the measured sighting distance and sighting angle (Figure 1). These perpendicular distances provide the basis for estimating P.

In the process of sampling the area, some animals will be seen and others missed. It would seem reasonable that all of the animals very close to the line ( $x = 0$ ) would be seen (with a probability of unity) and that those farther away would be less likely to be seen. Consider a function  $g(x)$  which represents the probability of seeing an animal which is in an interval of perpendicular distance,  $x+dx$ , from the line (Figure 2). This can be expressed specifically as

$$\Pr(\text{animal is seen} \mid \text{it is in the interval } x+dx) = g(x).$$

Consider another function  $h(x)$  such that

$$\Pr(\text{an animal is in the interval } x+dx) = h(x)dx.$$

The product of these two functions is

$$\Pr(\text{an animal is seen in the interval } x+dx) = g(x)h(x)dx.$$

The sum of these probabilities over all distance intervals is the probability (P) of seeing an animal in the sample area. For continuous data, this can be represented by the following integral:

$$P = \int_0^W g(x)h(x)dx.$$

This provides a functional description of P, so the next step is to develop a way of estimating it from the data.

Seber (1973) showed that the probability density function (pdf) or, likewise, the sampling distribution of the perpendicular distances,  $f(x)$ , is related to P. He showed that

$$\Pr(\text{an animal is seen in } x+dx \mid \text{it was seen}) = f(x)dx,$$

which is equal to

$$\Pr(\text{an animal is seen in } x+dx) / \Pr(\text{animal is seen}).$$

This is equivalent to

$$f(x)dx = \frac{g(x) h(x) dx}{\int_0^W g(x) h(x) dx}$$
$$= \frac{g(x) h(x) dx}{P}$$

This provides a conceptual basis for estimating P from the observed perpendicular distances.

The development given above is slightly more general than that given by Seber (1973). He assumed that  $h(x)$  was the uniform distribution. This is true if assumptions (1) and (2) given previously are met. These assumptions were originally stated to ensure that the sample density was representative; however, they also ensure that an animal is equally likely to be located at any perpendicular distance from the line. More specifically, these assumptions assure that the probability an animal is in the area is  $A/A^*$ , and as well, they assure the probability an animal is in  $x+dx$  within the sample area is  $2Ldx/2LW$  which is equal to  $dx/W$ . With the assumption that  $h(x)$  is uniform, the function  $f(x)$  becomes

$$f(x) = \frac{g(x) \frac{1}{W}}{\int_0^W g(x) \frac{1}{W} dx}$$

or likewise

$$f(x) = \frac{g(x)}{WP}$$

Burnham and Anderson (1976) showed that if

Assumption (4) all animals close to the line are seen,

$$g(0) = 1,$$

then

$$f(0) = \frac{1}{WP}$$

and

$$D = \frac{n}{2LWP}$$

$$= \frac{nf(0)}{2L}$$

This shows that P and then D can be estimated from  $f(0)$ , which is the value at the origin ( $x = 0$ ) of the pdf of perpendicular distances.

An unbiased estimate of density is only possible if an unbiased estimate of  $f(0)$  can be made. This requires that either  $f(x)$  is completely known or that it can be estimated adequately from the data, at least near  $x = 0$ . Rarely would  $f(x)$  be completely known and at best the parameters of a known functional form would have to be estimated from the data. Therefore, it is necessary that

Assumption (5) all measurement of distance must be without error,

so that the recorded distances reflect accurately the distribution  $f(x)$ . This assumption can be relaxed if the distances can be recorded correctly into discrete intervals. An analysis can then be performed on the grouped data, rather than the individual measurements.

An estimate of the sampling variance for density as given by Burnham et al. (1980) is

$$\text{Var}(D) = D^2(CV^2(n) + CV^2(f(0)))$$

where

$$CV^2(n) = \text{Var}(n) / n^2$$

and

$$CV^2(f(0)) = \text{Var}(f(0)) / (f(0))^2$$

This will provide a valid estimate of the variance if

Assumption (6) sightings are independent events.

A situation which obviously violates assumption (6) is when animals are clustered in schools or groups. This problem has been examined by several authors (Hayes 1977, Burnham *et al.* 1980, Quinn 1980). In this situation the clusters are treated as the objects which are sighted independently. The number of sightings ( $n$ ) is the number of sighted clusters and the perpendicular distance is recorded to the cluster center. These distances are used to estimate  $f(0)$  and to construct an estimate of the density of clusters ( $D_c$ ). An average cluster size ( $\bar{C}$ ) is calculated and the density of animals is simply,

$$D = d_c \bar{C}$$

$$= nf(0) \frac{\bar{C}}{2L}$$

The estimate of  $D$  is unbiased if the above assumptions are met for  $D_c$  and if  $\bar{C}$  is an unbiased estimate of the true average cluster size. For the latter to be true the following assumptions are required,

Assumption (7) Cluster size is measured without error,

Assumption (8) The size of the cluster does not affect its probability of being detected.

An estimate of the sampling variance for  $D$  can be constructed by

$$\text{Var}(D) = D^2(CV^2_{D_c}) + CV^2(\bar{C})$$

assuming that  $D_c$  and  $\bar{C}$  are independent statistics and that the cross-product of the variances is ignored (Seber 1973).

COMPARISON OF TECHNIQUES FOR APPLICATION  
OF LINE TRANSECT SAMPLING FOR ESTIMATION OF THE ABUNDANCE  
OF DOLPHINS IN THE ETP

The application of line transect sampling theory requires a population and area, a survey technique to implement the sampling, and a method for data analysis. The reliability of the theory for the particular application is a result of the precision of the estimate and how well the assumptions are satisfied. This general framework will be used to describe and compare the various ways line transect sampling has been applied to estimate dolphin abundance in the eastern tropical Pacific (ETP).

Population and Area Description

There is a wide variety of species of dolphin in the ETP; however, only four species are involved with the tuna fishery to any extent. These are the spotted dolphin (*Stenella attenuata*), the spinner dolphin (*Stenella longirostris*), the common dolphin (*Delphinus delphis*), and the striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*). Various management units have been recognized for each species and population estimates are needed for each of these.

The dolphins travel in schools ranging from one or more individuals to possibly several thousand. Thus, both the density of schools and average school size must be estimated. The areas inhabited by the different species overlap, requiring species identifications to be made based on physical characteristics. To further complicate matters, the schools may be a combination of more than one species. This occurs most often with spinner and spotted dolphins.

The area, A\*, that these populations inhabit has not been clearly defined. The area that was used by Holt and Powers (1979) was defined on the basis of the limits of sightings of the major species from tuna fishing vessels and research vessels. This area is illustrated in Figure 3. Au et al. (1979) discuss various oceanographic features which are correlated with the distribution of the species and which suggest

that the area in Figure 3 may be the major extent of the distribution. However, if the area in Figure 3 is a subset of the total area that the populations inhabit, any estimate of numbers might be biased negatively. The extent to which this would affect management decisions would depend on the proportion of the population being sampled and the degree of mixing between sections of the populations. In theory, an area much larger than that possibly inhabited by the populations could be treated as A\* and it could be sampled and an unbiased estimate constructed. However, the size of the present area makes it difficult to obtain an acceptable sample. The area presented in Figure 3 is approximately 5.6 million square nautical miles, which is slightly larger than the continent of South America or more than twice the size of the United States.

#### Survey Techniques

There are numerous ways of implementing line transect sampling because of its general nature. Any technique for implementation is suitable if it does not violate the assumptions. Three different survey techniques have been used for line transect sampling of dolphins and these are a direct result of the three platforms used for observation: (1) aircraft, (2) research vessel and (3) tuna fishing vessel. The characteristics of each of these platforms and the way they have been used to survey the area greatly affect their usefulness for line transect sampling. In this section, the survey techniques will be described and compared in reference to their usefulness in providing an unbiased and precise estimate.

Three aerial surveys for dolphins have been conducted by the U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS) in 1974, 1977 and 1979. Barham (1977) and Jackson (1979) describe the methodology used in these surveys. The general technique is to survey along a predetermined track line by searching below and to the sides of a suitable aircraft. When a sighting is made, the perpendicular distance to the school is recorded. The school is then circled at a lower altitude to identify the species and estimate school size. The track lines are chosen as a systematic or representative sample of the area near the coast and are placed to enable convenient flights from the various airports. The aircraft used

in the past surveys have been the Grumman Goose, the P2V and the PBY. They were all high-winged aircraft which provided good downward visibility. The P2V and PBY excelled in downward visibility because they also had a glass port in the nose of the aircraft which allowed an observer to see directly below the aircraft. The aircraft were flown at speeds ranging from 100 to 200 knots and at an altitude of approximately 900 to 1000 feet. The perpendicular distances were either estimated visually or computed with a Global Navigational System (GNS) to the nearest .1 nautical mile. The distance to schools close to the line was usually estimated (Holt and Powers 1981). The transect lines were usually flown 600 nautical miles offshore but at times ranged as much as 1000 nautical miles off the coast (Figure 3).

Research ships (R/V David Starr Jordan and R/V Townsend Cromwell) have also been used by the NMFS on several occasions for line transect sampling of dolphins. They have been used mainly to cover the offshore area which was inaccessible to aircraft and to ascertain the limits of the distribution of the dolphins. Also, in 1979 an inshore area was searched both by research vessels and an aircraft to compare estimates between the two platforms.

Au (1977) gives a description of the procedures used in one of the research cruises. Briefly, the vessel is used to search for approximately 12 hours a day while following a predetermined track at speeds of around 10 knots. Searching is performed by observers who use high-power spotting binoculars, hand-held binoculars and the naked eye. When a sighting is made the sighting distance and sighting angle (Figure 1) are estimated. Then an attempt is made to approach the school for species identification and school size estimation. The ship returns to its previous course and continues searching after it is finished with each sighting.

Surveys from tuna fishing vessels have been a result of an "observer" program in which a technician aboard a vessel records information about sightings while the vessel is used for fishing. The data collected in this fashion are quite plentiful for the years from 1974 to the present. The location of the track searched is determined on the basis of where the best fishing can be encountered. The searching is usually done exclusively by the fishermen using high-power spotting

binoculars with the exception that the technician may use hand-held binoculars or the naked eye to search also. On some vessels a helicopter is also used for searching. When a sighting is made of a school of dolphins or group of birds associated with dolphins, the sighting distance and angle are estimated. If it appears promising for catching tuna the vessel is turned towards the sighting. If not, the vessel continues searching. In either case, the technician attempts to identify the species and make an estimate of school size. If the vessel attempts a set on the school of dolphins to catch the tuna the technician can much more easily collect the necessary information.

Each of the above survey techniques, in general, meets the requirements of line transect sampling; however, each technique also has the possibility of violating one or more of the assumptions.

Problems with the assumption of representative sample density

The sample density is representative of the total area if the probability an animal is in the sample area is equal to  $A/A^*$ . This can be assured with an appropriate choice of the sampling area and a relatively stationary animal population which does not move in or out of the sample area. In line transect sampling, the width of the sample area  $A$  can effectively extend to the horizon, such that movement in and out of the area is negligible. The movement only really affects the distribution (i.e.,  $h(x)$ ) within the sample area. Thus, animal movement will be discussed later with the problems of estimating the sample density accurately. This is a slight distinction and this classification of assumptions has been chosen mostly for convenience. This section will only discuss the manner in which the sample is chosen.

Since there are obvious differences in the productivity and oceanographic features of the various areas of the ETP, which may affect the distribution of dolphins (Au *et al.* 1979), the density of the various species of dolphins cannot be assumed to be uniform over the entire area. Thus, it is necessary that the entire area be searched randomly to assure that the sample density is representative.

A land-based aerial survey will have problems providing a random sample of the entire area unless very long-range aircraft can be used. Figure 3 illustrates that the majority of the offshore area was not

sampled by the aircraft in the 1979 NMFS survey. The inshore area can be sampled randomly by aircraft with a suitable design. However, it would be inappropriate to use that estimate for the entire area because of the possible differences in density between inshore and offshore areas.

The NMFS recognized this problem and used research vessels to survey the area that the aircraft was unable to survey. Research vessels are capable of surveying the entire area and they can follow a predetermined track which can be chosen randomly or systematically.

Fishing vessels are also capable of surveying the entire area; however, they do not follow a predetermined line which is chosen randomly. Fishermen would obviously like to find the areas of the greatest abundance of tuna to maximize their yield. Seeing that yellowfin tuna associate with dolphins, fishermen are likely to search for areas of the highest abundance of dolphins which are associated with tuna. In other instances, they may search for tuna which are not associated with dolphins which could be in areas of relatively low dolphin density. If they are successful in searching for areas of either high or low dolphin density, then assumption (1) will not be satisfied and the density estimate would be biased. The bias would not remain constant unless the searching pattern remained constant.

Hammond (1981) has examined the problem of non-random searching by fishing vessels. He stratified the ETP into  $5^{\circ}$  squares and regressed the number of sightings of a particular species in a strata as a function of searching effort. Then he tested whether the relationship indicated a non-random searching pattern. Probably due to lack of power, the tests for the most part could not significantly reject the null hypothesis of random searching. However, the trend seemed to indicate that more effort was expended in areas of apparently low dolphin density and this was most evident in years when fishing was primarily concentrated for "schoolfish." Hammond (1981) identified areas where fishing was primarily for "schoolfish" and others where fishing was primarily for tuna associated with dolphins. Then he looked at non-random searching within the areas where fishing was for tuna associated with dolphins. Again his tests for the most part could not significantly reject a random searching hypothesis; however, in these areas the trend

indicated that searching may be more concentrated in the areas of highest dolphin density. Further stratification to  $1^{\circ}$  squares, in a year and an area selected to maximize sample size, once again showed that random searching could not be rejected as a null hypothesis.

However, these results were from a preliminary analysis only and were not intended as a definitive answer to the problem. If it can be shown that fishing vessels are able to search non-randomly then some type of stratification scheme will be necessary to analyze the data. However, it must not be overlooked that fishermen as a whole may be effectively searching at random. Further research in this area is definitely needed.

#### Problems with unbiased estimation of sample density

An unbiased estimate of the density of schools can be obtained if: (1) schools are never counted more than once, (2)  $g(0) = 1$ , (3)  $h(x)$  is the uniform distribution, (4) distances are measured without error, and (5)  $f(x)$  can be modeled adequately.

If schools are counted more than once on the same transect, then a upward bias in the density would result. This is only a problem in surveys when an animal or cluster of animals is sighted and they travel further down the line and are sighted again without the recognition of the observer. This is not a problem with either research vessel or aerial surveys. It could be a potential problem with fishing vessel surveys because the vessel is delayed during a set, and when it continues on after the set the observer could sight the school the vessel just set on. This would only be a practical problem if the vessel purposefully followed the same school; however, this could be noted by the technician and deleted from the data.

The major problems with the survey techniques are in satisfying the assumptions about  $g(x)$  and  $h(x)$ . As shown previously, the estimate of the density of schools is based on an estimate of  $P$ , the average probability of sighting a school. The quantity  $P$  can be estimated from  $f(0)$ , if  $g(0) = 1$  and  $h(x)$  is uniform. If this is not the case then

$$f(0) = \frac{g(0) h(0)}{\int_0^w g(x) h(x) dx}$$

$$= \frac{g(0) h(0)}{P}$$

for whatever relevant values of  $g(0)$  and  $h(0)$ . This illustrates that movement near the line and the animals missed near the line are the most critical because they affect  $g(0)$  and  $h(0)$ . It is also worth emphasizing that the observed data are a result of the distribution  $f(x)$  which is a product of two distributions  $g(x)$  and  $h(x)$ . Unless  $g(x)$  or  $h(x)$  is known, inferences can not be made about the other on the basis of the observed data. In particular, if  $g(x)$  is not known then the observed data cannot be used to make inferences about the amount of movement which is occurring.

The distribution  $h(x)$  has been assumed to be uniform on the basis of random line placement and a stationary animal population. The possible non-random searching of fishing vessels may create an artificially high probability of including a school in the sample area (i.e., greater than  $A/A^*$ ), but within the sample area a school should be equally likely to be located at any perpendicular distance with respect to the line. This could only be affected if there was some gradient of density with respect to perpendicular distance, such as transect along a road, ridge top or shore line or an equivalent oceanographic cline.

Animal movement will affect the assumption about  $h(x)$ , unless the movement is not noticeable in relation to the rate at which the area is sampled. The function  $h(x)$  will be uniform at any point in time for schools which move randomly with respect to the observer because the schools do not change their perpendicular distance in response to the observer. However, because the probability of sighting a school is greater for schools closer to the line, and because an area is searched over a period of time, an individual school is more likely to be seen at the point at which it is the closest to the line within the time period the area is searched. Thus, the "observed"  $h(x)$  is not uniform and the density will be overestimated because  $h(0)$  will be greater than  $1/W$ . For schools which move non-randomly in response to the observer, the change in  $h(x)$  is more obvious. In this case, the school purposefully changes its perpendicular distance in response to the observer before the observer has a chance to see it. If the movement is in avoidance of the observation platform, the density will be negatively

biased and the opposite will be true for attractive movement.

Movement should not be a problem in an aerial survey. The aircraft is moving at a velocity of at least 100 knots which is quite fast relative to the velocity at which dolphins are capable of traveling. Leatherwood and Ljungblad (1979) recorded maximum velocities of around 12 knots for a spotted dolphin and the average between 2 and 10 knots. Random movement should be negligible and movement in response to the aircraft should not be a problem since the dolphins probably do not react until the plane is directly overhead.

Animal movement in general becomes a greater concern when dealing with surveys from either fishing or research vessels because the vessel speed is usually only around 12 knots. Random movement still may not be a practical problem. Best and Butterworth (1980) using a simple model, showed that with a vessel speed of 12 knots and an assumed minke whale speed of 5 knots the bias was negligible (4%). A much greater concern is movement in response to the vessel, since dolphin species that have been captured by the fishery in the ETP typically flee from the vessel. The NMFS conducted an experiment with a helicopter on a research vessel and found that schools were responding to the vessel and moving away from the line before they were observed (Au and Perryman, in press). The data collected on this cruise were not very extensive and much more are needed before any definitive conclusions could be made about the bias involved. However, in any case the bias will probably be less in fishing vessel surveys because schools are seen sooner at greater distances from the vessel in comparison to research vessel surveys.

The assumption that all schools near the line are seen,  $g(0) = 1$ , is the basic assumption of line transect sampling. Line transect sampling allows for animals away from the line to be missed because of visibility, lack of identification, missing data or any other reason; unlike other direct sampling techniques, such as strip or quadrat sampling, which assume that  $P$  is unity. However, all animals (schools) near the line must be seen and properly recorded so that the estimate will not be biased.

Whether this assumption can be satisfied is the major question in the use of aerial surveys. The aircraft can be equipped with a glass bubble which allows the area directly beneath the aircraft to be

searched but there are conditions in which it may not be possible to see schools. Schools of dolphins are seen from aircraft either because the animals are seen at or near the surface, or because the animals are splashing above the water, or because the school at the surface creates turbulence (a "scar") on calm waters. Animals become extremely difficult to see when there is little water penetration of the light because of sun glare on the water or because of overcast skies. Also if the wind is fairly strong the white caps make it more difficult to distinguish the dolphin splashes. Thus it may be possible that schools may not be seen even if they are close to the surface. Another problem is that the whole school may be submerged and out of sight. However, this is unlikely to happen except with small schools which are feeding below the surface. Also, even if the school is seen on the line, if it can not be identified to species then it is not useful for estimating the density of the individual species. The NMFS has avoided these problems to a certain extent by ignoring small schools (less than 15 dolphins) (Holt and Powers 1979). It has been assumed that all large schools in the vicinity of the line (1) can be seen in all types of conditions, (2) are not entirely submerged, and (3) can always be identified. It has also been assumed that ignoring small schools will not create a major bias because there are not many small schools in the species of interest. This is a less restrictive assumption but it is still an assumption which must be tested.

Assuming that  $g(0) = 1$ , should not really be a problem with vessel surveys. Since the vessel is actually on the surface of the ocean, the only way to miss a school is if it is submerged entirely for the length of time that the vessel has a chance of seeing it or if weather conditions are so extreme that schools cannot be seen within one-tenth of a nautical mile on either side of the vessel. Neither of these conditions are likely to occur during normal survey or fishing operations. The problem in vessel surveys is animal avoidance. It is not very likely that a school of dolphins, which are usually captured for fishing, will allow a vessel to pass close to them. Thus, if sighting conditions are such that the school cannot be sighted at distances at which they are responding to the vessel then schools close to the line may successfully avoid being sighted by the vessel. Even if they are sighted before they

move it may not be possible to successfully approach the school with a research vessel to enable species identification and school size estimation. A different problem exists with fishing vessel surveys because the fishermen are doing the sighting. If a fisherman sights a school at distances which the technician cannot see it, then it is possible that the fishermen may not report this to the technician, or he may report it but the technician may not get a species identification, or school size, or perpendicular distance. Unless a set is attempted, these schools, even if they are near the line, may never be seen by the technician if the school successfully avoids the vessel. Thus, the problem with vessel surveys is animal avoidance which worsens in poor sighting conditions because the animals will not have to move very far to avoid detection, and which hampers efforts to identify schools and to estimate school size.

The final assumption which is necessary for unbiased estimation of the density of schools is that the perpendicular distances are measured without error. The estimates of  $P$  and  $f(0)$  are constructed from the sample of perpendicular distances for the observed schools. It is assumed that these distances reflect information about the probability of seeing a school. If these distances are inaccurately recorded then they reflect the bias in measurement as well. Again it is observations close to the line which are important because  $f(0)$  is affected mainly by these distances. Random error is not important if it is relatively minor. Biased measurement error is always important and it can cause meaningless results, if it is severe.

In aerial surveys the problem of measurement has been overcome to a certain extent. Realizing that the instrumentation was only accurate to 0.1 nautical miles it was decided to group the distance into intervals (Holt and Powers 1979). Since, the GNS system computes perpendicular distances in tenths of nautical miles, the intervals in nautical miles were constructed as 0-0.05, 0.05-0.15, 0.15-0.25. etc. These are fairly reasonable for the GNS system since the error should be symmetric and random (i.e., 0.05 on either side of the measurement). One question which has not received any attention, is whether the estimated distances are being classified correctly into the distance intervals. This is important because most of the distances close to the line are estimated.

If the visual estimates are being misclassified then biases will result. For example, with visual estimates if the distances between 0.0 and 0.075, and between 0.075 and 0.15 are being estimated as 0.0 and 0.1, respectively, then an upward bias will result if these are treated as representing the intervals 0.0 - 0.05 and 0.05 - 0.15.

Measurement error is more critical in vessel surveys because it is dependent on two quantities, the sighting distance and sighting angle. Estimation of distance at sea is difficult because of the lack of reference except for the horizon. The sighting angle can also be difficult to estimate because of the yawing of the vessel from the waves. These distances and angles are estimated for schools which are often initially sighted several miles from the vessel and the errors can be relatively large. Again the measurement of distances close to the line are the most crucial. These distances occur when the sighting angle or distance is relatively small. Errors from small sighting distances are not that important because schools are usually sighted a long way from the vessel; and for those schools seen close to the vessel the distance estimate should be fairly accurate. The estimation of small angles at sighting distances of several miles is very difficult and it can create extreme bias. This was evident in the research vessel survey in 1979 (Holt and Powers, 1979) and in the fishing vessel surveys (Hammond, 1981). In both of these cases it appears that there was a tendency to round angles, as large as  $5^{\circ}$  to zero. As an example, if a sighting is made at 3 nautical miles at  $5^{\circ}$  then the perpendicular distance is .26 nautical miles and this would be rounded to zero if the angle was rounded to zero. The bias increases as the sighting distance increases. This amount of measurement error and bias makes the individual measurements of perpendicular distance meaningless. Some method of classifying the perpendicular distances into intervals is necessary, unless the distance and angle can be measured more accurately.

The remainder of the assumptions necessary for an unbiased estimate of density are those that assure an unbiased estimate of the average school size. The first of these is that school size is measured without error. The estimation of dolphin school size can be a difficult task and particularly for large schools. The average school sizes which have been obtained from these three survey techniques have not been very

similar. This would seem to suggest that there are either measurement errors being made or that a biased sample of the school sizes is being recorded during one or more of the surveys.

Several studies have been performed to determine if the school sizes are being estimated accurately. During aerial surveys, photographs have been compared to visual estimates made during the survey (Holt and Powers, 1979). These studies have indicated that school size can be estimated accurately with a considerable amount of variation, at least during conditions under which photography is possible. A similar study was conducted from a tuna fishing vessel (Allen *et al.*, 1980). In this study visual estimates were made from the vessel and from a helicopter and these were compared to counts from aerial photographs and counts of dolphins captured in the net during the backdown procedure. The results of this study also indicate that school size can be estimated accurately from a vessel. Thus, all the studies seem to indicate that the measurement of school size may involve random errors but the average school size should be unbiased. The problem still remains that there are large differences between sources of information on school size. Hammond (1981) has shown that school size estimates of fishermen for spinner and spotted dolphins have remained relatively constant in the last few years, while the estimates of the technicians have been much lower and declining in the last few years. These are estimates of essentially the same schools.

To explain differences between surveys, it is possible that the simple average of school size is a biased estimate of the true school size in the sample area. This would happen with a violation of the assumption that the probability of detection is not affected by school size. Detection is used in a broad sense to include sighting, identifying and estimating the school size. Thus, if because of its size, a school is physically easier to see, or is more likely to be identified, or have its school size estimated, then biases will result.

In aerial surveys there is a tendency to see large schools at great distances from the line because of the "scars" they create in calm waters. Also, the more animals there are in a school the more "cues" the school creates from jumping and splashing dolphins. Each of these factors will increase the probability that larger schools will be seen

and the average school size will be biased positively. There also might be a tendency to investigate large schools more often and thus they would have a higher probability of being identified and having an estimated school size. This will also create a positive bias.

These same problems also exist with vessel surveys. Larger schools will provide more "cues" and will likely have a higher probability of being detected. However, this may be less important because as Hammond (1981) points out many of the sightings are made because birds are sighted and the number of birds associated with a schools may not be positively correlated with school size. Also, in fishing vessel surveys, the technician is more likely to be successful in collecting information from schools which are set on; if larger schools are more likely to be set on, then a bias will result.

These are undoubtedly only a few of the reasons which might make the probability of "detecting" a school a function of school size. It should be worthwhile to examine the possible reasons closer. Fortunately, there are some methods of resolving this problem which will be discussed later under analysis methods.

The above discussion illustrates that there are problems in satisfying one or more of the assumptions with each survey technique. A designed survey such as with an aircraft or research vessel should obviously have fewer problems satisfying the assumptions than one which is not designed or controlled, such as the fishing vessel surveys. However, the assurance of an unbiased estimate is only one aspect of the estimation procedure. The precision of the estimate is an equally important aspect. A biased estimate can be useful. If the bias is nearly equal to the standard error of the estimate then the confidence interval coverage will not be reduced drastically. Also if the bias remains constant a biased but very precise estimate may provide more information for relative comparisons than an unbiased but highly variable estimate. Thus, it is also necessary to consider the precision which can be provided by a particular technique within cost constraints.

#### Precision of estimation

For any given population and area, the precision of the estimate is a function of the sampling effort ( $L$ ) and the resulting number of

observations ( $n$ ). To illustrate this the variance of the density of dolphins can be written in the following manner:

$$\text{Var}(D) = \left[ D^2 \frac{\text{Var}(n)}{n^2} + \frac{\text{Var}(f(0))}{(f(0))^2} + \frac{\text{Var}(\bar{C})}{\bar{C}^2} \right]$$

which can be expressed as

$$\begin{aligned} \text{Var}(D) &= D^2 \left[ \frac{an}{n^2} + \frac{\sigma_f^2}{n(f(0))^2} + \frac{\sigma_c^2}{n\bar{C}^2} \right] \\ &= \frac{D^2 b}{n} \end{aligned}$$

where

$$b = a + \frac{\sigma_f^2}{(f(0))^2} + \frac{\sigma_c^2}{\bar{C}^2}$$

and where  $an$ ,  $\sigma_f^2/n$  and  $\sigma_c^2/n$  are the variances of  $n$ ,  $f(0)$  and  $\bar{C}$  respectively. Since  $n = 2LD/f(0)\bar{C}$ , the above expression can also be written as

$$\text{Var}(D) = \frac{1}{L} \frac{f(0)D\bar{C}b}{2}$$

which shows the variance of density is also inversely proportional to  $L$ .

The above formula can be used to estimate the amount of effort required to achieve a particular coefficient of variation for density using estimates of  $b$ ,  $f(0)$ , and  $\bar{C}$  from past surveys. The representations for  $n$  and  $L$  as functions of the coefficient of variation of density are

$$n = \frac{b}{\text{CV}^2(D)}$$

and

$$L = \frac{f(0)\bar{C}}{2D} \frac{b}{\text{CV}^2(D)}$$

An estimate of  $b$  will vary depending on the platform and the biases involved in past surveys. Several were calculated from the material given in Holt and Powers (1979) and from some analyses performed on fishing vessel surveys. They have tended to fall in the range of  $b=10$  to 15, which will tentatively be considered as approximations. Using these values, a sample size of 444 and 666 sightings of a species, respectively, would be needed to obtain a 15% coefficient of variation for density. This is large in comparison to the six sightings of eastern spinner dolphin which were made during the 1979 aerial survey. With an analysis of these data with  $b=10$  the expected percent coefficient of variation would be 129%. This is an unacceptable amount of variation from the standpoint of its use for management. Fishing vessel surveys have provided about 100 to 200 sightings of eastern spinners which provides a percent coefficient of variation of 20 to 30%. This same pattern is true for all the species of dolphins of interest. Thus, it is possible to make an estimate with reasonable precision from the sightings of each species from fishing vessel surveys. This is not the case with aerial surveys at the level of effort which has been made in the past and further assumptions were required to analyse the data with reasonable precision.

Since estimates of the necessary line length would require assumptions about  $D$  and  $C$ , and since they are not really relevant for a comparison of techniques, they will not be calculated. A more relevant quantity is the ratio of the line lengths needed for various platforms to achieve the necessary sample size. This provides a measure of efficiency of the platform in terms of miles searched. Assuming each platform provides an unbiased estimate of density, the only variable in the formula for a calculated line length is  $f(0)$ . So the ratio of aircraft line length to vessel line length is

$$\frac{L_p}{L_v} = \frac{f_p(0)}{f_v(0)}$$

A value of 3.5 for  $f(0)$  in aircraft surveys is approximately what Holt and Powers (1979) used for all dolphin schools greater in size than 14. A value of 0.5 is approximately what I have estimated for  $f(0)$  for eastern spinner observations in 1977 for fishing vessel surveys. Using

these two values produces a ratio equal to 7, which means that an aircraft would have to cover 7 times the miles searched by a vessel to produce the same sample size. Not too much emphasis should be placed on the magnitude of this number because it is subject to the biases discussed throughout the last section. However, it is very likely that this ratio is greater than one and vessels are probably more efficient in terms of miles searched.

#### DATA ANALYSIS TECHNIQUES

Regardless of the survey technique, the data which are collected include the number of schools ( $n$ ) of a particular species which are sighted and identified, the perpendicular distances ( $X_i$ ) from the line to each of the schools, the number of individual dolphins in each school ( $C_i$ ), and the length of the line searched ( $L$ ). The goal of the analysis is to obtain a point and interval estimate of density or number of dolphins from these data. The discussion of line transect sampling theory showed that this is possible by estimating  $f(0)$  and  $\bar{C}$  and the variances of  $f(0)$ ,  $\bar{C}$  and  $n$  from the data. The techniques by which this is accomplished will be discussed in this section.

#### Point estimation

A point estimate of  $f(0)$  is attained by modeling the distribution  $f(x)$  and evaluating it at the origin. This "modeling" can be done in a variety of ways. A functional form of  $f(x)$  can be assumed and the values of the unknown parameters estimated from the perpendicular distances. This procedure is analogous to traditional statistical procedures in which a random variable is assumed to be distributed normally and the parameters, the mean and standard deviation, are estimated from the observations. A variety of functional forms (estimators) have been suggested including: negative exponential (Gates *et al.*, 1968), power series (Eberhardt, 1968), half-normal (Quinn, 1976), exponential polynomial (Burnham & *et al.*, 1980), exponential power series (Pollock 1978). These are often referred to as "parametric" models. Another approach is to model  $f(x)$  with a series of functions in which the number of functions is estimated as well as the parameters in the functions. These series estimators include the Fourier series (Crain *et al.*, 1978) and a

series of polynomials (Burnham *et al.*, 1980). These models have been referred to as "non-parametric". These are not the only methods which have been developed and many more will probably be developed in the future. Deciding which one of these estimators to use provides quite a dilemma. Statistical tests like the chi-square goodness of fit will usually not be powerful enough to discriminate between models on the basis of the fit to the data and yet the models may give very different estimates of  $f(0)$ . Thus it is essential to have some criteria on which to base a choice of an estimator of  $f(0)$ .

Realizing this problem Burnham *et al.* (1980) suggested the following four criteria for a useful estimator:

- 1) Model Robustness
- 2) Pooling Robustness
- 3) Functional Shape
- 4) Efficiency

An estimator is defined to be model robust if it can represent a wide variety of underlying shapes of  $f(x)$  and likewise  $g(x)$ . An estimator is defined to be pooling robust if it gives an estimate from the data which are stratified on the basis of some factor (e.g., a variable that affects sighting, such as weather) which is the same as an estimate from all of the data which are unstratified. In practice, a model robust estimator is essentially pooling robust. Burnham *et al.* (1980) also suggest that the estimator should have a functional shape which drops off slowly away from the origin (i.e.,  $f'(0)=0$ ). The final criterion they suggest is that the most efficient (smallest variance) estimator should be used.

Model robustness is the most important of these criteria. If there is no justification to choose a specific functional form and if the data cannot be used to discriminate between them, then it is very reasonable and desirable that an estimator be able to represent a wide variety of underlying functions. It is also important since the function will change between surveys, due to differences in observers, weather and other factors which may not be quantifiable. If a range of "possible" functional forms can be specified and an estimator can adequately model

the forms within this range, then it is probably fairly safe to assume that the estimator will provide an unbiased estimate of  $f(0)$ . Burnham et al. (1980) suggest a possible range of functional forms and also suggest that in each the probability of detection drops off slowly ( $f'(0)=0$ ). This is rather intuitive because it essentially says that there is an area about the line which could be used as a strip transect in which all animals are seen. The strict interpretation of assumption (4) is that  $g(0)=1$ , but it is very likely that the probability remains unity, out to some distance from the line. This is the justification for the third criterion.

Ideally, an experimenter would be able to suggest more properties like  $f'(0)=0$ , if more information was available about the physical process of searching, the conditions affecting sighting and the sighting "cues" provided by the animal. This information, if available, would provide a better approach to specifying the possible range of functional forms of  $f(x)$  and a suitable estimator. Koopman (1980) has done a considerable amount of work with search theory for warfare and he carries this approach to the extreme and suggests that  $f(x)$  should be determined from the physical process of searching and that the parameters in the model should represent physical constants. This approach has a great deal of merit and is the ideal approach if all aspects of the searching process could be modeled. However, this is only likely to happen in a fairly uniform environment with a fairly uniform population, like in Koopman's (1980) situation with warships on the ocean. His approach does suggest the importance of examining the searching process in evaluating the estimator used. Hammond (1981) realized this need when he attempted to give reasons for the shape of the distribution for  $f(x)$  from fishing vessel surveys in determining which estimator to use.

In practice, the underlying functional form will probably be in the range suggested by Burnham et al. (1980). If the true function is within this range and the data are recorded properly then any of the model robust estimators (e.g., Fourier Series, exponential polynomial and exponential power series among others) will provide very similar results which are very likely to be unbiased.

An unbiased point estimate of  $C$  is the simple average of all the observed school sizes, if assumptions (7) and (8) are satisfied. If the

individual estimates of school size are not recorded accurately, the estimate of  $\bar{C}$  will be biased and this cannot be avoided in the analysis. However, if assumption (8) is violated and the school size affects the probability of detection, an attempt can be made to correct this in the analysis. The following formula can be used to estimate the true average school size if the probability of detection is affected by the school size (Burnham *et al.*, 1980):

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n f(O|C_i) C_i}{\sum_{i=1}^n f(O|C_i)}$$

An unbiased estimate can be made if  $f(O|C)$  can be expressed as a function of  $C$ . Holt and Powers (1979) used this approach by assuming that  $f(O|C)$  was inversely proportional to the average observed perpendicular distance for a given school size ( $E(x|C)$ ). They found that

$$E(x|C) = a + b \ln(C)$$

provided a suitable relationship. They fitted the data to this function and found that the parameter  $a$  was not significantly different from zero. Therefore, they estimated  $\bar{C}$  by

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i / \ln(C_i)}{\sum_{i=1}^n 1 / \ln(C_i)}$$

Another similar approach is to stratify the school sizes such that  $f(O|C)$  should be reasonably constant within each strata. An estimate of  $f(O|C)$  and a simple average of the school sizes can be made for each strata. The overall density estimate is the sum for the  $S$  strata,

$$D = \sum_{i=1}^S (n_i f_i(O|\bar{C}_i) \bar{C}_i) / 2L$$

An entirely different approach to the problem is to truncate the data at some perpendicular distance such that within that distance the probability of detection is constant for all school sizes. It may be that the probability of detection does not change much except for very large schools which can be seen at unusually long distances. To examine the validity of this approach and the others suggested it is necessary to examine the factors which affect the probability of a school being detected and whether these are affected by school size. As an example, as discussed earlier, if most schools are sighted via birds on fishing vessel surveys, then a bias will only result if the bird association and/or the size of the bird flock is dependent on the size of the school of dolphins.

The problems discussed above are common to any line transect sampling of a clustered population. With dolphin populations further complications exist because the schools can be of a combination of species. Ideally, there would be enough observations of each type of mixed school to treat them as individual populations. An estimate of numbers of animals of all of the species of the mixed school could be made and these could be apportioned to the individual species on the basis of the proportion of the species in the observed schools; unless this proportion was affected by the probability of detection. Another alternative, is to use each sighting of a mixed school with the sightings of the pure schools of each species. The school size for the mixed school would only be the number of animals of the particular species for which the abundance estimate was being made. As an example, with mixed schools of spinner and spotted dolphins, the mixed schools would be used with pure schools of spotted dolphins to estimate their abundance and they would also be used with the pure schools of spinner dolphins to estimate the abundance of spinner dolphins. This would very likely underestimate the variance for simultaneous confidence intervals because each sighting of a mixed school would be used repeatedly. The final alternative is to combine all sightings of pure schools of both species with the sightings of mixed schools. An estimate of the total number of animals in both species could be made and they could be apportioned on the basis of the observed proportion of each species in the schools. This approach assumes that  $f(x)$  is the same for pure schools of both species and for

the mixed schools.

This latter approach of combining the data for a variety of species has been used in practice because there has not always been an adequate sample size for each species, and sightings in the vicinity of the line could not always be identified. Holt and Powers (1979) combined all the sightings of schools of dolphins of all species, which were both identified and unidentified and which included more than 14 dolphins. This gave them approximately 100 sightings for the aerial survey. From these sightings they calculated an estimate of density of all dolphins and they apportioned them into the individual species on the basis of various proportions from the sample and from fishing vessel surveys. This type of analysis is necessary with inadequate sample size, but it is not desirable. It is necessary to assume that  $f(x)$  is the same for all species and that all species are equally identifiable. These assumptions should also be examined in evaluating a survey technique which does not provide an adequate sample for each species. However, it will not be attempted in this paper.

#### Interval estimation

An interval estimate for density requires an estimate of variance and a distribution for density on which to base probability statements.

It was shown previously that the theoretical variance estimate for density requires a variance for  $n$ ,  $f(0)$ , and  $C$ . The variance of  $n$  can be obtained theoretically if the distribution of schools is known. If the schools are randomly distributed then  $n$  is a Poisson variate and the variance estimate is  $n$ . If the population is aggregated the variance will be " $a$ " for some value of " $a$ " greater than 1. Burnham *et al.* (1980) suggest that " $a$ " may be in the range of 1.5 to 2 for most populations; however, it is not suitable to guess a value for " $a$ ". An alternative is to estimate an empirical variance for  $n$  from the number of observations ( $n_i$ ) on replicate transects ( $l_i$ ). Burnham *et al.* (1980) give a formula for this empirical variance. The estimate of the theoretical variance for  $f(0)$  is a product of the estimation process (e.g., maximum likelihood estimation), is based on asymptotic conditions (i.e.,  $n$  gets very large), and it is assumed that the estimated model represents the true underlying function. The variance for  $C$  can be

calculated empirically from the individual school sizes.

The theoretical variance for density depends on a variety of assumptions. The most important is likely to be the assumption that sightings are independent events. This may be violated to varying degrees by all of the survey techniques discussed. This happens because a school may be sighted while a previous school is being circled for data collection. The degree to which the dependence will affect the variance estimate has never been examined closely.

Two alternatives which avoid the assumptions behind the theoretical variance have been suggested by Burnham *et al.* (1980). The first is simply to calculate an empirical variance for density by calculating density estimates ( $D_i$ ) for replicate transects ( $L_i$ ). This approach has been suggested by a number of authors (Eberhardt, 1968; Seber, 1973; Hayes, 1977) as a technique which should be robust; however, it requires a considerable amount of data for its implementation. A second alternative is a "jackknife" estimate of density and variance. It is also empirical in nature but it does not require as much data.

Burnham *et al.* (1980) suggest that the normal distribution should be used for making probability statements about the interval estimates. They make exceptions to this and say that Student's-t distribution should be used when empirical variance estimates for  $n$  or  $D$  are used.

The validity of each of these techniques in providing reliable representations of the true variability has never been examined thoroughly. Quinn (1976) did some simulations which showed that the variance is underestimated if the population is aggregated and  $n$  is assumed to be Poisson. Similar simulations for the various techniques of interval estimation are necessary to examine their validity.

#### SUGGESTIONS FOR FUTURE RESEARCH

A research plan should lead to the selection of a survey technique and analysis technique which will provide an unbiased and precise estimate of abundance in the most efficient manner possible and within the limits of budget constraints. Presently, there are a variety of techniques which have different problems and there is no clear choice between them. Thus, the research should be designed to evaluate the

importance of the major problems of each technique.

The major drawback with aerial surveys is their lack of coverage of the offshore area. Long-range aircraft are needed; however, they are also usually very fast (e.g., P2V) which would make searching difficult. Unless, a suitable plane is designed for this type of survey work, the possibility of searching the offshore area with aircraft does not look promising. However, this does not preclude their use entirely, since they can be used to search the inshore area.

The assumption that  $g(0) = 1$  is also a possible major problem. This topic is being researched presently by the NMFS. They are conducting an experiment in which the water penetration by the sun and Beaufort conditions are varied in an area of constant density. They are also placing two observers in the nose of the aircraft as a check on schools missed on the track line. Both of these aspects of the experiment will provide valuable data on the validity of this assumption.

If  $g(0)$  is suitably close to unity the next problem which should be examined is the measurement of the perpendicular distances. This could be examined by flying over objects in the open water and taking an aerial photograph. The observers could estimate the distance to the object and this could be compared to the measured distance from the photograph. If the observers could accurately record the distance within an interval (e.g., 0.0-0.05, and 0.05-0.15 nautical mile) then this may be considered satisfactory. However, if the cost of the photography did not become extreme, it would be worthwhile to use this procedure during the surveys. An aerial photograph could be taken of each school which was close to the line and the perpendicular distance could be measured exactly. This would assure accuracy and would enable the shape criterion,  $f'(0)=0$ , to be tested more fully.

Thus, if both of these problems can be resolved and it can be assumed that all schools close to the line are identified, then it would appear that aerial surveys could provide a technique for unbiased estimation of the abundance within the inshore area. However, to get adequate sample sizes for each species a more extensive sampling effort would have to be made in comparison to the 1979 NMFS survey.

The major problem with research vessel surveys is the possibility of avoidance of the vessel by the animals. This is also a concern with

fishing vessel surveys. I will suggest three possibilities for examining this problem. The first is direct experimentation with a helicopter aboard a vessel. This has already been done to a small extent by the NMFS (Au and Perryman, in press). A helicopter can be used to search in front of the vessel and to observe the reaction and any movement of schools in response to the vessel before the observers on the vessel sight the schools. The schools motion relative to the vessel could be tracked until the vessel passed the school. Another way to examine the problem would be to compare the estimates of density from the research vessel and aircraft from the 1979 NMFS survey. Both platforms were used to survey the same area within approximately the same time frame. The resulting data from the research vessels were unusable because there was an excessive amount of rounding in the sighting angle measurements. If an appropriate method can be developed to analyze these data, a comparison could be made between these platforms. If  $g(0)=1$  for the aircraft then any difference between the platforms could be attributed to animal avoidance. A final suggestion is to look at the survey data from the fishing vessels. It may be possible to define an area in which the density remains relatively constant over a short time period. Within this area, the sightings and effort could be stratified on the basis of the Beaufort scale and density estimates could be compared for each Beaufort strata. The relative differences would reflect animal avoidance and violations of an assumed  $g(0)=1$ . For a vessel it should be relatively safe to assume that  $g(0)=1$  for most weather conditions and most of the difference (if it exists) would have to be attributed to animal avoidance. If there are differences, an attempt could be made to correct for these in the analysis. If it can be assumed that in calm water (Beaufort 0-1) that all schools close to the line are sighted before they respond to the vessel, then an estimate during these conditions can be assumed to be unbiased. This estimate can then be used as a standard to correct for conditions in which the assumption may fail (i.e., Beaufort greater than 1). This is analogous to the concept behind line transect sampling of using observations close to the line as the standard (i.e.,  $g(0) = 1$ ). The analysis would require additional assumptions which would have to be evaluated and it would also require a substantial amount of sampling effort, which is presently only being

provided by the fishing vessel surveys.

However, before any analysis of the research vessel or fishing vessel is attempted, the problem of measurement error must be solved. A suitable scheme must be developed to convert the sighting distances and sighting angles to perpendicular distances. If the distances and angles are measured exactly then it is a simple trigonometric relationship. However, they are estimated and represent intervals of distance and degrees. Thus, an estimate of 5 nautical miles and 25 degrees may relate to an interval of 4-6 miles and 20-30° or some other interval depending on the accuracy of the estimation. Two problems must be solved to convert these to intervals of perpendicular distance. First, some information about the accuracy of estimation is needed to determine the width of the estimation intervals. Secondly, since different intervals of sighting distance and angle will provide overlapping intervals of perpendicular distance, some method needs to be devised which creates intervals of perpendicular distance which are optimal in terms of the probability of misclassifying a particular distance. Hopefully, the accuracy of the estimation process will produce intervals which are not excessively coarse, so that most of the information in the data can be retained.

The problem of animal avoidance and measurement error are common to both research vessel and fishing vessel surveys. In addition, the fishing vessel surveys may be subject to error from non-random searching. More research needs to be done in examining the data for indications of non-random searching. One possibility is to look more comprehensively at the data in smaller strata as Hammond (1981) did for a limited data set. If these strata were too small, larger strata could be constructed by combining smaller strata which had a similar amount of effort. Then the number of sightings could be regressed against effort in these larger strata. This approach should provide a more powerful test because the pattern of searching within each stratum should be more uniform.

If non-random searching is shown to be an important problem, it will have to be corrected in the analysis. Several possibilities exist which are variations on stratification schemes. Areas of the ocean could be stratified into arbitrary units (e.g., 5 degree squares), or

into units which have constant sampling effort or constant density and the density can be estimated for these areas separately. Each of these schemes attempt to define areas in which assumption (1) is valid. An alternative approach, suggested by Burdick (1979), is to model the density over the entire area with a surface which is fit, via regression techniques, to the numbers of sightings per unit line length. Each of these approaches merits further study.

School size estimation is another major problem which plagues the fishing vessel surveys. This is not to say that it is not a problem for the other techniques; however, the disparity in "observer" and fishermen estimates and the great differences between average school sizes from fishing vessel surveys and research surveys indicates some drastic problems. Attempts are being made to train "observers" in school size estimation with motion pictures of schools of known size (Allen *et al.*, 1980). Hopefully, in the future, more confidence can be placed in these estimates. The selectivity of the fishery could explain the differences between the fishing vessel and research surveys. Thus, some analyses should be performed to examine the relationship between occurrence of birds and the size of the school and other factors which may cause an upward bias in the estimates.

Since the fishing vessel surveys are not designed and are not under the control of an experimenter, it should be expected that more problems would be encountered. It would be an obvious choice to dismiss them if the other techniques could provide an adequate sample size; however this is not the case at the level of effort expended in past research surveys. Therefore, I recommend that research should be concentrated on the problems of fishing vessel surveys, since an observation platform will exist as long as the fishing and research continues.

Research to address some of the analytical questions is also needed. We need to examine the physical aspect of searching to see if it will provide some relevant information which can be used in the choice of an estimator for  $f(x)$ . Also, the techniques for correcting the average school size should be examined as to their validity and robustness. Interval estimation is another problem which has been relatively untouched by many researchers. The validity of the various variance estimates and distributional assumptions has never been tested.

Some simple simulations could easily be performed to study this problem.

#### SUMMARY

Surveys from aircraft, research vessels and fishing vessels each have one or more problems in satisfying line transect sampling assumptions. The major problems with aircraft surveys are (1) the possibility that  $g(0)$  is not equal to unity because of differences in light penetration of the water and Beaufort conditions, (2) the lack of sampling effort in the offshore areas, (3) possible measurement error of perpendicular distances, and (4) an inadequate sample size with the present level of sampling effort. The major problems with research vessels are (1) the possibility of animal avoidance, (2) measurement error in the sighting distance and angle, and (3) an inadequate sample size with the present level of sampling effort. The fishing vessel surveys provide an adequate sample size but they have a variety of possible problems including: (1) animal avoidance, (2) measurement error, (3) non-random searching effort, and (4) questions about the validity of the school size estimation. A variety of research suggestions have been made to address these problems. In addition, time should be taken to examine the relative cost efficiency of these survey techniques and the most effective means of using each of the techniques to survey the ETP, assuming that the major problems could be solved for each technique.

For the most part, there are no major analysis problems if the data are collected properly. It is suggested that the validity and robustness of the various models be examined and that simulations should be conducted to examine the validity of the various methods of interval estimation of density.

LITERATURE CITED

- Allen, R.L. 1981. Dolphins and the purse seine fishery for yellowfin tuna. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Internal Rpt. 16.
- 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 Report 6: 28 pp.
- Anderson, D.R. and R.S. Posahala. 1970. Correction of bias in belt transects of immotile objects. J. Wildl. Manage. 34(1): 141-146.
- Andrewartha, H.G. 1961. Introduction to the study of animal populations. Butler and Tanner, Ltd., London. 281pp.
- Au, D. W.K. 1977. Cruise Report, Cruise DS-77-01-108, Porpoise Cruise No. 213, SWFC, La Jolla, CA.
- Au, D.W.K. and W.L. Perryman. In press. Movement and speed of dolphin schools responding to an approaching ship. Fishery Bulletin 1982, 80(2).
- Au, D.W.K., W.L. Perryman, and W.F. Perrin. 1979. Dolphin distribution and the relationship to environmental features in the eastern tropical Pacific. SWFC, Admin. Rept. No. LJ-79-43.
- Barham, E.G. 1977. Aerial Survey Trip Report. Southwest Fisheries Center, Admin. Rept. No. LJ-78-01.
- Best, P.B. and D. S. Butterworth. 1980. Report of the Southern hemisphere minke whale assessment cruise, 1978/79. Rep. Int. Whal. Commn 30, 257-283.
- Burdick, D. L. 1979. On estimating the number of porpoise schools. United States Tuna Foundation, Tech. Bull. 1. 124pp.
- Burnham, K.P. and D.R. Anderson. 1976. Mathematical models for non-parametric inferences from line transect data. Biometrics 32(2): 325-336.
- Burnham, K.P., D.R. Anderson, and J.L. Laake. 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. Wildlife Monographs No. 72, 202 pp.
- Crain, B.R., K.P. Burnham, D.R. Anderson, and J.L. Laake. 1978. A Fourier series estimator of population density for line transect

- sampling. Utah State University Press, Logan, Utah. 25 pp.
- Eberhardt, L.L. 1968. A preliminary appraisal of line transects. *J. Wild. Manage.* 32(1): 82-88.
- Gates, C.E., W.H. Marshall, and D.P. Olson. 1968. Line transect method of estimating grouse population densities. *Biometrics* 24(1), 135-145.
- Hammond, P.S. 1981. Some problems in estimating the density of dolphin populations in the eastern tropical Pacific using data collected aboard tuna purse seiners. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, Internal Rpt. 15.
- Hayes, R. 1977. A critical review of line transect methods. Unpublished M.S. thesis, Univ. of Edinburgh.
- Holt, R.S. and J.E. Powers. 1979. Abundance estimation of dolphin stocks involved in the eastern tropical Pacific yellowfin tuna fishery, determined from aerial and ship surveys. Paper no. SOPS/79/29 prepared for the Status of Porpoise Stocks Workshop. Southwest Fisheries Center, La Jolla, CA.
- Jackson, T.D. 1980. Trip report: Porpoise population aerial survey of the eastern tropical Pacific Ocean. SWFC Admin. Rep. No. LJ-80-01.
- Koopman, B.O. 1980. Search and Screening. Pergamon Press, New York. 369 pp.
- Leatherwood, S. and D.K. Ljungblad. 1979. Nighttime swimming and diving behavior of a radio-tagged spotted dolphin. *Stenella attenuata*. *Cetology* 34: 1-6.
- May, R.M., J.R. Beddington, C.W. Clark, S.J. Holt, and R.M. Laws. 1979. Management of multispecies fisheries. *Science* 205: 267-277.
- Pollock, K.H. 1978. A family of density estimators for line transect sampling. *Biometrics* 34(3), 475-478.
- Quinn, T.J. 1976. The effects of aggregation on line transect estimators of population abundance with application to marine mammal populations. Unpublished M.S. Thesis, University of Washington, Seattle, WA.
- Quinn, T.J. 1980. Sampling for the abundance of schooling populations with line-transect, mark-recapture and catch-effort methods. Phd dissertation, Univ. of Washington.
- Schweder, T. 1974. Transformation of point processes: Applications to

- animal sighting and catch problems, with special emphasis on whales. Phd dissertation, Univ. of California, Berkley, Calif.
- Seber, G.A.F. 1973. The estimation of animal abundance. Hafner, New York. 506 pp.
- Smith, T.D. 1975. Estimates of sizes of two populations of porpoise (Stenella) in the eastern tropical Pacific Ocean. SWFC Admin. Rep. No. LJ-75-67.

FIGURE LEGENDS

- Figure 1. Diagrammatic representation of line transect sampling. The measurements which can be taken include  $r$  = sighting distance,  $\theta$  = sighting angle,  $x = r \sin\theta$  = perpendicular distance. Points which are detected are shown with a perpendicular line drawn to the transect line. This demonstrates how all points close to the line are detected but that fewer are detected further away from the line.
- Figure 2. Illustration of a hypothetical form for  $g(x)$ , often referred to as the detection function.
- Figure 3. Area in the eastern tropical Pacific inhabited by those dolphin species of interest to the yellowfin tuna fishery (heavy dashed line), the area surveyed by aircraft in 1979 (hatched area) and the Commission's Yellowfin Regulatory Area or CYRA (heavy solid line).

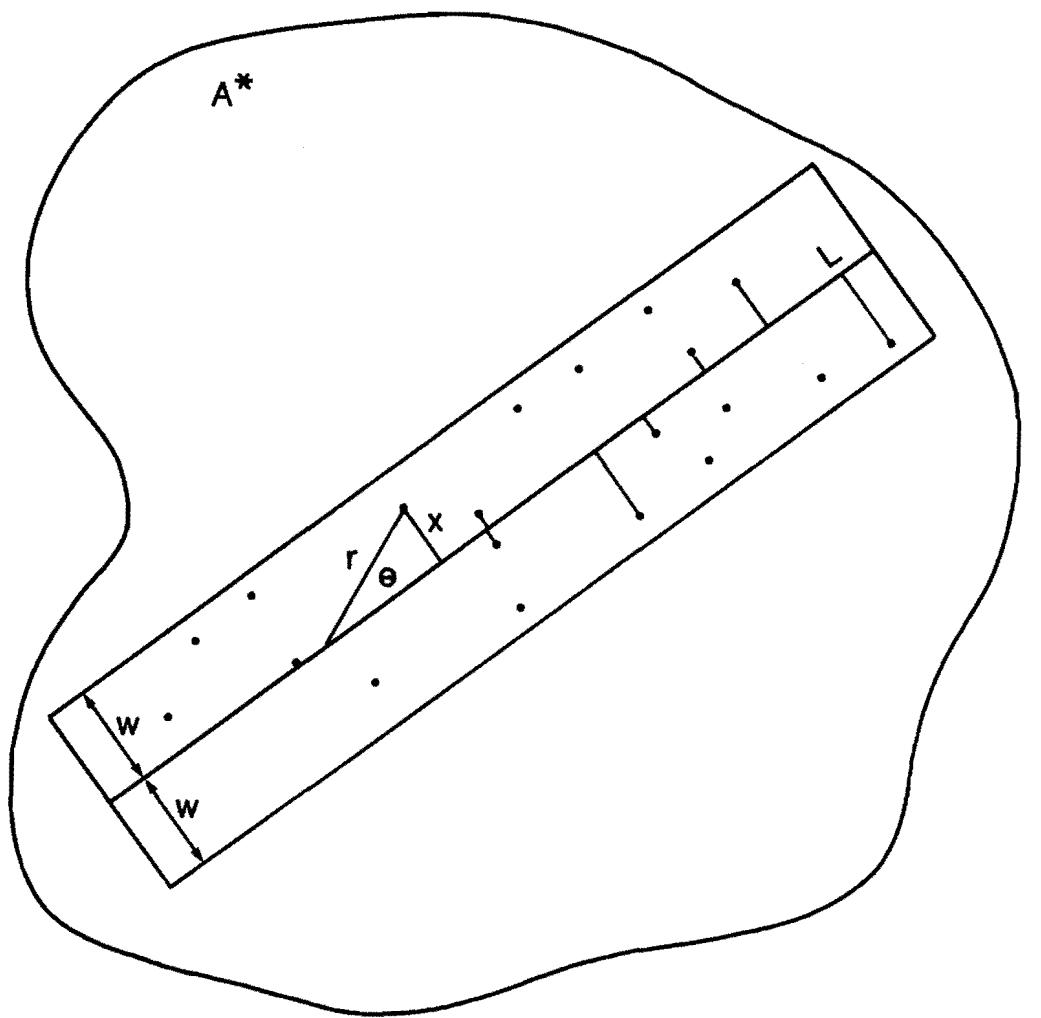


Figure 1

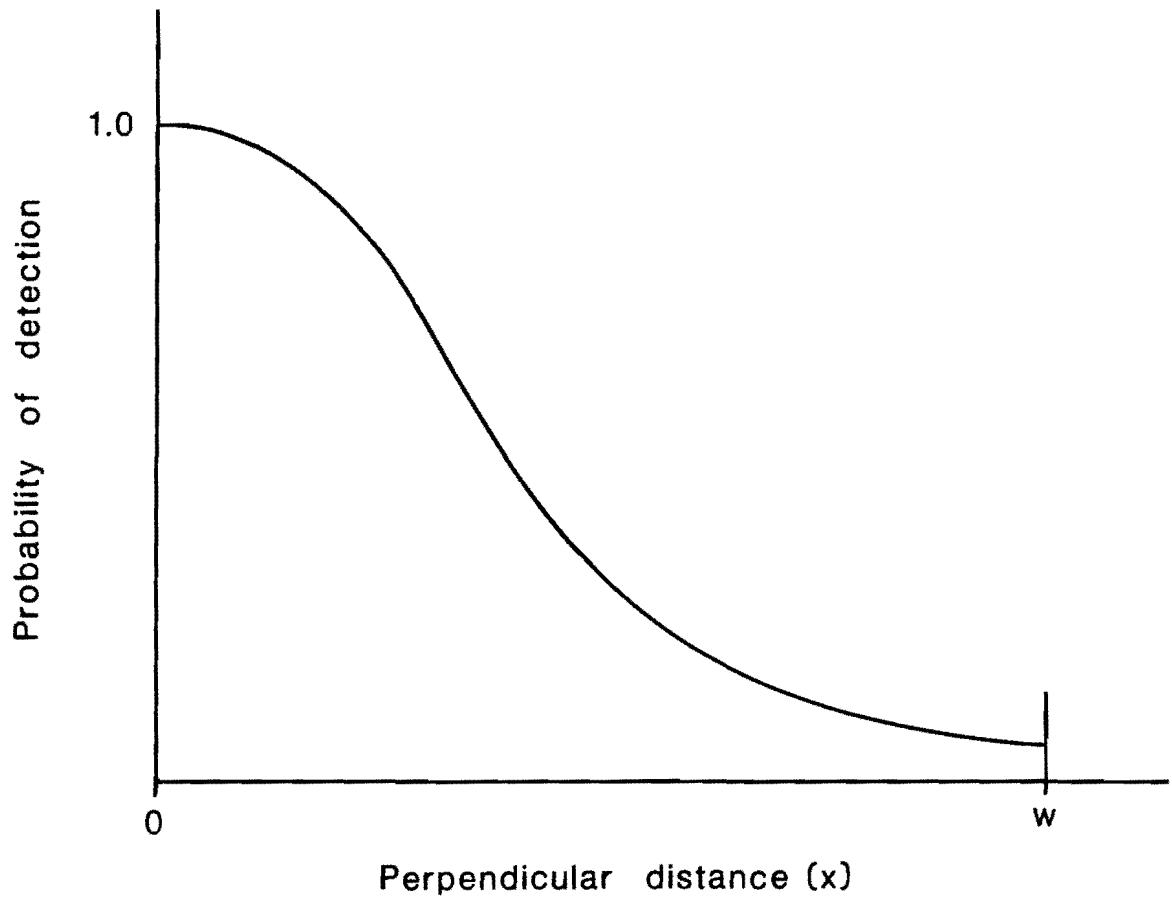
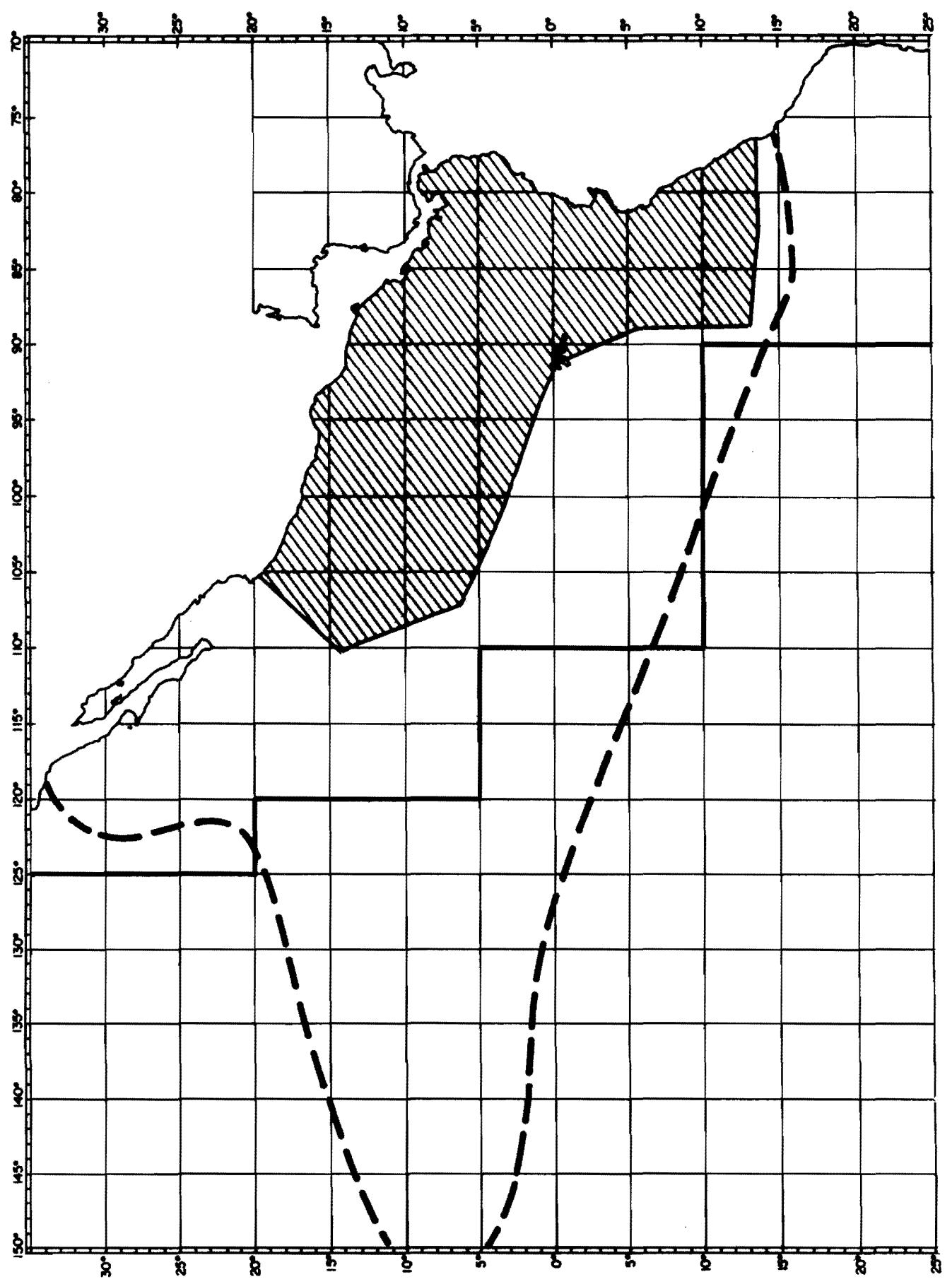


Figure 2

Figure 3



APPENDIX 4

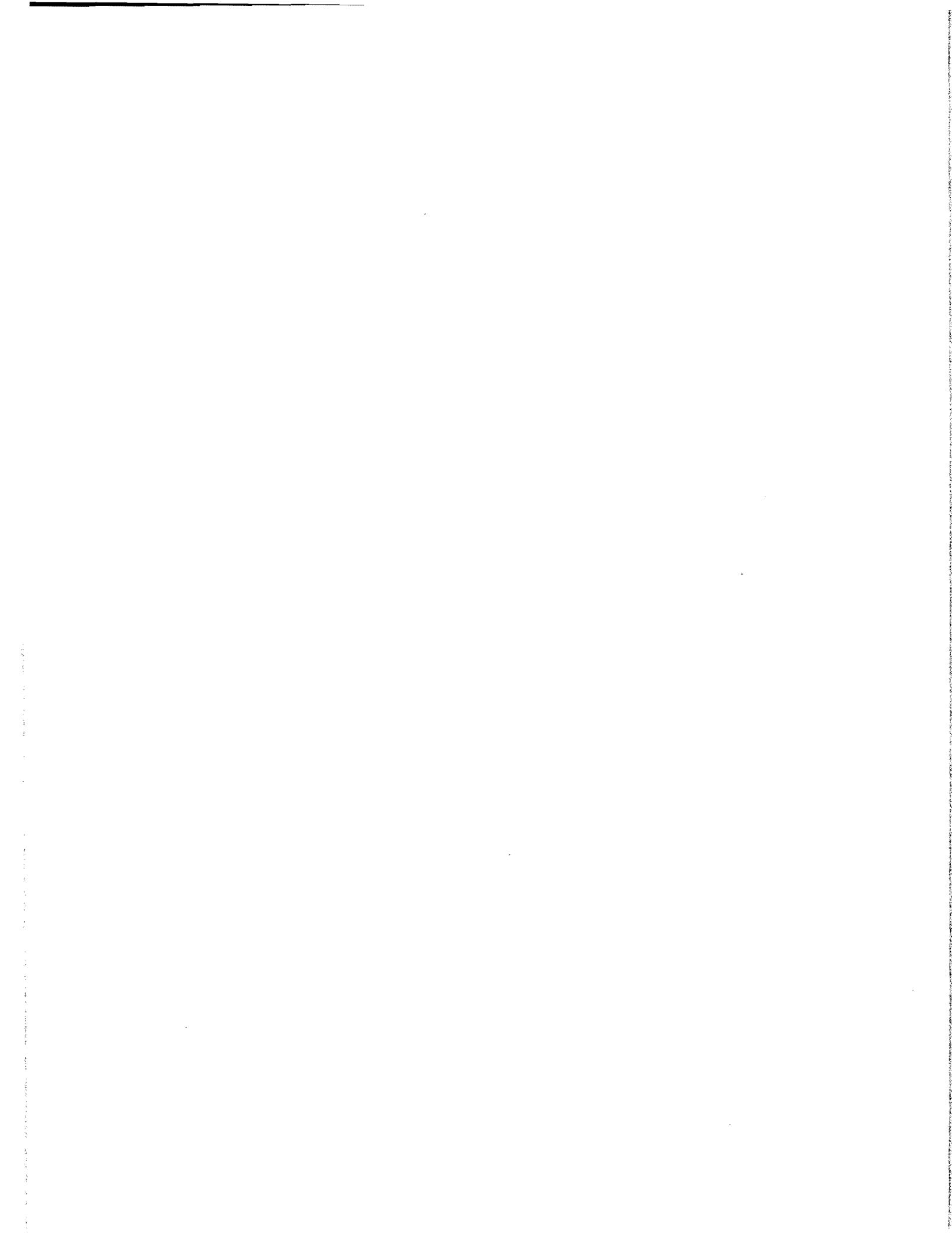
DOLPHIN STOCKS IN THE EASTERN TROPICAL PACIFIC

Michael D. Scott

Inter-American Tropical Tuna Commission  
La Jolla, California, USA

Review paper prepared for the  
Tuna-Dolphin Workshop

Managua, Nicaragua  
April 6-10, 1981



### INTRODUCTION

The designation of stocks has been a tool often used for management of marine mammal species, but definitions of what constitutes a stock are varied and often vague. Stocks can be defined in a number of ways, often on the basis of geographical units (e.g. whales), as populations that annually return to a particular breeding ground, (e.g. pinnipeds), or as populations that have limited gene flow with other populations. The Working Party on Marine Mammals of the U.N. Food and Agriculture Organization (1978) has made a distinction between a population and a stock:

"The term population is here applied to a group of individuals of a species or a subspecies which is sufficiently reproductively independent from other subsets that they are able to maintain their genetic identity. A stock, which is the term used for a management unit, and is commonly defined on a geographic basis, may comprise one or more populations or parts of these... Stocks are not, however, necessarily genetically distinguishable..."

The designation of stocks for management purposes can be usefully applied in areas where animals affected by fishing mortality have a limited range, and yet are not necessarily genetically distinct. Stocks can also be applied in cases where breeding populations are definable and can thus be managed separately. For dolphin species in the eastern tropical Pacific (ETP), the U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS) in the Report of the Status of Porpoise Stocks Workshop (Smith, 1979) has defined a stock as:

"...a population unit having limited genetic exchange with adjacent units of the same species. It is the basic population unit of concern in the management of exploited species. Stocks are differentiated on the basis of (1) a hiatus in spatial distribution, or of (2) differences in morphological characters not subject to change with population density."

The NMFS has used external size and shape, coloration patterns, skull and skeletal measurements, and meristics, apparent breaks in species distributions, and oceanographic features as criteria for identification of stocks. The number of stocks identified and their boundaries have

changed often as more specimens and sighting data have become available for the dolphin species involved in the tuna purse seine fishery. This paper reviews the proposed stocks of spotted dolphins (Stenella attenuata), spinner dolphins (S. longirostris), common dolphins (Delphinus delphis), and striped dolphins (S. coeruleoalba).

Spotted dolphins (Stenella attenuata)

Figure 1 shows the locations of spotted dolphins sighted by IATTC and NMFS scientific technicians aboard tuna vessels in 1974-1980. Three stocks of spotted dolphins have been proposed in the ETP. A separate Hawaiian stock has been recognized as well. Coastal spotted dolphins are larger than dolphins of other stocks (average length of adult males = 227.7 cm [N=32], average length of adult females = 209.2 cm [N=70]; Perrin, 1975a). They are also more robust and typically more heavily spotted than other forms. Their skulls and teeth are more massive than other forms (see Table 1), which are apparently adaptations related to feeding on more substantial prey. This form was considered a separate species, Stenella graffmani, until an adequate series of specimens demonstrated intergradation between the coastal and offshore forms.

Offshore spotted dolphins are smaller than the coastal form (average length of adult males = 200.7 cm [N=253], average length of adult females = 187.3 cm [N=555]; Perrin, 1975a). They are more slender and possess lighter skulls and teeth than the coastal forms (Perrin, 1975b). The amount of spotting is variable.

Perrin (1979) provisionally recognized a southern offshore stock as well, based on 131 specimens found in a  $6^{\circ} \times 8^{\circ}$  block southwest of the Galapagos Islands. These dolphins are slightly smaller than more northern animals (average length of adult males = 186.0 cm [range 170-204 cm, N=40], average length of adult females = 184.8 cm [range 168-201 cm, N=91]; Perrin, 1979). They also typically have lighter spotting (based on 11 specimens with adult coloration). The southern spotted dolphins are similar to Hawaiian spotted dolphins and to far-offshore spotted dolphins at the western end of the ETP distribution. Perrin has suggested that an east-west or radial cline of color patterns and skull characteristics may exist. Workshops on Stock Assessment (SWFC, 1976) and Status of Porpoise Stocks (Smith, 1979) have tentatively

recognized a separate southern stock, though it was noted that the modally different stock characteristics may be due to low or biased sample sizes.

Data on animal movement can play an important role in the identification and confirmation of stocks. Based on the results of a NMFS tagging program, Perrin *et al.* (1979) have hypothesized that northern offshore spotted dolphins move seasonally up to 500-600 nm in an east-west direction, while short-term movements are within a roughly circular home range that is 200-300 nm in diameter. The predominant east-west movements may be a consequence of the east-west orientation of oceanic currents and associated divergence zones in the ETP. Au *et al.* (1979) have correlated dolphin distribution with these oceanographic features and hypothesized the existence of contiguous dolphin "sub-populations" that inhabit localized regions and are primarily adapted to the local environmental conditions in that region.

Perrin (1969) found differences in coloration and markings among schools of northern offshore spotted dolphins. Examination of six schools (total sample size of 421 animals) revealed differences in four color pattern elements - flipper band structure, banding (in subadults) and general contrast (in adults) along the dorsal cape margin, and the presence of white-tipped jaws in large adults. These results, however, may be confounded by possible segregation in schooling by age and sex.

#### Spinner dolphins (*Stenella longirostris*)

Figure 2 shows the locations of spinner dolphins sighted by IATTC and NMFS scientific technicians. Up to four stocks of spinner dolphins have been recognized in the ETP. A separate Hawaiian spinner stock (formerly considered a separate species, *Stenella roseiventris*) has been recognized as well. Not much is known about the proposed Costa Rican spinner stock as data on only five specimens have been reported (Perrin, 1975a; 1975b). Costa Rican spinners appear to be more slender and longer than other forms (two adult males: 181 and 216 cm, three adult females: range 196-203 cm; Perrin, 1975b). Their grey coloration is similar to that of eastern spinner dolphins. The skull is longer and the rostrum and mandible are lighter than other forms (Table 2). Since the stock could not be readily separated from the eastern spinner stock, the Workshop on Stock Assessment (SWFC, 1976) did not recognize the

proposed stock as a viable management unit. The Status of Porpoise Stocks Workshop (Smith, 1979) did, however, recognize this stock.

The eastern spinner form is slender and relatively short (average length of adult males = 175.3 cm [range 161-186 cm, N=44], average length of adult females = 171.0 cm, [range 160-181 cm, N=75]; Perrin, 1975a). The coloration is almost uniformly grey with varying amounts of white around the genital region. The amount of ventral white coloration is modally distinct from that of the whitebelly spinner form. Adult eastern spinner males have a more prominent postanal keel than other forms, and their dorsal fins may be canted forward, which does not occur in other forms. Discrete subschools of eastern and whitebelly spinner dolphins have been captured together in areas where their distributions overlap. Apparent intergrades between the two forms have also been reported (Perrin, 1975a). The eastern spinner stock was considered a separate species, Stenella microps, before a large series of specimens became available.

The whitebelly spinner dolphin is more robust and is on average 5 cm larger than the eastern form (average length of adult males = 180.2 cm [range 170-196 cm, N=79], average length of adult females = 175.9 cm [range 161-194 cm, N=95]; Perrin, 1975a). The white ventral coloration is more extensive than that of the eastern form, giving a bipartite pattern (see Perrin, 1972, for descriptions of spinner dolphin color patterns). Their dorsal fins are triangular, and the postanal keel is intermediate in size between the eastern and Hawaiian forms. Perrin (1979) also identified a separate southern whitebelly stock south of the equator (Figure 2). This southern form appears to be intermediate in size and skull morphology between the northern whitebelly and Hawaiian forms. The southern form has a strongly defined tripartite coloration similar to the Hawaiian form and averages 2-3 cm longer than the northern whitebelly form. All the specimens examined by Perrin were collected from a 6° block southwest of the Galapagos Islands. The southern whitebelly stock was recognized by both NMFS stock assessment workshops (SWFC, 1976; Smith, 1979).

Common dolphins (*Delphinus delphis*)

Figure 3 shows the locations of common dolphins sighted by IATTC and NMFS scientific technicians. Four stocks of common dolphins have been proposed in the ETP. Adjacent stocks of northern and southern temperate dolphins have also been recognized. Evans (1975) has provisionally differentiated stocks of common dolphins using size, skull measurements, coloration differences, and distribution breaks. Sightings from tuna vessels, however, have considerably extended the distribution of these stocks since then.

The Baja neritic common dolphin is larger than other forms (range 186-243 cm, N=39, Evans, 1975) and has a flipper stripe that extends to the gape of the mouth instead of to the gular area as in other forms. This form also has an anus-to-thoracic stripe that is not common in other forms. The rostrum is also relatively longer than in other forms (the ratio of rostrum length/zygomatic width is always above 1.52 [N=45], while this ratio is always below 1.49 in other stocks [N=33 for the central tropical stock, N=9 for the northern tropical stock]). There is no distinct geographic separation between the Baja neritic and the northern tropical stocks (called "Baja California, short-snouted" by Evans) although the Baja neritic forms are only found inside the 100-fathom contour. On the basis of this difference, Banks and Brownell (1969) considered the long-snouted form a separate species, *Delphinus bairdii*. Other authors, however, have recognized only one species (van Bree and Purves, 1972; Rice, 1977), since long-snouted forms are found sympatrically with short-snouted forms in the Atlantic, Mediterranean, Indian, and southern Pacific Oceans. Short-snouted forms from southern California, Baja California, and the ETP have been separated by Evans (in press) on the basis of skull characteristics associated with respiration and vocalization. He suggested that differences in vocalizations may produce effective isolation of the three stocks. The Baja neritic and northern tropical stocks have been combined for management purposes by the NMFS due to lack of data.

The central tropical stock (called "eastern tropical Pacific, short-snouted" by Evans) has a relatively short rostrum and is separated from the northern tropical stock by an apparent hiatus in distribution. The average length of these dolphins (adult males = 208.0 cm [range ca

176-230 cm, N=40, adult females = 196.0 cm [range ca 176-210 cm, N=48]; Evans, 1975) is greater than the average lengths of dolphins from northern tropical and northern temperate stocks (adult males = 187.5 cm [range ca 176-200 cm, N=33], adult females = 178.3 cm [range ca 156-190 cm, N=43]). It has been suggested (Au, 1979) that this stock may be considered as two separate stocks (an eastern and a western form) separated by a distributional hiatus at the 110° W longitude line. This separation was provisionally rejected by the Status of Porpoise Stocks Workshop (Smith, 1979) until more specimens become available. The southern tropical stock is also separated by a hiatus from the central tropical stock.

Differences in skull measurements and coloration among common dolphin schools were found by Evans (1975). Three schools caught within 30 nm of each other showed differences in the presence or absence of color pattern elements (sample sizes of 22, 15, and 10 adult dolphins). Schools varied in the presence or absence of the auditory meatus-to-chin stripe, the dorsal-fin patch, and the pectoral-fin patch. An analysis of skull measurements suggested a difference between two of these schools (N=5 adult females from each school). Evans inferred from these results that common dolphin schools are localized breeding populations.

#### Striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*)

Figure 4 shows the locations of striped dolphins sighted by IATTC and NMFS scientific technicians. Up to four stocks of striped dolphins have been proposed in the ETP corresponding to three westward-extending distributional lobes. Studies of morphological differences among the proposed stocks have not yet been done and distributional hiatuses have been used to separate these stocks. The northern tropical, central tropical, and southern tropical stocks were recognized by the Status of Porpoise Stocks Workshop (Smith, 1979), but a proposed east-west division of the central tropical stock was provisionally rejected by the workshop due to insufficient evidence of separation.

#### DISCUSSION

Studies are currently under way to examine the thousands of specimens and life history data collected from the NMFS tuna vessel observer program; these studies should help test and update conclusions on geographic variability and stocks. Aerial photographic surveys look promising for identifying stocks that differ in lengths. Preliminary measurements from aerial photographs taken of dolphin schools off the southern coast of Mexico indicated that the Costa Rican and eastern spinner dolphins can be differentiated due to the 20 cm difference in length between the two stocks. The use of chromosome banding for stock identification is also being explored (Worthen, 1981). Analysis of DNA sequencing has been shown capable of differentiating populations of mice (Avise *et al.*, 1979), and may prove useful for cetaceans as well.

The significant variability among dolphin schools noted by Evans (1975) and Perrin (1969) indicate that gene flow may be limited at the level of the individual school, as opposed to larger groupings. Movement data on spinner and spotted dolphins, however, indicate that school composition may be dynamic for these species (Perrin *et al.*, 1979). These conflicting results could be an artifactual result of the capture process; single schools may splinter or several schools may be herded together during a chase by a purse seiner. Alternatively, large aggregations of dolphins may be naturally composed of several, fairly distinct breeding units (Perrin, personal communication). More information on dolphin movements and school integrity is needed in order to understand what constitutes a breeding population. Data on movements may help determine stock boundaries and whether populations are discrete or clinally distributed. Long-term tagging and tracking studies of dolphins can determine whether school composition is stable or dynamic.

LITERATURE CITED

- Au, D.W.K. 1979. Porpoise distribution maps. Paper no. SOPS/79/14 prepared for the Status of Porpoise Stocks workshop, Southwest Fisheries Center, La Jolla, CA., 6 pp.
- Au, D.W.K., W.L. Perryman, and W.F. Perrin. 1979. Dolphin distribution and the relationship to environmental features in the eastern tropical Pacific. 59 pp. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-79-43.
- Avise, J.C., R.A. Lansman, and R.O. Shade. 1979. The use of restriction endonucleases to measure mitochondrial DNA sequence relatedness in natural populations. I. Population structure and evolution in the genus Peromyscus. Genetics 92:279-295.
- Banks, R.C., and R.L. Brownell. 1969. Taxonomy of the common dolphins of the eastern Pacific Ocean. J. Mammal. 50(2):262-271.
- van Bree, P.J.H. and P.E. Purves. 1972. Remarks on the validity of Delphinus bairdii (Cetacea, Delphinidae). J. Mammal. 53(2):372-374.
- Evans, W.E. 1975. Distribution, differentiation of populations, and other aspects of the natural history of Delphinus delphis Linnaeus in the northeastern Pacific. PhD dissertation. University of California at Los Angeles. 145 pp.
- Evans, W.E. In press. Distribution and differentiation of stocks of Delphinus delphis Linnaeus in the northeastern Pacific. In Mammals of the Seas. FAO Fisheries Series.
- Perrin, W.F. 1969. Color pattern of the eastern Pacific spotted porpoise Stenella graffmani Lonnberg (Cetacea, Delphinidae). Zoologica 54(4):135-142.
- Perrin, W.F. 1972. Color patterns of spinner porpoises (Stenella cf. S. longirostris) of the eastern Pacific and Hawaii, with comments on delphinid pigmentation. Fish. Bull. 70(3):983-1003.
- Perrin, W.F. 1975 a. Distribution and differentiation of populations of dolphins of the genus Stenella in the eastern tropical Pacific. J. Fish. Res. Bd. Can. 32(7):1059-1067.
- Perrin, W.F. 1975 b. Variation of spotted and spinner porpoise (Genus Stenella) in the eastern tropical Pacific and Hawaii. Bull.

- Scripps Inst. Oceanogr. 21:1-206.
- Perrin, W.F. 1979. Taxonomic status of the "south-western stocks" of spinner dolphin Stenella longirostris and spotted dolphin S. attenuata. Rep. Int. whal. Commn 29:175-184.
- Perrin, W.F., Evans, W.E., Holts, D.B. 1979. Movements of pelagic dolphins (Stenella spp.) in the eastern tropical Pacific as indicated by results of tagging, with summary of tagging operations, 1969-76. NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-737. 14 pp.
- Rice, D.W. 1977. A list of the marine mammals of the world. NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-711. 15 pp.
- Smith, T. 1979. Report of the status of porpoise stocks workshop. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-79-41. 120 pp.
- Southwest Fisheries Center. 1976. Report of the workshop on stock assessment of porpoises involved in the eastern Pacific yellowfin tuna fishery. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-76-29.
- Working Party on Marine Mammals, UN Food and Agriculture Organization. 1978. Mammals in the Seas. FAO Fisheries Series No. 5, Volume 1. 264 pp.
- Worthen, G.L. 1981. Preliminary analysis of the potential for stock assessment of Pacific Ocean delphinids by G and C chromosome banding. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-81-02C. 99 pp.

TABLE 1. Morphometric comparisons among spotted dolphin stocks (from Perrin 1975e).

|          | Adult length<br>(see Fig. 2)<br>(cm) |                   | Adult color patterns  | Skeleton                             |                                    |                  |
|----------|--------------------------------------|-------------------|---|--------------------------------------|------------------------------------|------------------|
|          | Males                                | Females           |   | Adult condylobasal<br>length<br>(mm) | Adult<br>teeth<br>diameter<br>(mm) | No.<br>vertebrae |
| Coastal  | 203-257<br>(37)                      | 164-227<br>(76)   | Dorsal spotting light to heavy, but medium to heavy in most. Dorsoventral contrast low.                             | 419-460<br>(18)                      | 3.4-5.7<br>(9)                     | 77-79<br>(9)     |
| Offshore | 179-224<br>(352)                     | 167-206<br>(1042) | Dorsal spotting light to heavy, but medium to light in most. Far offshore (>800 km) animals lightly spotted.        | 356-411<br>(68)                      | 2.7-4.0<br>(65)                    | 77-83<br>(61)    |
| Hawaiian | 162-202<br>(6)                       | 189-203<br>(3)    | Dorsal and ventral spotting so obscure as to appear absent. Adult resembles neonate of offshore race (Perrin 1970). | 395-440<br>(12)                      | --                                 | 74<br>(2)        |

TABLE 2. Morphometric comparisons among spinner dolphin stocks (from Perrin 1975a)

| Race        | Adult length<br>(cm) |                 | (Shape of adult males)   |                      | Color pattern<br>(terminology of Perrin 1972b)  | Skull                         |                            |
|-------------|----------------------|-----------------|--------------------------|----------------------|---|-------------------------------|----------------------------|
|             | Males                | Females         | Dorsal fin               | Ventral hump         |   | Caudalbasal<br>length<br>(mm) | Zygomatic<br>width<br>(mm) |
| Costa Rican | 181-216<br>(2)       | 193-203<br>(3)  | Canted to<br>triangular  | --                   | Poorly known, but like that of eastern.   | 410-437<br>(4)                | 149-152<br>(4)             |
| Eastern     | 161-186<br>(44)      | 160-181<br>(75) | Canted to<br>triangular  | Medium to<br>extreme | Dark dorsal field obscures cape and<br>extends ventrad, leaving light areas in<br>genital and axillary regions. Monotone effect.                            | 351-407<br>(26)               | 155-153<br>(29)            |
| Whitebelly  | 170-196<br>(79)      | 161-194<br>(95) | Triangular<br>to falcate | Medium to<br>slight  | Dorsal field extends ventrad only to<br>level of eye laterally and has<br>irregular margin. Cape faintly visible<br>through dorsal field. Bipartite effect. | 365-419<br>(13)               | 145-158<br>(14)            |
| Hawaiian    | 185<br>(1)           | 183-201<br>(2)  | Falcate                  | Slight               | Light dorsal field to level of eye, with<br>smooth margin. Cape very obvious.<br>Tripartite effect.   | 431-464<br>(10)               | 155-171<br>(10)            |

FIGURE LEGENDS

- Figure 1. Sightings of spotted dolphins by IATTC and NMFS scientific technicians on board tuna boats in 1974-1980.
- Figure 2. Sightings of spinner dolphins by IATTC and NMFS scientific technicians on board tuna boats in 1974-1980.
- Figure 3. Sightings of common dolphins by IATTC and NMFS scientific technicians on board tuna boats in 1974-1980.
- Figure 4. Sightings of striped dolphins by IATTC and NMFS scientific technicians on board tuna boats in 1974-1980.

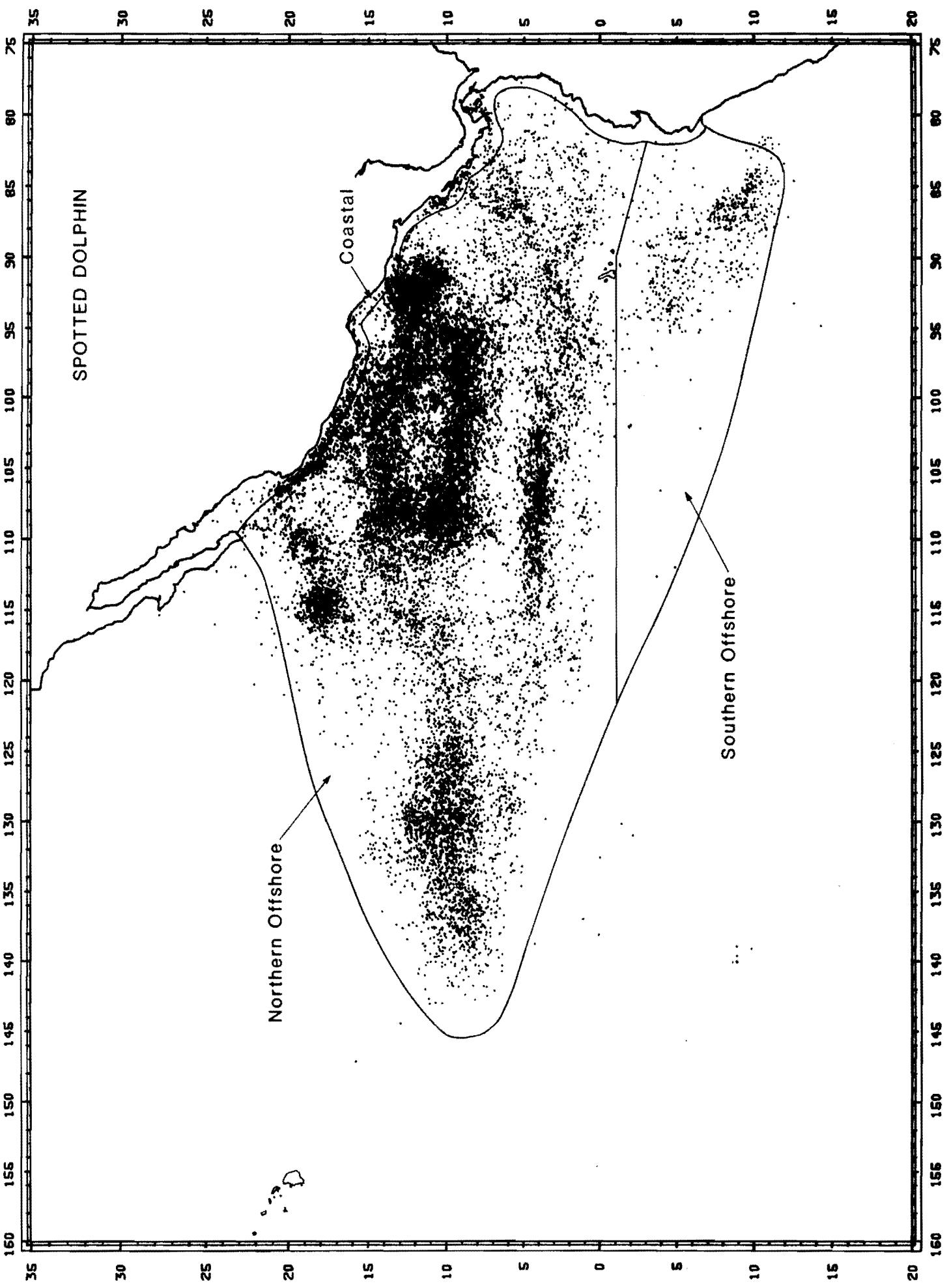


Figure 1.

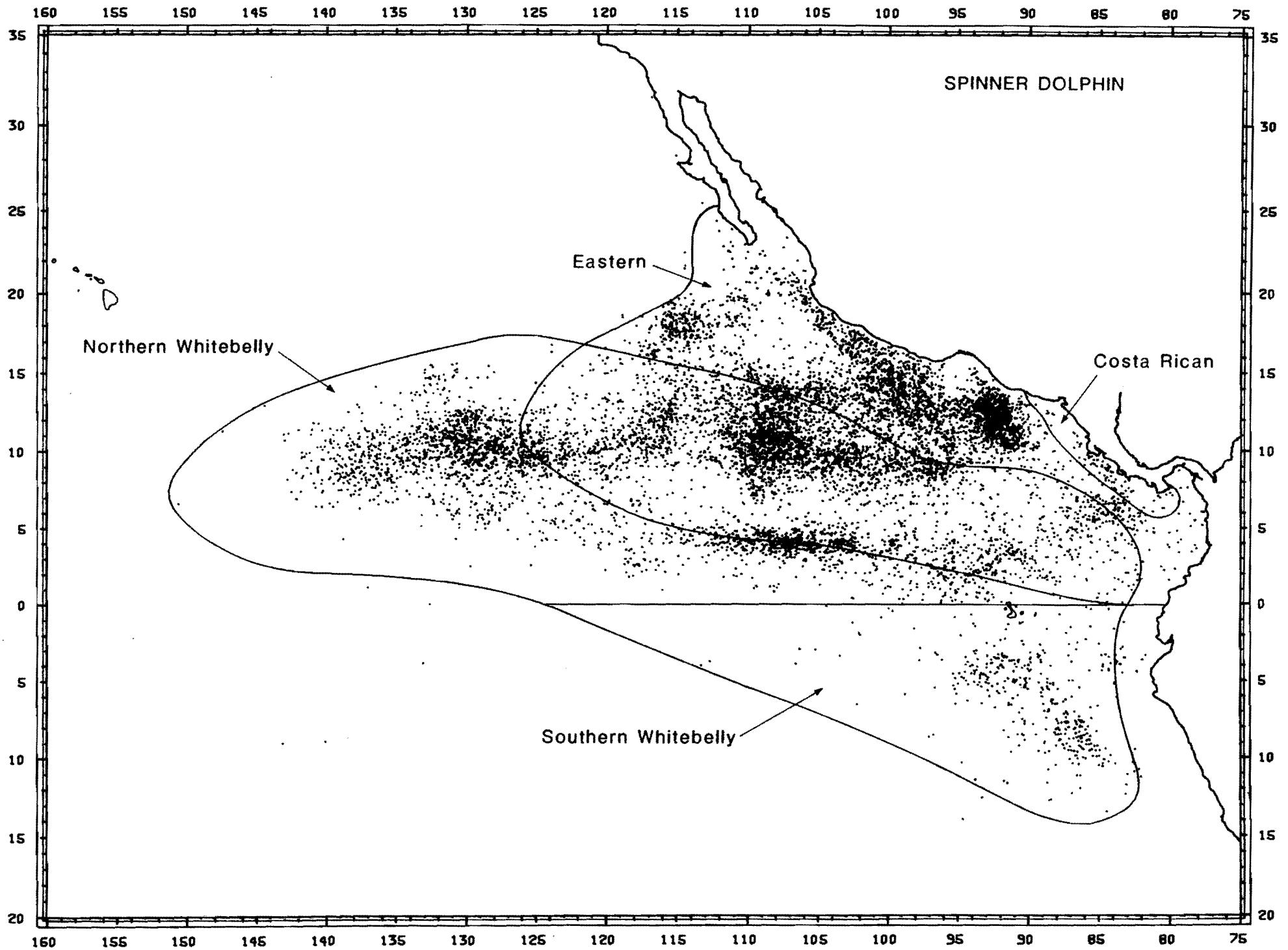


Figure 2.

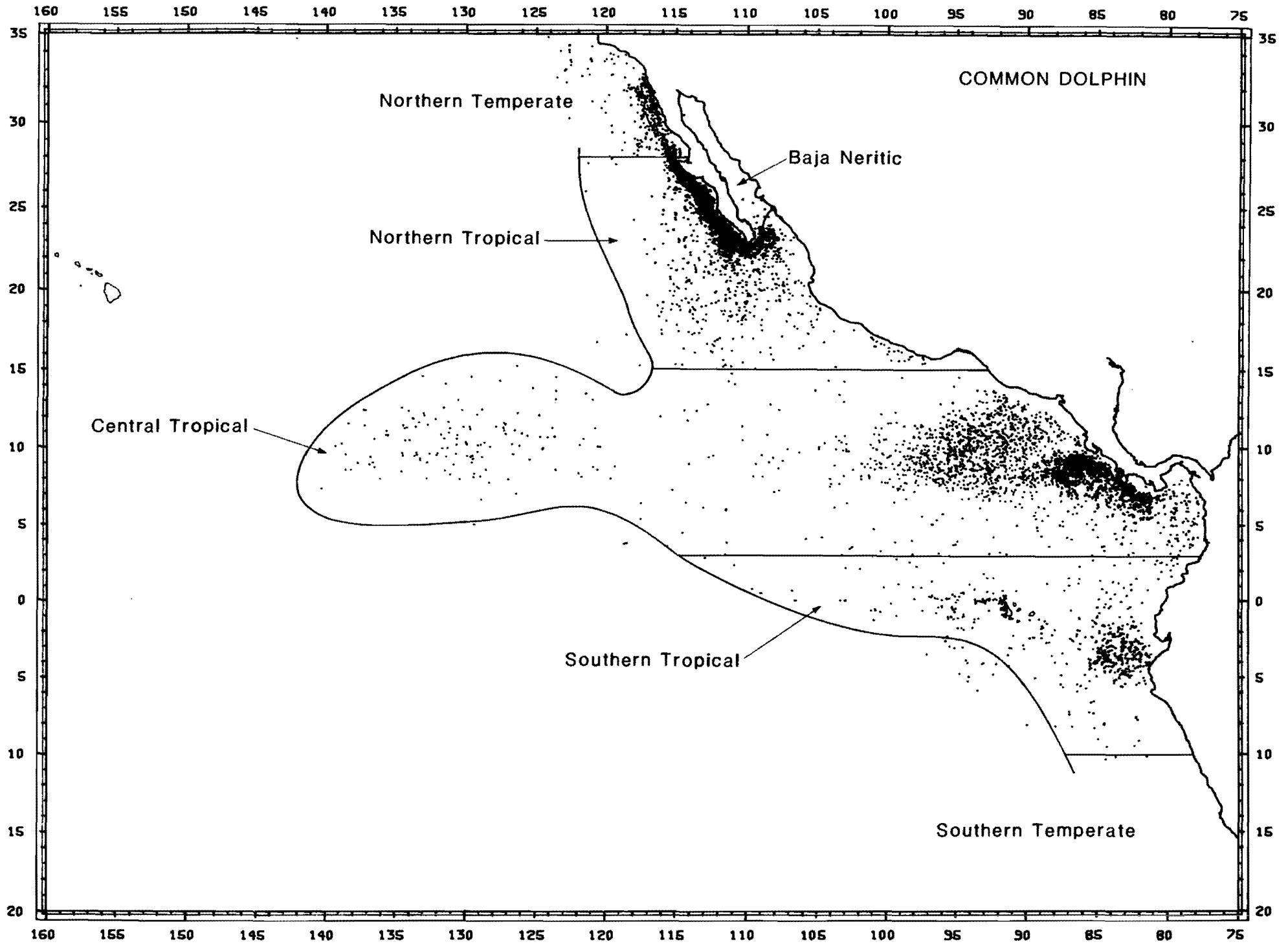


Figure 3.

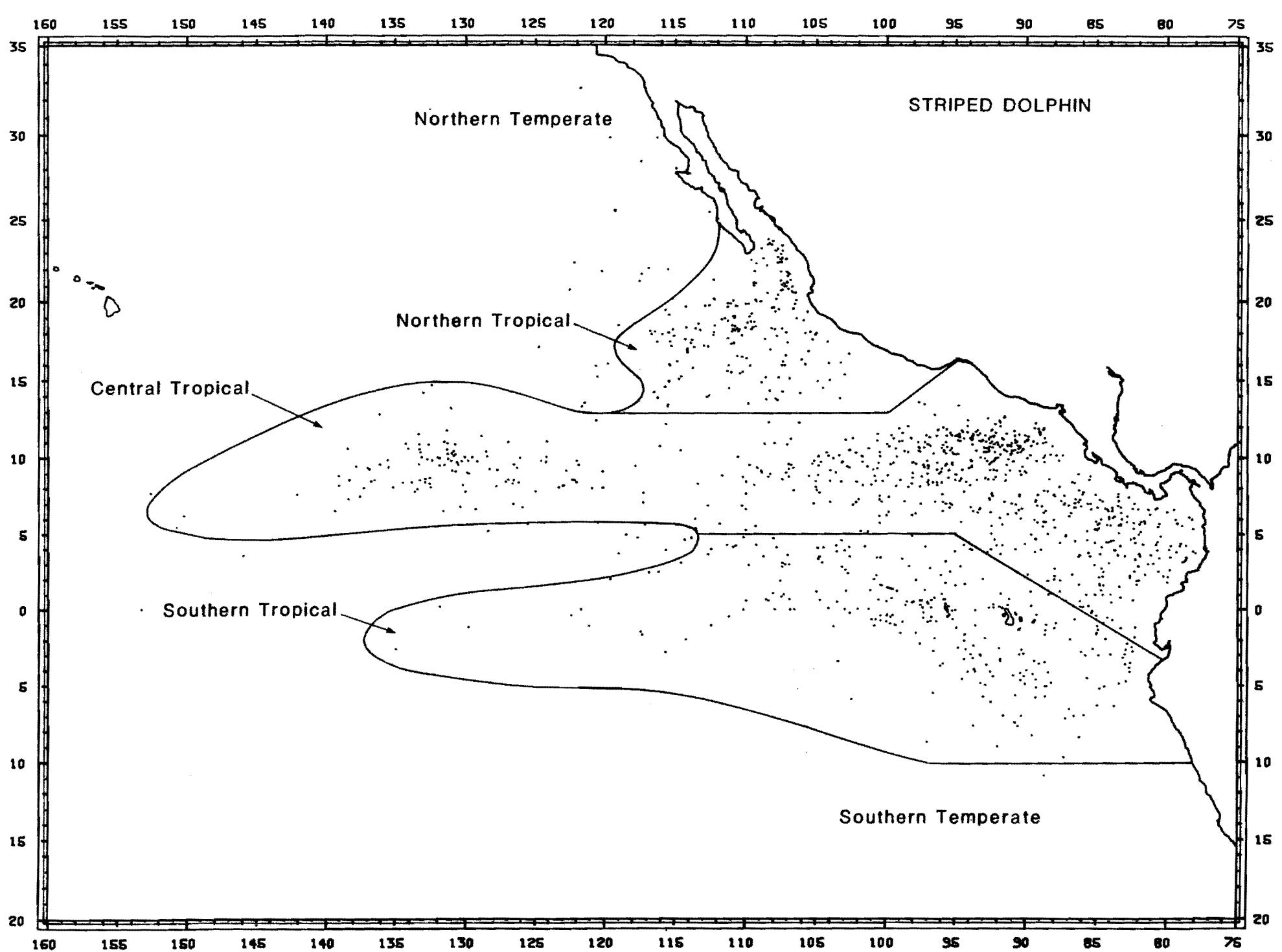


Figure 4.

APPENDIX 5

COMMENTS ON THE DISTRIBUTION OF  
SPOTTED, SPINNER, COMMON AND STRIPED DOLPHIN  
IN THE TROPICAL PACIFIC OCEAN

Franklin G. Alverson

Porpoise Rescue Foundation  
San Diego, California, USA

Review Paper Prepared  
for the Tuna-Dolphin Workshop

Managua, Nicaragua  
April 6-10, 1981



INTRODUCTION

The distribution of spotted, Stenella attenuata; spinner, S. longirostris; striped, S. coeruleoalba and common dolphin, Delphinus delphis, the key species involved in the eastern Pacific purse seine fishery for tropical tunas, has been the subject of a number of published and unpublished documents (Alverson, 1976 a and b; Alverson, 1977 a, b, c, d; Alverson, 1980; Alverson and Broadhead, 1975; Au, 1977b; Au, 1979a; Au, Perryman and Perrin, 1979; Broadhead, 1976 and 1977; Perrin, 1975 and 1977). Without exception, these papers were generated by the need to define the area inhabited by each species/stock, a critical factor in estimating abundance for management purposes. The knowledge of distribution for these species has evolved with the passage of time and the acquisition of sighting information. The best current estimate of distribution for each species remains an open question (Alverson, 1976b; Alverson, 1980; Perrin, 1975; Perrin, 1977; and Au, 1977 and 1979).

Since 1976, the areas of distribution for each species have been partitioned into stocks by the U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS) for the purposes of management. A stock is defined as a population or unit having limited genetic exchange with adjacent units of the same species (Smith, 1979). The number of stocks within each species and their boundaries have changed frequently as additional data have been acquired. The latest revision took place in 1979 when 14 tropical stocks; 3 spotted, 4 spinner, 4 common and 3 striped, were defined (Smith, 1979). The distribution of sightings of each species by NMFS and IATTC observers and the distribution of each species/stock as portrayed by NMFS may be found in Figures 1-4 of a paper on dolphin stocks prepared for this workshop (Scott, Appendix 4 in this report).

The various stocks have been defined by NMFS on the basis of size, shape, coloration and skeletal characteristics (spotteds and spinners) and a hiatus in spatial distributions (common, Baja neritic an exception, and striped). In late 1980, the IATTC reviewed the status of dolphin stocks and concluded that the current information indicated two stocks of spotted, three spinner, one common and one striped stock, a total of seven (Anon., 1980a).

In my brief paper, the current level of knowledge about the distribution of spotted, spinner, common and striped dolphin as species is reviewed and some thoughts as to the complexities that face us at the stock level are examined.

#### SPECIES DISTRIBUTION

The distribution of spotted, spinner, common and striped dolphin in the eastern Pacific, and some indications of their distribution on an oceanwide basis, are shown in Figures 1 through 5. In Figure 6, the sightings of unidentified dolphins by personnel aboard purse seine vessels, trollers and survey vessels are shown. The records to the westward of the eastern Pacific stocks as depicted by NMFS, Figures 1 through 5, and the composite boundary of all species combined, Figure 6, are not complete but time has not permitted the acquisition and plotting of additional information. For instance, not included in the figures are the documented presence of spotted, spinner and striped dolphin among the main islands of the Hawaiian chain, and the presence of spotted and spinner dolphin off the Philippine Islands and Japan. Nor is Morzer-Bruyns (1971) depiction showing spinners extending from the South American coast, in a bow-shaped distribution south of the equator, string of bow at  $0^{\circ}$  latitude, to  $180^{\circ}$  longitude and that showing a trans-Pacific distribution for striped dolphin.

The case for a trans-Pacific distribution of spotted, spinner and striped dolphin within what may be termed transitional and tropical waters is overwhelming. The sighting of these species in the central and western Pacific at latitudes considerably to the north of these in the eastern Pacific should come as no surprise. In July-August the  $24^{\circ}$  isotherm between  $140^{\circ}\text{W}$  and  $140^{\circ}\text{E}$  trends northward from about latitude  $20^{\circ}\text{N}$  to latitude  $35^{\circ}\text{N}$  off the coast of Japan, a northerly displacement of about 900 nm. There is no evidence of a trans-Pacific distribution in tropical waters for the common dolphin. However, I believe that it may have such a trans-Pacific distribution in the northern temperate waters. This requires further investigation. Examination of the plot of sightings for unidentified dolphin (Figure 6) only strengthens the case of a trans-Pacific distribution of spotted, spinner and striped dolphin. The former two are the dominant species in the eastern Pacific

and from the sparse data on sightings from the western Pacific, appear to dominate that area as well.

Within the eastern Pacific, the boundaries as currently defined, see various papers cited by this report, for spotted, spinner, common and striped dolphin are in need of revision to a greater or lesser degree, depending upon the species in question. For the spotted, this comment holds true for nearly the entire perimeter of the current boundary. For the spinner this holds true to the west and southern portion of the boundaries. Also, boundary adjustments appear appropriate in the case of the striped, west of about 115° longitude and north of about 10°N; and to the west in latitudes 0°-5°N. In addition the southwestern edge of the common dolphin's distribution may require adjustment.

#### STOCKS

Scott (Appendix 4 in this report) has reviewed the criteria used to differentiate the stocks of spotted (3 stocks), spinner (4), common (4) and striped dolphin (3) in the tropical eastern Pacific. NMFS defines a stock as a population unit having limited genetic exchange with adjacent units of the same species (Smith, 1979). However, limited genetic exchange is not defined nor are the units. There may be limited genetic exchange between spotted dolphins found at 15°N and 105°W and those at 10°N and 140°W or those found at 10°S and 90°W. However, genetic exchange, if one moves by one degree increments from 15°N and 105°W to the two points noted above, must be considerable.

Smith (1980) states:

"The available evidence to date is that there is a morphological gradient across that area, that is, the porpoise...the spotted porpoise that occur nearer the shore. This gradient, which is really reflective of a lack of total movement in the area, doesn't really fall into the area of two separate stocks, nor one freely mixing stock."

This cline hypothesized by Smith is probably closer to the truth, not only for spotted dolphins but for the other species as well. We are looking at clines in coloration, size, shape and skeletal characteristics, east-west, northeast-southwest or other, not the abrupt ending of one stock and the beginning of another at some latitude, longitude, or

some combination thereof. Time has not allowed a detailed review for all the stocks involved in the fishery but some fascinating glimpses of the problems have been culled by a brief review of the literature. These are discussed briefly below.

Spotted Dolphin

On the basis of differences in the color patterns noted from five (six ?) schools of dolphins, one (two ?) captured in the vicinity of  $10^{\circ}$ N and  $93^{\circ}$ W and four captured in the vicinity of  $7^{\circ}$ N and  $92^{\circ}$ W, Perrin (1969) suggested that schools of this species may constitute genetic entities. That individual schools retain their integrity to the extent that they are genetic entities is an interesting concept. In the waters of Puget Sound, there is an increasing amount of evidence for a complicated stock structure for killer whales. Balcomb *et al.* (1980) mention evidence which implies that the so-called resident and transient whales are separate breeding units. Within these populations, however, the identified pods frequently intermingle or break up into sub-groups.

Perrin, *et al.* (1979) split the previously identified offshore stock (Perrin, 1975) into northern and southern entities, breaking at  $1^{\circ}$  south of the equator. Subsequently, the Status of Porpoise Stocks Workshop (Smith, 1979) modified the division line between the two stocks by slanting it southerly at  $90^{\circ}$ W longitude to intersect the coastline of South America at  $30^{\circ}$ S latitude. The decision to propose two offshore stocks was based upon modal differences in coloration, size, shape, skeletal characteristics and a hiatus in sightings of spotted dolphin along the equator. The comment is made that the southern animals differed from those just to the north, i.e., of the equator, but just to the north is not defined.

Barham (1976) observed that

"Coloration differences were noted in the two schools observed on February 22, just north of the equator at about  $107^{\circ} 30'$  W. In these schools the degree of spotting was medium to sparse in adult sized animals and the marginal line of their cape pattern was very distinct. This coloration is considered to be more characteristic of spotted dolphins previously observed further west."

Were these schools (at  $00^{\circ} 52'N$  and  $1^{\circ} 28'N$ ) a portion of the southern stock?

Spinner Dolphin

Perrin, et al. (1979) split the whitebelly spinner stock into northern and southern components, breaking at 1°S latitude, using the same criteria noted above for the offshore spotted. However, the Status of Porpoise Stocks Workshop (Smith, 1979) revised the boundary, making the break at the equator.

With reference to survey cruises conducted in early 1979, Au (1979b) notes:

"Farther west at 2°26'N, 129°41'W, a small school of southern whitebelly spinners was identified."

Au (1977a) notes as follows:

"In all schools of the non-eastern type encountered, some individuals had a ventral keel and a black band separating the darker lateral field from the white, ventral surface. This band, the anteriorward extent of which varied, went completely around the anal region. These individuals appear to be the larger ones in the school."

The schools observed ranged over a wide area, i.e., 3°N 114°W, 3°N 112°W, 3°S 106°W, 5°S 96°W, 6°S 85°W, 4°N 120°W. Do these animals represent one, two or more stocks?

In reference to spinners, the report for Porpoise Cruise 319 (Au and Perryman, 1978) notes as follows:

"Three distinct forms of this species were observed. The animals sighted near 18° and 19°N latitude were classical eastern spinners (i.e., uniform dark gray, triangular to forward canted dorsal fins, etc.) ... Three schools of spinner dolphins seen near 11°N latitude and 109°W longitude were also identified as eastern spinners. Unlike the schools seen at 18°-19°N, a few individuals in each of these schools had mottled, cream-white patches with indistinct margins around their anal region."

It appears that the four schools sighted to the west of the Galapagos Islands and the two schools south and southeast of these islands were from the "southwestern stock of spinner dolphins." "Southwestern" is synonymous with southern stock. The four schools sighted to the west of the Galapagos were at 1°39'N, 0°25'N, 0°40'N and 0°22'N. The authors also note that:

"Photographs also revealed that some individuals from the schools sighted at  $3^{\circ}12'N$ ,  $106^{\circ}32'W$  appeared to be from this 'southwestern' stock."

Perrin (1977) notes:

"The existence of a single (but very well documented record at  $3^{\circ}52'S$ ,  $133^{\circ}02'W$  raises the distinct possibility that the species may be continuously distributed between the eastern Pacific and the Marquesas, where resident schools of spinners are known to occur (present data and Norris, *et al.* ms.). Alternately, of course, the isolated sighting, separated by several hundred miles from the nearest record in any direction (over 1,000 miles from the nearest record to the east) would represent the outer reaches of the Marquesas population or less likely the ETP population."

Perryman (1977), in reporting the results of Porpoise Cruise 214, comments about a school observed at  $11^{\circ}16'N$  and  $147^{\circ}25'W$  as follows:

"Some individuals in this schools of whitebelly spinners were noted to have a dark band between the lateral and vertical fields."

His other general observations were:

"The two schools sighted in open water south of the equator closely resembled the Hawaiian form of spinner. Most had a distinct dorsal cape, a light gray lateral field and a white ventral field that extended dorsally nearly to eye level. The dorsal fins were mostly falcate but some males displayed triangular fins and small ventral keels. There was much variability in color pattern noted within these schools. On some individuals, the three-phase color pattern was less distinct and they looked like whitebelly spinners."

In the area of overlap between the distribution of the northern whitebelly and eastern spinners, apparent intergrades have been collected (Perrin, 1975).

#### DISCUSSION

Obviously, a great deal of work remains to be done with respect to the oceanic distribution of the species, distribution of the species within the eastern Pacific, distribution of the various "stocks" and the number of stocks present. The question, "are the stocks currently so identified actually stocks in the sense of genetic isolation or are

clinal gradients in effect?" still must be answered. Then, a key management question "what stocks are affected by fishing mortality?" can be answered.

The numerous sightings in the eastern Pacific outside the boundaries established at the Status of Porpoise Stocks Workshop (Smith, 1979) dictate the need for a species and stock review. The tacit assumption that animals to the west of the outer limits of the fishery are not affected by it, is in need of examination.

The current contract let by NMFS to the University of Oklahoma to conduct an analysis of geographical variation in size, shape and skeletons of both spotted and spinners should provide a better picture of variability in characteristics by area. The use of chromosome banding as a potential tool for stock assessment has been explored (Worthen, 1981). Unfortunately, the small number of tissue growths (5) obtained from this study do not clearly spell out the potential for the use of this approach.

The current observer programs being conducted by the NMFS and IATTC offer a potential for the collection of additional material, i.e., observations on color pattern, collection of additional skeletal material to fill in distributional gaps in current collections and more material on size. These programs are currently underutilized and are in need of re-examination to maximize the collection of data needed to clarify questions concerning stocks.

Genetic isolation at the school level does not appear to be a reasonable answer. Results obtained during the course of the Cooperative Dedicated Vessel Program (CDVP), DeBeer ( 1980), indicate that schools break up and reform on short order. However, Perrin's observations were made only three to four years after the fleet commenced fishing in the area where his samples were drawn and it is possible that his observations may have been made on schools that were experiencing their first set. The observations made during the CDVP were some 12-13 years after setting commenced in the areas sampled. Observations of unfished schools of dolphins in other locations reveal that school composition is rather fluid, Wursig and Wursig (1977) and Norris and Dohl (1980).

A more careful examination of oceanographic factors might determine whether the use of a hiatus in the distributions of some species to set

stock boundaries are more apparent than real. The questions of why the break for the central and southern tropical common stocks at 3°N, that for the central and southern tropical striped at 5°N between 113° and 95°W which then slides diagonally off the 3°S at the coast, that for the northern and southern whitebelly spinner at the equator and that for the northern and southern offshore spotted stocks at 10°S is worthy of further study. Are the former, common and striped, related to the counter-current; are the latter, spotted and spinner, related to the cool waters flowing out of the westward extension of the Peru Current?

Examination of the temperature distribution in the equatorial region during the months of January-April, when the purse seine fishery is most active south of the equator, reveals that in many years there appears to be no apparent barrier to the north-south movement of animals, thus making genetic exchange possible, i.e. water 22°C (72°F) and cooler at 90°W (Renner, 1972-1980). This occurred, for example, in 1972 (January-April), 1973 (January-April), 1974 (February-March), 1975 (January-April) and so on. Conversely, commencing about June each year, the influence of the cooler waters emanating from the extension of the Peru Current becomes accentuated. In that month in 1970, waters 72°F or cooler extended as far westward as 105°-110°W, by July the tongue of cool water extended to the vicinity of 125°W, by August to 134°W, and in September the tongue had retreated to about 120°W. This in a year where temperature deviations from the long-term mean ran below normal. Deviations ran below the long-term mean through December 1971 and in January 1972 commenced to run above. For 16 straight months, commencing January 1972, 72°F water never extended further west than 86°W and conditions were ideal for north-south movement of tropical dolphins. I think it is safe to say that the oceanic regime in the equatorial region has been generally warmer since that time.

In the 1960's, cooler water prevailed. The cold Peru Current and its westward extension, the South Equatorial Current, has most certainly not been much of a temperature barrier in the equatorial region in recent years. For some periods, yes, but in others, no.

There are many interesting questions that need resolution. Time, money and people are needed. Unfortunately, money seems to be a limiting factor at present. We should maximize the use of the assets we have

available to assemble the information needed to answer some of these questions.

LITERATURE CITED

- Anon. 1952-1979. Approximate number of whales, porpoise and seal sightings. NMFS, Honolulu Lab, computer printout, period 5/8/52-6 /5/79. 21 pp.
- Anon. 1970-1979. Porpoise sets by one-degree area. IATTC computer printouts.
- Anon. 1974a. M/V Jordan shipboard mammal watch sighting records, Porpoise Cruise 84. NMFS SWFS records.
- Anon. 1974b. Sea Treasure cruise - 10/15/73-2/10/74. Pac. Tuna Dev. Found. 29 pp.
- Anon. 1976. Observations of porpoise by the Apollo, Mary Elizabeth and Zapata Pathfinder, during the course of a PTDF charter in 1976. LMR files. 3pp.
- Anon. 1977a. Shipboard mammal watch sighting record. NMFS, SWFC, porpoise observer cruise records.
- Anon. 1977b. Tuna purse seine charter to the western Pacific July-November, 1976. Pac. Tuna Dev. Found. 47pp.
- Anon. 1978a. Shipboard mammal watch sighting record. NMFS, SWFC porpoise observer cruise records.
- Anon. 1978b. Townsend Cromwell Cruise 78-04. NMFS, SWFC, Honolulu Lab.
- Anon. 1979a. Shipboard mammal watch sighting record. NMFS, SWFC and IATTC porpoise observer cruise records.
- Anon. 1980a. Tuna-dolphin investigations. IATTC Background Paper No. 6 (38th Meeting of the IATTC), 46 pp.
- Anon. 1980b. Shipboard mammal watch sighting records, NMFS, SWFC and IATTC, porpoise observer cruise records.
- Alverson, F.G. 1976a. Distribution of the common dolphin and distribution of the striped dolphin. Presented at public hearing on proposed 1977 regulations for taking of marine mammals incidental to commercial fishing. Exhibits 34 and 33, respectively.
- Alverson, F.G. 1976b. A chronological review of the distribution of porpoise associated with the tuna fishery in the eastern Pacific. House of Representatives, Committee on Merchant Marine and Fisheries, hearings before Subcommittee on Fisheries and Wildlife Conservation and the Environment, Serial No. 99-45, pp. 294-313.

- Alverson, F.G. 1977a. Statement on behalf of the American Tunabot Association. House of Representatives, Committee on Merchant Marine and Fisheries, Subcommittee on Fisheries and Wildlife Conservation and the Environment. Serial 95-8, pp. 273-280.
- Alverson, F.G. 1977b. Charts on distribution. House of Representatives, Committee on Merchant Marine and Fisheries, Subcommittee on Fisheries and Wildlife Conservation and the Environment. Serial 95-8, pp. 235-238.
- Alverson, F.G. 1977c. Statement on behalf of the American Tunabot Association. Senate Hearings before Committee on Commerce, Science and Transportation, Serial 95-12, pp. 238-24
- Alverson, F.G. 1977d. Statement on behalf of the American Tunabot Association. House of Representatives, Committee on Merchant Marine and Fisheries, Serial 95-3, pp. 308-343.
- Alverson, F.G. 1980. Distribution of spotted, spinner, common and striped dolphin stocks in the eastern tropical Pacific Ocean. USTF Tech. Bull. No. 3. 53 pp.
- Alverson, F.G. and G. Broadhead. 1975. Testimony on behalf of the American Tunabot Association, Tuna Research Foundation, Fishermen's Union of the American Pacific and Caribbean Area Affiliated with the Seafarer's International Union, AFL-CIO, Fishermen's Union ILWU. U.S. Dept. of Commerce, informal hearing to consider reissuance of incidental take general permits, Washington, D.C., October 9 and 10, 1975, 67 pp. plus appendices.
- Au, D.W.K. 1976. NOAA ship Townsend Cromwell, Porpoise Cruise 168, January 5 to March 3, 1976. NMFS, SWFS, cruise report, 16 pp.
- Au, D.W.K. 1977a. R/V David Starr Jordan, Porpoise Cruise 213, January 4-March 8, 1977. NMFS, SWFC, cruise report, 40 pp.
- Au, D.W.K. 1977b. Review of species/stock boundaries. NMFS, SWFC, 10 pp
- Au, D.W.K. 1979a. Porpoise distribution maps. NMFS, SWFC, memo Au to G.T. Sakagawa, 6 pp.
- Au, D.W.K. 1979b. R/V David Starr Jordan Porpoise Cruise 463 and R/V Townsend Cromwell Porpoise Cruise 464, January 3-March 16, 1979. NMFS, SWFC, cruise report, 24 pp.
- Au, D.W.K. 1980a. Report on cetacean studies conducted from R/V Researcher (PC-648). NMFS, SWFC, cruises report, 3 pp. Table 4 pp.

- Au, D.W.K. 1980b. Report on the 1980 porpoise survey cruises R/V David Starr Jordan (cruise 598) and R/V Townsend Cromwell (cruise 599). NMFS, SWFC cruise report, 1/3-3/5/80. pp. 1-4.
- Au, D.K.W. and W.L. Perryman 1978. NOAA ship David Starr Jordan Porpoise Cruise 319, October 3 to November 21, 1977. NMFS, SWFC, cruise report, 42 pp.
- Au, D.K.W., W.L. Perryman and W.F. Perrin. 1979. Dolphin distribution and the relationship to environmental features in the eastern tropical Pacific. NMFS, SWFC, Admin. Rpt. No. LJ-79-43, 59 pp.
- Au, D.W.K., R. Pitman and S. Sinclair. 1980. Cruise NOAA ship Oceanographer, March 21-April 19, 1980. NMFS, SWFC cruise report. 5 pp.
- Balcomb, K.C., J.C. Boran, R.W. Osbourne, and N.J. Haene I. 1980. Observations of killer whales (Orcinus orca) in greater Puget Sound, State of Washington. Final report for MMC contract MM13 1-7. NTIS PB80-224 728. 42 pp.
- Barham, E.G. 1976. R/V David Starr Jordan, Porpoise Cruise 169, January 5-March 2, 1976. NMFS, SWFC, cruise report, 38 pp.
- Broadhead, G.C. 1976. Statement at public hearing on proposed 1977 regulations for taking of marine mammals incidental to commercial fishing for yellowfin tuna, plus appendices.
- Broadhead, G.C. 1977. Statement at public hearing on proposed regulations governing the take of marine mammals incidental to commercial fishing operations, population levels and the management of porpoise in the eastern Pacific. MMPAH #1, 1977, 26 pp.
- Burns, F. and D. Souter. 1980. Tuna purse seining cruise report June-August 1980. White Star. Pac. Tuna Dev. Found. 29 pp.
- DeBeer, John 1980. Cooperative Dedicated Vessel Research Program on the tuna/porpoise problem: overview and final report. Marine Mammal Commission, 38 pp., 5 app.
- Far Seas Fisheries Research Laboratory. 1980. Data records of marine mammal sighting survey conducted by salmon research vessels, 1978 and 1979. Fishery Agency of Japan, FSFRL, 71 pp.
- Lambert, James. 1977a. R/V Oceanographer, Porpoise Cruise 232, March 24 to April 15, 1977. NMFS, SWFC, cruise report, 6 pp.
- Lambert, James. 1977b. R/V Oceanographer, Dome Cruise RP -7-02-77, Porpoise Cruise 310, June 27-July 29, 1977. NMFS, SWFC, cruise report,

- 9 pp.
- Love, C.M. (Editor). 1971. Biological and nutrient chemistry data from principal participating ships, First Survey Cruise, February-March, 1967. NMFS, Eastropac Atlas, Circular 330, Vol. 2, Figures SP1, SW1, 10BP and 10BF.
- Love, C.M. (Editor). 1972. Biological and nutrient chemistry data from principal participating ships, Second Survey Cruise, August-September, 1967. NMFS, Eastropac Atlas, Circular 330, Vol. 6, Figures SP2, SW2, 40BP and 40BF.
- Morzer-Bruyns, W.F.J. 1971. Field guide of whales and dolphins. Amsterdam, 201 pp, 28 plates, 18 charts.
- Norris, K.S. and T.P. Dohl. 1977. The behavior of the Hawaiian spinner porpoise (Stenella longirostris). Univ. Calif. Manuscript. pp 1-66. Also pub. in the Fishery Bulletin, Vol. 77, No. 4, 1980. pp. 821-850.
- Perrin, W.F. 1969. Color pattern of the eastern Pacific spotted porpoise, Stenella graffmani Lonnberg (Cetacea, Delphinidae). Zoolo-gica, Vol. 54, No. 4, pp. 135-149.
- Perrin, W.F. 1975. Distribution and differentiation of populations of dolphins of the genus Stenella in the eastern tropical Pacific. Journal of Fish. Res. Bd., Canada, Vol. 32, No. 7, pp. 1059-1067.
- Perrin, W.F. 1977. Review of stock boundaries. NMFS, SWFC, memo Perrin to J.E. Powers, 19 pp.
- Perrin, W.F., P.A. Sloan and J.R. Henderson. 1979. Taxonomic status of the "Southwestern Stocks" of spinner dolphin Stenella longirostris and spotted dolphin S. attenuata. Rep. int. Whal. Commn 29, pp. 175-184.
- Perryman, Wayne. 1976. Results of Oceanographer Dome Cruise, Leg 7 (Porpoise Cruise 216). NMFS, SWFC, memo to William Fox, dated September 2, 1976. 5 pp., appendix, 29 pp marine mammal sightings.
- Perryman, Wayne. 1977. NOAA ship Townsend Cromwell, Porpoise Cruise 214, January 6- March 25, 1977. NMFS, SWFC, cruise report, 31 pp.
- Renner, J. (Editor). 1970-1980. Fishing Information. NMFS, SWFC, issued monthly.
- Rice, Dale. 1975. Extract from field notes taken aboard the Russian vessel Vnushitel'nyi. NOAA/NMFS, Northwest Fisheries Center.

- Salomons, Robert. 1980. Tuna purse seining cruise report June-September 1980, Island Princess. Pac. Tuna Dev. Found. 48 pp.
- Scott, M.D. 1981. Dolphin stocks in the eastern tropical Pacific. Appendix 4 in this report. 16 pp.
- Smith, T.D. (Editor). 1979. Report on the status of porpoise stocks workshop (August 27-31, 1979). NMFS, SWFC, Adm. Rpt. No. LJ -79-41, 120 pp.
- Smith, T.D. 1980. Testimony at formal hearing re: amendments to incidental taking regime. NOAA, transcript of proceedings April 1, 1981, pp. 87-282
- Souter, D. and G. Broadhead. 1978. Purse seine fishing for yellowfin and skipjack in the southern waters of the central and western Pacific, Jeanette C. charter. Pac. Tuna Dev. Found. Bull. No. 2, 77 pp.
- Souter, D. and R. Salomons. 1980a. Tuna purse seining Island Princess cruise report June-October 1979. Pac. Tuna Dev. Found., 37 pp.
- Souter, D. and R. Salomons. 1980b. Tuna purse seining Jeanette C. cruise report May-September 1979. Pac. Tuna Dev. Found. 1 pp.
- Tafoya, Tim. 1980. School of spotted porpoise observed at 17°S and 95°W. Personal communication. 1 p.
- Worthen, Gary L. 1981. Preliminary analysis of the potential for stock assessment of Pacific Ocean delphinids by G and C chromosome banding. NMFS, SWFC, Admin. Rpt. No. LJ-81-02C, 99 pp.
- Wursig, B. and M. Wursig. 1977. The photographic determination of group size, composition and stability of coastal porpoises (Tursiops truncatus). Amer. Assoc. for the Advanc. of Sci., Vol. 198, No. 4318, Nov. 18, 1977, pp. 755-756.

FIGURE LEGENDS

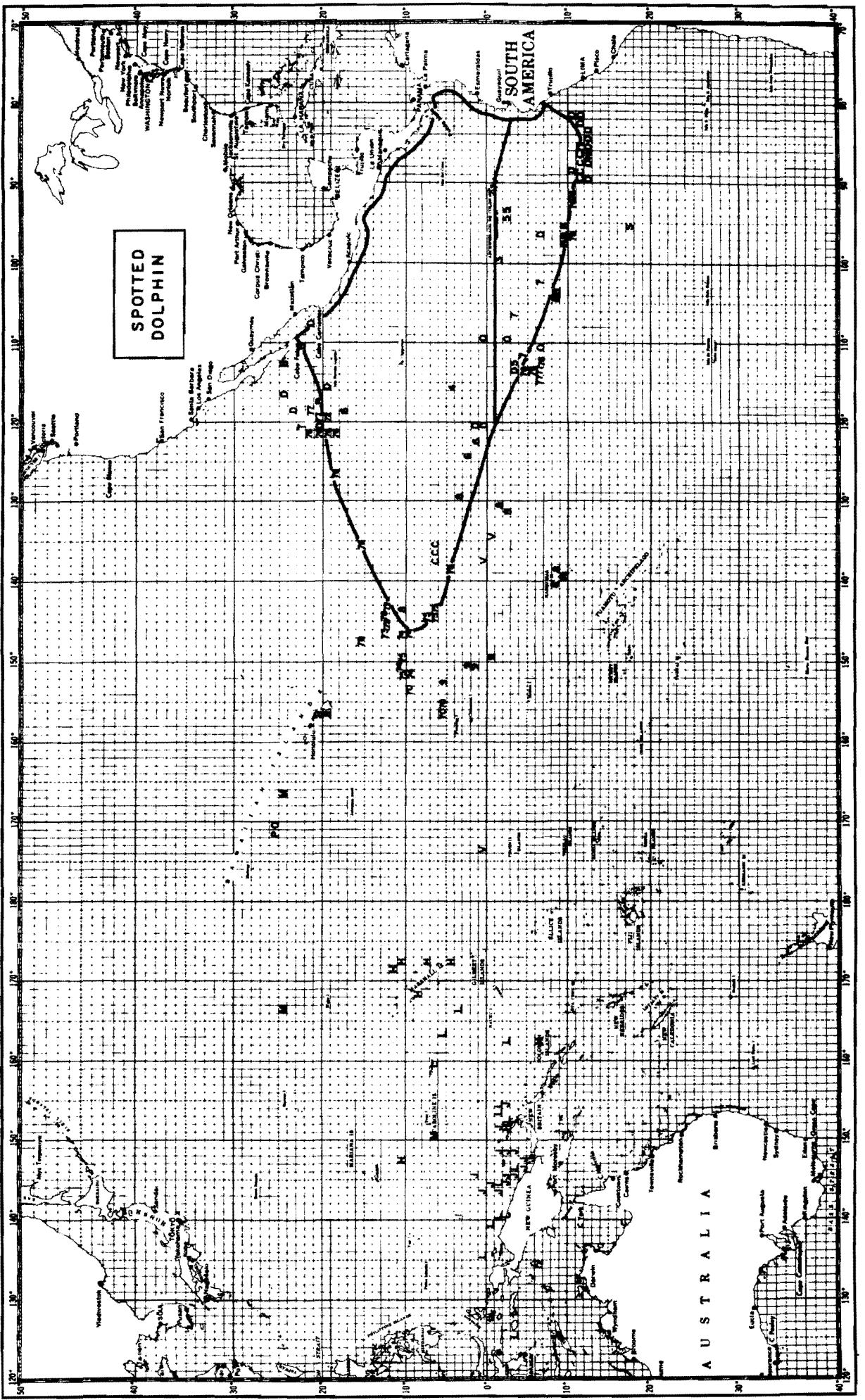
- Figure 1. Some sightings of spotted dolphin outside the range as established by the Status of Stocks Workshop (Smith, 1979). Key to symbols: 70-78 refer to the one-degree areas where IATTC has records of porpoise sets in the years 1970-1978, respectively. B - Anon., 1978a. C - Anon., 1977a. D - Anon., 1980. G - Salomons, 1980. H - Souter and Salomons, 1980a. J - Souter and Broadhead, 1978. K - Souter and Salomons, 1980b. L - Anon., 1976. M - Burns and Souter, 1980. R - Anon., 1974b. S - Tafoya, 1980. T - Au, 1980b. V - Au, Pitman and Sinclair, 1980. W - Au, 1980a. 3 - Rice, 1975. 4 - Anon., 1974. 5 - Au, 1976. 6 - Barham, 1976. 7 - Au, 1977a. 8 - Perryman, 1977. 9 - Perryman, 1976.
- Figure 2. Sightings of eastern spinner dolphin outside the range as established by the Status of Stocks Workshop (Smith, 1979). Key to symbols. 70-79 - One degree areas where IATTC has records of porpoise sets. A - Anon., 1977a - sightings of eastern spinner. B - Anon., 1978a - sightings of eastern spinner. C - Anon., 1979a - sightings of eastern spinner. D - Anon., 1980b. T - Au, 1980b.
- Figure 3. Some sightings of whitebelly spinner dolphin outside the range as established by the Status Of Stocks Workshop (Smith, 1979). Key to symbols: 70-79 - One degree areas where IATTC has records of porpoise sets in the years 1970-1979, respectively. G - Salomons, 1980. H - Souter and Salomons, 1980a. J - Souter and Salomons, 1978. L - Anon., 1976. M - Burns and Souter, 1980. N - Anon., 1978b. P - Anon., 1976. R - Anon., 1974b. V - Au, Pitman and Sinclair, 1980. W - Anon., 1980b. X - Anon., 1977a. Y - Anon., 1978a. Z - Anon., 1979a. 5 - Au, 1976. 6 - Barham, 1976. 7 - Au, 1977a. 8 - Perryman, 1977. 9 - Perryman, 1976. 13- Au, 1979b

Figure 4. Some sightings of common dolphin outside the range as established by the Status of Stocks Workshop (Smith, 1979). Key to symbols: A - Anon., 1977a. B - Anon., 1978a. C - Anon., 1979a. D - Anon., 1980b. K - Souter and Salomons, 1980b. Q - Far Seas Fisheries Lab, 1980. 4 - Anon., 1974a. 5 - Au, 1976. 7 - Au, 1977a. 8 - Perryman, 1976.

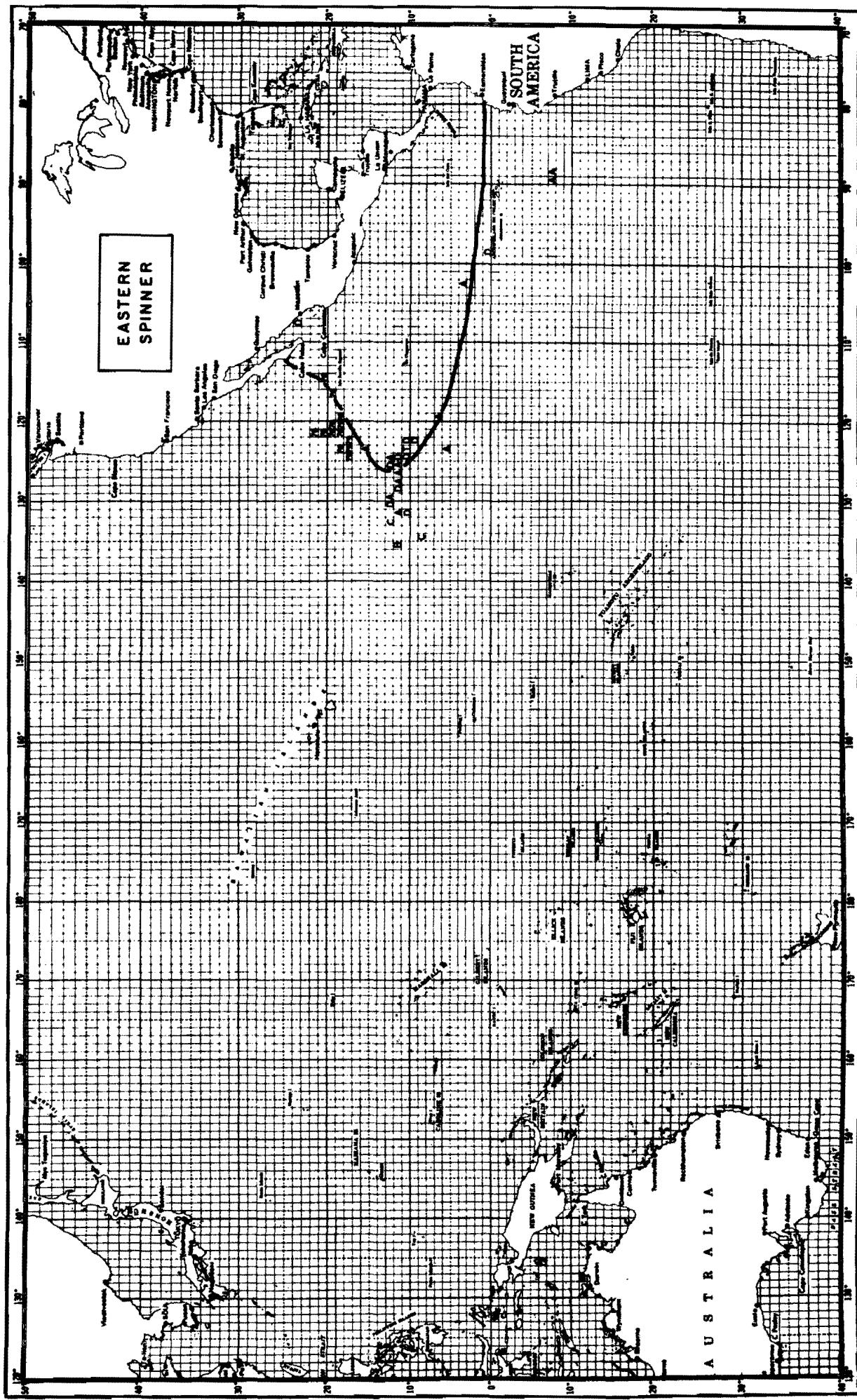
Figure 5. Some sightings of striped dolphin outside the range as established by the Status of Stocks Workshop (Smith, 1979). Key to symbols: A - Anon., 1977a. B - Anon., 1978a. C - Anon., 1979a. D - Anon., 1980b. J - Souter and Salomons, 1978. K - Souter and Salomons, 1980b. T - Au, 1980b. V - Au, Pitman and Sinclair, 1980. 3 - Rice, 1975. 4 - Anon., 1974a. 7 - Au, 1977a. 8 - Perryman, 1976. 9 - Perryman, 1977. 11 - Lambert, 1977b. 13 - Au, 1979 (M/V Jordan). 14 - Au, 1979 (M/V Cromwell).

Figure 6. Some sightings of unidentified dolphin outside the composite range of spotted, spinner, common and striped dolphin as established by the status of stocks workshop (Smith, 1979). Key to symbols. G - Salomons, 1980. H - Souter and Salomons, 1980a. J - Souter and Salomons, 1978. K - Souter and Salomons, 1980b. L - Anon., 1976. M - Burns and Souter, 1980. V - Au, Pitman and Sinclair, 1980. N - Anon., 1952-1979 (1952-1959). Y - Anon., 1952-1979. (1960-1969). X - Anon., 1952-1979 (1970-1979). [1] - Love, 1971. [2] - Love, 1972. 4 - Anon., 1974a. 8 - Perryman, 1977. 9 - Perryman, 1976. 10 - Lambert, 1979a. 11 - Lambert, 1979b. 12 - Au and Perryman, 1978. 13 - Au, 1979 (M/V Jordan).

Figure 1



**Figure 2**



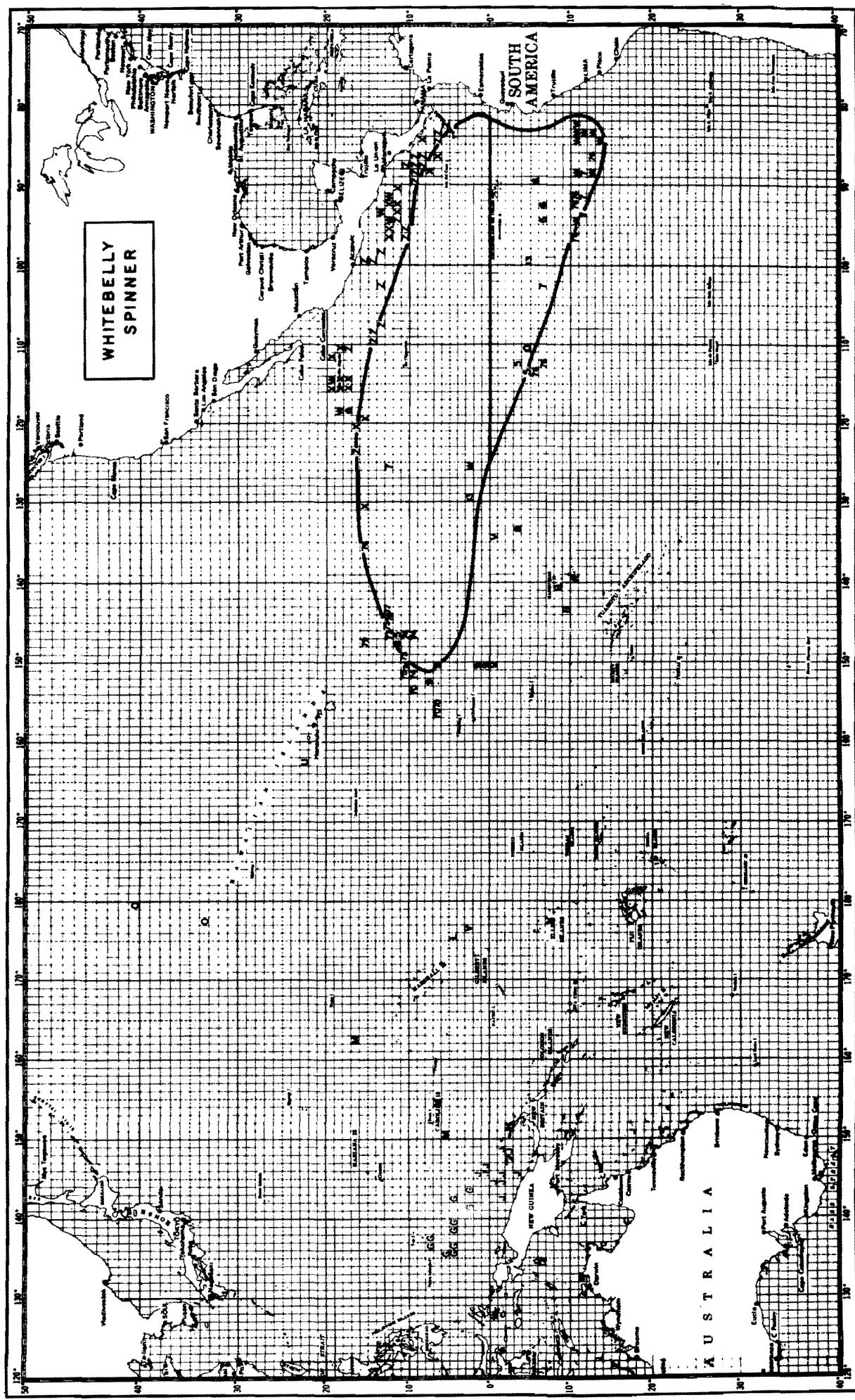


Figure 3

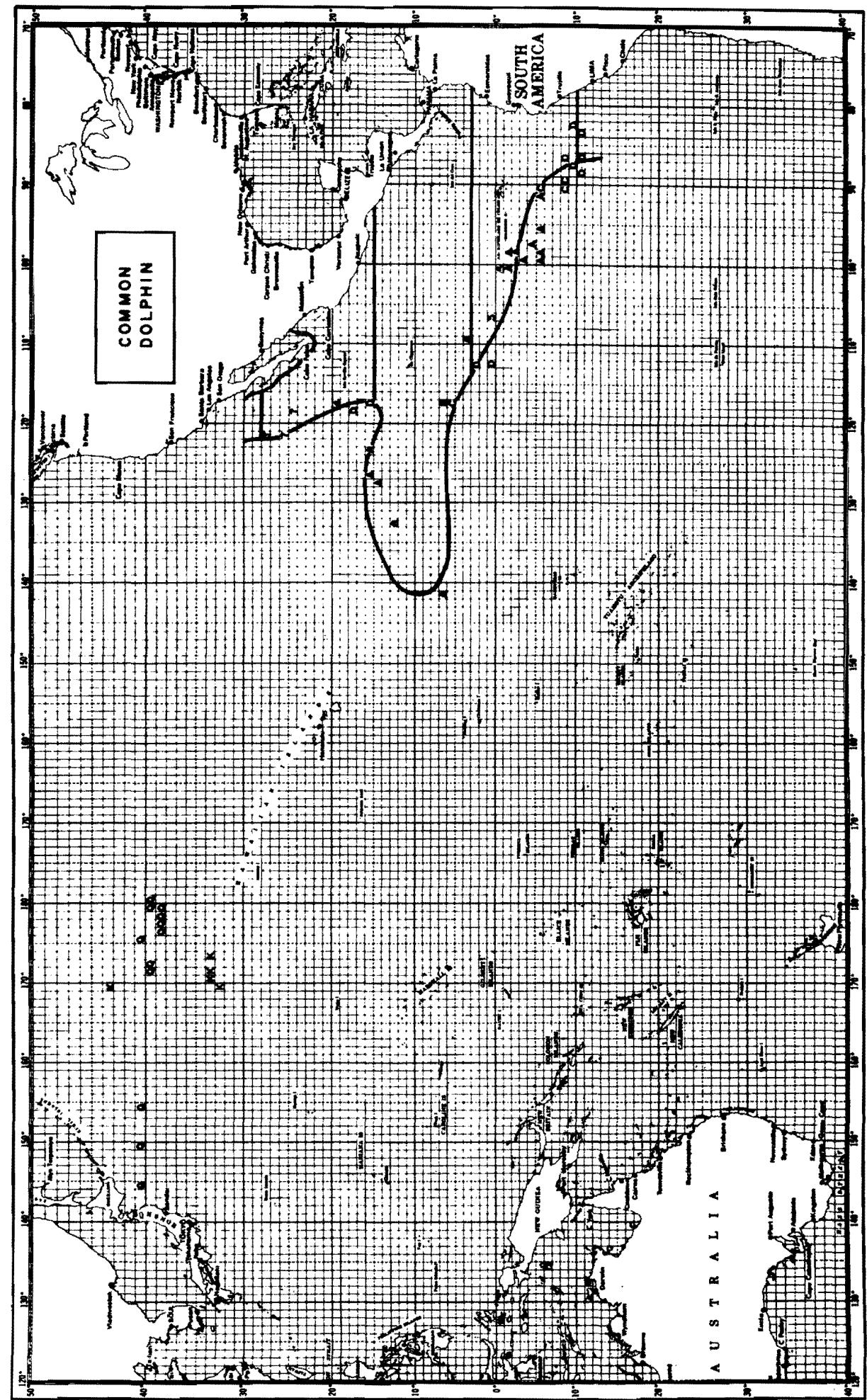


Figure 4

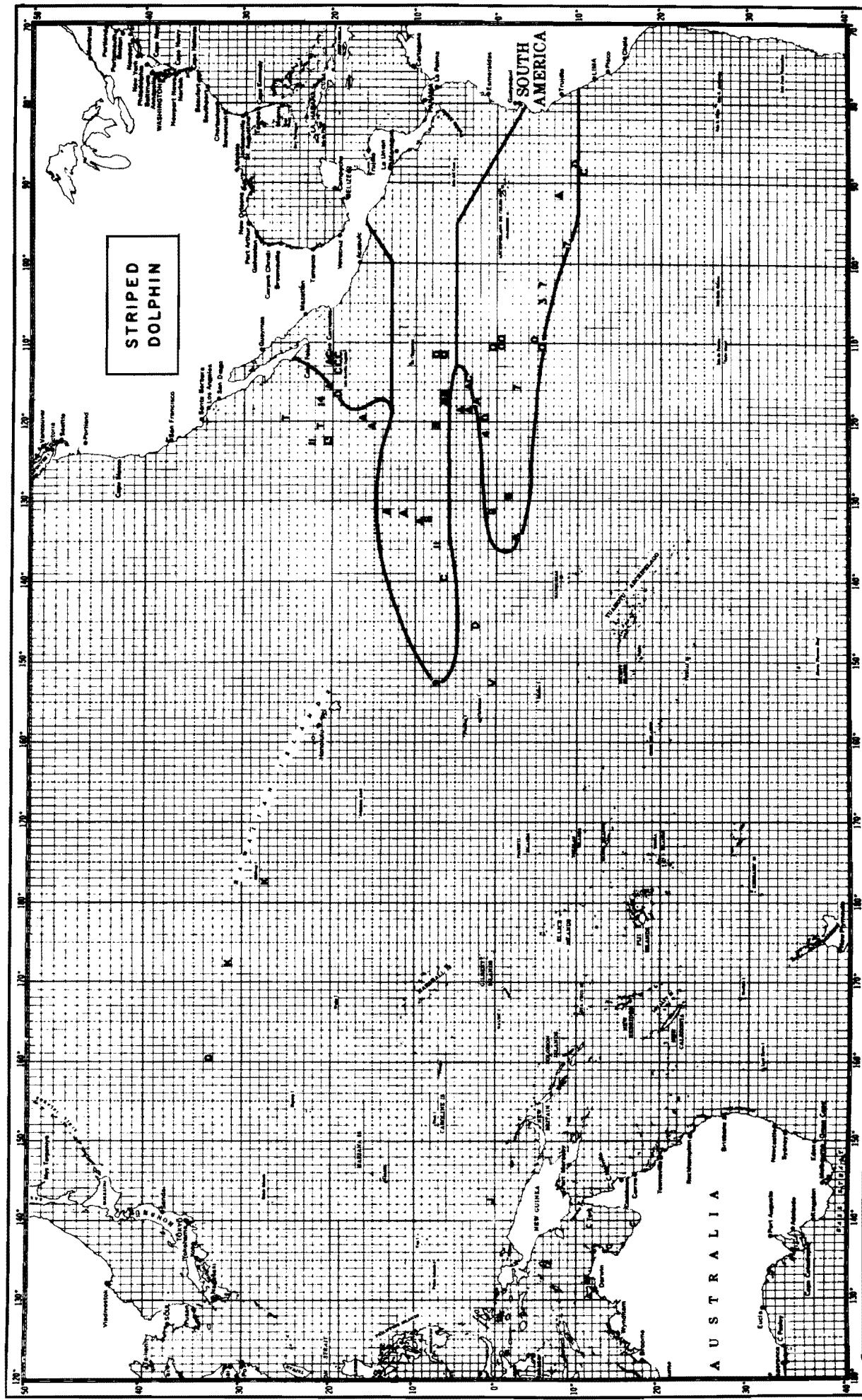
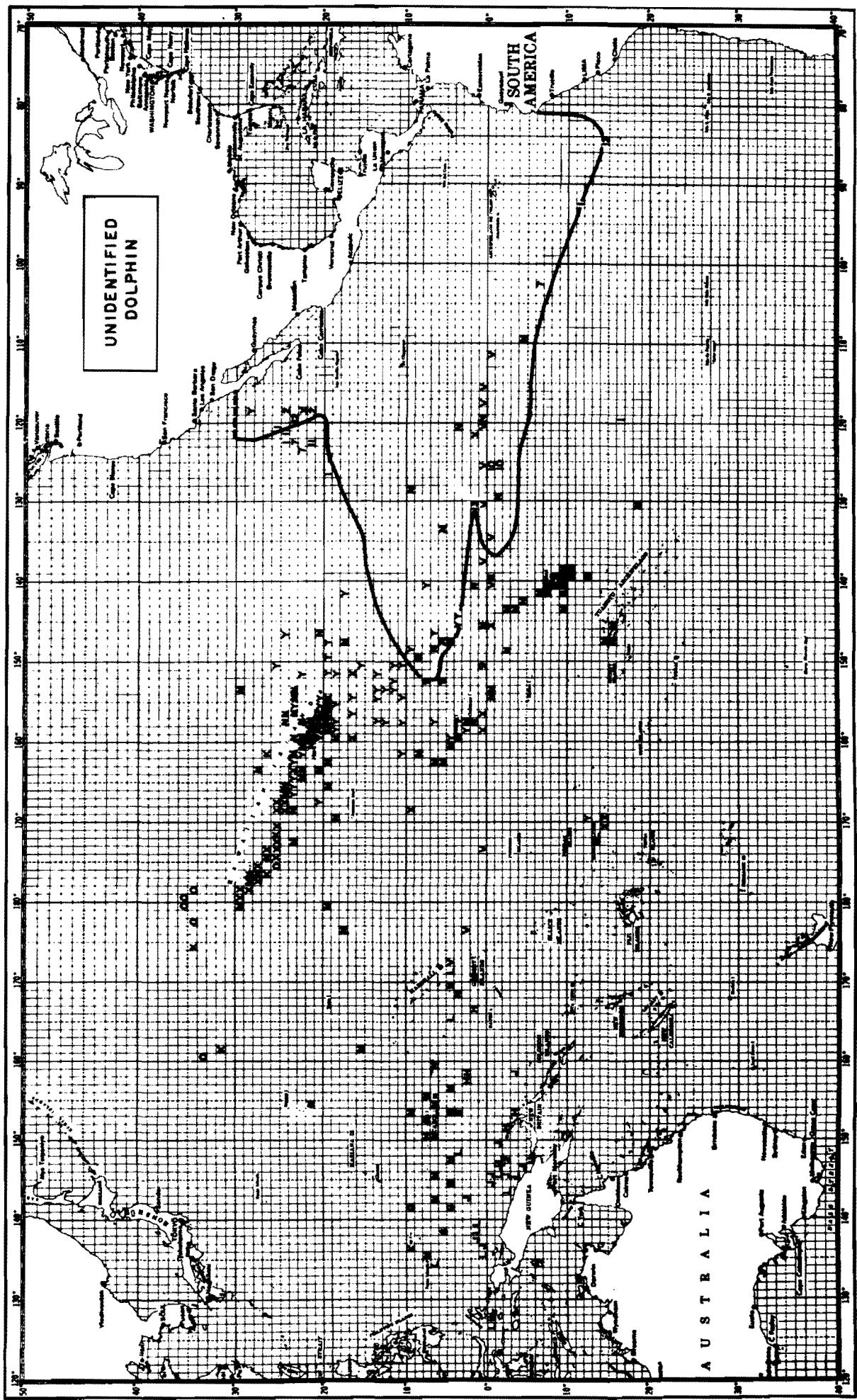


Figure 5

Figure 6



APPENDIX 6

PARTICIPANTS

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Allen, Robin L.       | Inter-American Tropical Tuna Commission<br>La Jolla, CA 92037, USA   |
| Alverson, Franklin G. | Porpoise Rescue Foundation<br>Living Marine Resources Inc.<br>7169 Construction Court<br>San Diego, CA 92121, USA                |
| Arostegui, Jose A.    | Instituto de Recursos Naturales y del Ambiente<br>Km 12 1/2 Carretera Norte<br>Managua, Nicaragua                                |
| Beddington, John R.   | International Institute for Environment<br>and Development<br>10 Percy Street, London W1<br>United Kingdom                       |
| Cole, Jon S.          | Inter-American Tropical Tuna Commission<br>La Jolla, CA 92037, USA   |
| Compean, Guillermo    | Instituto Nacional de la Pesca<br>Centro de Investigaciones Pesqueras El Sauzal<br>Apartado Postal 976<br>Ensenada, B.C., Mexico |
| Dorati, Luis A.       | Ministerio de Comercio e Industrias<br>Direccion de Recursos Marinos<br>Apartado 9658<br>Panama, Republic de Panama              |
| Fleischer, Luis A.    | Instituto Nacional de la Pesca<br>Departamento de Pesca<br>Alvaro Obregon 269<br>Mexico D.F., Mexico                             |
| Gazol, Juan J.        | Instituto Nicaraguense de la Pesca<br>Apartado Postal 2020<br>Managua, Nicaragua   |
| Justine, Gustavo      | Ministerio de Comercio e Industrias<br>Direccion de Recursos Marinos   |



COMISION INTERAMERICANA  
DEL ATUN TROPICAL

INTER-AMERICAN  
TROPICAL TUNA COMMISSION

Informe Especial No. 4

INFORME DEL GRUPO DE TRABAJO SOBRE LA INTERACCION  
ATUN-DELFIN

Managua, Nicaragua

6 al 10 de Abril de 1981

Editado por

P. S. Hammond

La Jolla, California

1981



### PREFACIO

En abril de 1981, la CIAT convocó un grupo de trabajo de investigadores en Managua (Nicaragua), para deliberar sobre la asociación atún-delfín e indicar prioridades referentes a una investigación futura que pueda facilitar la cuantificación o el reconocimiento de los efectos de cualquier interacción. El grupo trató de seguir como una guía los términos de referencia que se enumeran más adelante.

1. Examinar el conocimiento actual de los objetivos referentes a la interacción atún-delfín en el Océano Pacífico oriental tropical.
2. Analizar las posibles formas de la interacción atún-delfín.
3. Examinar la administración del complejo atún-delfín con referencia a las condiciones anteriores.
4. Examinar los puntos necesarios y eficaces de investigación para poder determinar la naturaleza de la interacción atún-delfín.
5. Indicar futuros experimentos y reconocimientos con este fin.

El siguiente informe es una versión escrita de las deliberaciones del grupo de trabajo, presentado como publicación individual preparada por el personal de la CIAT. Los puntos originados en la conferencia, pero que no fueron discutidos en ella se incluyen como notas al pie de las páginas. Este informe se usará como guía para investigaciones futuras de la CIAT sobre la interacción atún-delfín. Incluye y reconoce las ideas de todos los participantes del grupo de trabajo, las que se enumeran en el Anexo 6, aunque no representan necesariamente opiniones individuales o colectivas.

El grupo de trabajo se realizó con la participación del personal del Instituto de Pesca de Nicaragua, cuya colaboración se agradece.

### INTRODUCCION

La pesca del atún aleta amarilla Thunnus albacares en el Pacífico oriental tropical, es única, ya que una proporción importante de su captura es de peces encontrados en asociación con una o más especies de delfines. No se ha logrado comprender cabalmente esta asociación, pero por varios años los pescadores atuneros han utilizado los cardúmenes de delfines que son más visibles y que pueden agruparse más fácilmente para poder localizar y capturar los atunes. En los últimos años, el concepto de administrar los recursos renovables con relación a su ambiente, ha

tenido más auge. Cualquier recurso renovable se vincula estrechamente a otros componentes en el sistema general y actualmente es más evidente que la explotación de un recurso afecta otro. Este es el caso del atún aleta amarilla y de los delfines en el Pacífico oriental tropical aunque los delfines mueren incidentalmente con relación a la pesca y no son explotados. Parece que se obtendrían ventajas evidentes si se administrara como un todo el conjunto atún-delfín. Para realizar esto es necesario comprender los efectos que tienen los atunes y delfines los unos sobre los otros y los mecanismos causantes de la interacción.

La implicación de los delfines en la pesca con cerco del atún aleta amarilla ha sido descrita por Allen (1981), pero es apropiado destacar aquí algunos de los puntos importantes. Los delfines forman actualmente una parte importante de la pesca. Tanto como el 80% de la captura total anual del aleta amarilla ha sido en asociación con delfines, aunque este porcentaje se ha reducido a menos del 50% en los últimos años (CIAT, 1980). Una vez formada, parece que la asociación es muy fuerte como lo indica el hecho que aún cuando se persigue un cardumen de delfines o se cala la red sobre él, el aleta amarilla permanece con los delfines. Esto demuestra que el aleta amarilla es el componente activo en la asociación. Dado esto, es en cierta forma sorprendente que el aleta amarilla se asocie definitivamente más con ciertas especies de delfines que con otras.

Como un antecedente para examinar la posible base de la interacción atún-delfín, es necesario describir primero el conocimiento que se tiene sobre las especies implicadas. Además, es conveniente, actualmente, analizar la forma en que nuestro conocimiento actual puede aumentar, en términos de solucionar problemas evidentes en los métodos actuales y, desde el punto de vista de nuevos conceptos de trabajo a los cuales nos podemos aproximar.

Aunque este documento se refiere a la interacción atún-delfín, el siguiente análisis de este estudio trata solamente de los delfines. Sin embargo, es importante mencionar algunos aspectos de la biología del atún aleta amarilla. Una sinopsis por Cole (1980) sumariza la investigación anterior. La investigación actual de la Comisión del atún aleta amarilla se describe en CIAT (1981). En general, los datos obtenidos del atún aleta amarilla serán más fáciles de analizar si se

trata de descubrir los efectos de los tipos propuestos de las interacciones entre atunes y delfines. Esto se debe a que los datos del atún aleta amarilla son más abundantes, se han obtenido durante un período más prolongado y son en cierta forma más detallados que los datos de las varias especies de delfines. Además, es más fácil obtener datos experimentales sobre atunes que sobre delfines. Por consiguiente, es importante poder describir tan precisamente como sea posible el ciclo evolutivo del aleta amarilla para poder descubrir tan fácilmente como se pueda cualquier variación debida a los efectos de la interacción. Una guía de investigación sería, por ejemplo, tratar de determinar la etapa del ciclo vital en la que estén actuando los mecanismos que dependen de la densidad. (Se pueden reconocer tales mecanismos por el hecho de que se ajustan bien al modelo sencillo de producción). Por ejemplo, el análisis de una generación que incluye una mortalidad dependiente de la densidad, en lugar de usar una mortalidad natural constante, puede dar un mejor ajuste de los datos. O puede que la dependencia de la densidad indique que actúa sobre los índices de crecimiento o reclutamiento. Es importante observar aquí, que los datos cuantiosos que se tienen son solamente para la población reclutada. Se tienen pocos datos de las larvas y del prereclutamiento del atún aleta amarilla (Cole, 1981).

#### POBLACIONES Y DISTRIBUCION DE LOS DELFINES

Fuera de ser ecológicamente interesante poder determinar la distribución de una población de animales, es importante cuando se ha ido reduciendo la misma debido a la mortalidad causada por la pesca. Si se han de evaluar los efectos de esta mortalidad, sería necesario definir la distribución física de toda la población afectada. Además, si el esfuerzo causante de la mortalidad no se distribuye aleatoriamente, es importante poder determinar la distribución de la población dentro de sus límites efectivos. La determinación de la distribución se vincula estrechamente a la estimación de la abundancia; esta sección se refiere a la forma de definir los límites de la población y a la forma cualitativa de examinar la distribución dentro de esos límites.

Parece que en el Pacífico oriental tropical las características físicas ambientales determinan la distribución de Stenella spp. y Delphinus delphis. Au, Perryman y Perrin (1979) han examinado la

oceanografía de la región y han discutido la relación entre la distribución de los delfines y las características físicas como son los vientos predominantes, corrientes, temperatura superficial del mar, salinidad superficial, concentración de oxígeno, profundidad de la capa mixta y el gradiente de la termoclina. La oceanografía de esta zona cambia estacionalmente, así que en cualquier momento dado, es probable que cada una de las varias especies de delfines solo ocupa una porción de su máxima distribución anual.

Con el fin de mejorar nuestro conocimiento sobre los efectos que tienen las características oceanográficas en la distribución de los delfines, es conveniente examinar detalladamente la distribución de los delfines en épocas en que existen condiciones anómalas físicas, como son los años del Niño. La información obtenida de tal estudio, nos puede ayudar a conocer cuáles son los mecanismos que están actuando bajo condiciones normales. Además, puede obtenerse otra información de cómo la distribución de los delfines se encuentra afectada por la oceanografía de la zona, mediante la investigación de los movimientos de los delfines en diferentes épocas del año a medida que cambia el ambiente físico.

Los datos empleados por el personal del National Marine Fisheries Service de los EEUU (NMFS) para determinar la amplitud de distribución de las cuatro especies más afectadas por la pesca con cerco del aleta amarilla en el Pacífico oriental tropical (Stenella attenuata, S. longirostris, Delphinus delphis y S. coeruleoalba) proceden principalmente de dos fuentes; los barcos de investigación y los cerqueros comerciales de pesca. El examen de éstos y otros datos por Alverson (Anexo 5) confirman que estas especies pueden tener una distribución transpacífica. Indudablemente, existen observaciones fuera del campo de distribución escogido por el NMFS, especialmente en zonas cerca a las cadenas de islas en el Pacífico central y occidental. Los datos obtenidos por las observaciones, indican además, que existen zonas centrales concretas, que hacen necesaria la estratificación de las zonas consideradas para poder hacer las estimaciones de la abundancia. Una manera de incrementar nuestro conocimiento sobre la distribución de Stenella spp. y D. delphis sería utilizar otros datos de observación, pero éstos tendría que evaluarse rigurosamente, ya que los datos obtenidos en la "plataforma de oportunidad" pueden ser de calidad dudosa.

Las cuestiones sobre la distribución de las especies de delfines, conducen inevitablemente a preguntas sobre la variación intraespecífica, la definición de las poblaciones y los límites de las mismas. Scott (Anexo 4) ha examinado los límites empleados actualmente por el NMFS para controlar los delfines afectados por la pesca con cerco atunera del Pacífico oriental tropical. La identificación de las poblaciones de una especie determinada se basa en la variabilidad no aleatoria de los caracteres mensurables de esa especie, pero existe también variabilidad en las especies como lo indican las diferentes temporadas de reproducción de Stenella longirostris oriental que habitan diferentes zonas centralizadas (Barlow, 1979).

Las poblaciones de delfines que habitan actualmente el Pacífico oriental tropical son el resultado de mecanismos evolucionarios. Se ha propuesto la siguiente hipótesis, basada en la inclinación radial evidente encontrada en las características de S. longirostris que habita la zona al oeste y al sur del Domo de Costa Rica (Perrin, com. personal). Esta inclinación radial puede ser el resultado de que las poblaciones del Pacífico oriental fueron aislando debido a los cambios de las corrientes frías del Perú y California, posiblemente durante el período glacial más reciente. Durante ese tiempo puede que hayan existido divergencias entre los representantes de S. longirostris oriental de Costa Rica y los hawaianos. Cuando se interrumpió este aislamiento durante el período inter-glacial actual, estas poblaciones se combinaron nuevamente, lo que explica la inclinación gradual en las características de S. longirostris panza blanca de Costa Rica con relación al norteño, al hawaiano y al sureño. Puede que tal aislamiento hubiera ocurrido también en el Atlántico oriental, pero tal vez se prolongó más, permitiendo que sucediera la evolución de las especies entre ambos S. longirostris y S. olymene, y el delfín manchado, S. attenuata y S. plagiodon. La forma del Atlántico oriental de S. longirostris es similar a la forma oriental del Pacífico.

Algunos de los límites de las poblaciones empleados actualmente por el NMFS se basan en unos pocos datos, así que son experimentales (Perrin, Sloan y Henderson, 1979), pero existen varias formas de mejorar los contornos de los límites de la población. Primero, si se tienen mejores datos morfológicos y más abundantes, éstos pueden permitir que las

diferencias observadas entre las poblaciones sean estadísticamente significativas , así tendríamos más confidencia en clasificarlas como poblaciones. El NMFS tendrá pronto otros datos en los cuales basar su decisión. Segundo, el marcado y la localización de los movimientos de los animales en la vecindad de los límites actuales de la población indicarán cuanta mezcla ocurre entre las diferentes poblaciones. Se ha realizado un trabajo preliminar bastante extenso a lo largo de estas líneas (Perrin, Evans y Holts, 1979; Jennings y Gandy, 1980), pero queda aún por ver si se podrán realizar tales experimentos en una escala suficientemente grande para producir resultados útiles. Tercero, el trabajo en la electroforesis de las proteínas puede continuarse y aumentarse. Hasta ahora este trabajo ha tropezado con problemas en la diferenciación, aún al nivel de las especies, pero el examen de otros sistemas proteinicos puede ser beneficioso. Algunos trabajos con ballenas han tenido éxito a este respecto, ej. dado Wada y Numachi (1979). Cuarto, ahora que las técnicas han evolucionado, permitiendo el examen acertado de las secciones de los dientes, puede que sea posible diferenciar las poblaciones al identificar pautas de las capas de crecimiento típicas de las poblaciones que han experimentado condiciones diferentes. Puede que se pueda emplear también el marcado in vivo con tetraciclina para obtener un buen resultado en tal procedimiento. Quinto, la aparición y distribución de las marcas naturales como son los parásitos, puede ser un tema interesante de estudio; el NMFS lo está investigando actualmente.

Tales preguntas de qué es una población?, porque tener poblaciones?, qué guía debe adoptarse para identificar las poblaciones? se contestan mejor en el contexto de porque se han de emplear las poblaciones, así que dejamos esas preguntas para incluirlas en la sección administrativa del complejo atún-delfín.

#### CICLO VITAL DE LOS DELFINES

Una forma de determinar la condición de una población es evaluar los parámetros del ciclo vital como son el índice de crecimiento, el índice de reproducción y el índice de mortalidad. Se acepta generalmente que una reducción en el número de los mamíferos marinos podría producir reacciones dependientes de la densidad, como aumento en los

índices de fecundación, reducción en la mortalidad y menor edad en la primera reproducción. Al estudiar estas características del ciclo vital de un animal, es frecuentemente posible deducir la condición de una población, pudiendo emplearla entonces para ayudar a determinar la estrategia administrativa.

El NMFS se ha interesado durante varios años en obtener y analizar los datos para estimar estos índices llamados vitales. Los métodos y los resultados han sido descritos por Perrin, Coe y Zweifel (1976), Perrin y Henderson (1979) y Henderson, Perrin y Miller (1980). Se está continuando con este trabajo y se está tratando de resolver los problemas del sesgo en el muestreo y los de la determinación de la edad según los datos obtenidos por técnicos científicos a bordo de cerqueros atuneros. Existe la evidencia de que los delfines pequeños son más vulnerables a la mortalidad incidental de pesca que los adultos, especialmente en lances de baja mortalidad accidental. Además, puede que la muestra esté sesgada por la sincronía estacional de la reproducción, a no ser que el muestreo se haya esparcido igualmente durante el año. Sin embargo, el NMFS ha ideado un procedimiento para ajustar el sesgo estacional (Barlow, 1979). Una técnica recientemente concebida de la determinación de la edad se está aplicando actualmente a grandes muestras de dientes.

Los datos presentados por Henderson et al. (1980), indican que pueden existir diferencias en los índices de fecundación entre el S. longirostris oriental y el panza blanca, y entre el S. attenuata norteamericano y el sureño. Si se comparan los resultados de la estimación favorita del II método, las poblaciones más explotadas de S. longirostris oriental y de S. attenuata de alta mar, tienen índices superiores de fecundidad en comparación a sus contrapartes menos explotadas. Además, usando de nuevo la estimación del II método (el método de ellos), el período medio de lactancia de las poblaciones más explotadas es más corto que el de las poblaciones menos explotadas. Estas diferencias, si son reales, pueden explicarse de dos maneras. Primero, el aumento en los índices de fecundación y la reducción en los períodos de lactancia pueden deberse a una reducción de la densidad. Si el factor controlante en esta reacción dependiente de la densidad es la ovulación que conduce a la fecundación, el aumento en los índices de fecundación

puede afectar la sobrevivencia de los pequeños al terminar prematuramente la lactancia. Segundo, puede que las diferencias se deban sencillamente a un efecto exclusivamente mecánico de la muerte de los pequeños. La muerte de un pequeño, finaliza la lactancia prematuramente y permite que la madre sea de nuevo fecundada<sup>1</sup>. Sin embargo, los índices de fecundación y los períodos de lactancia estimados por Henderson *et al.* (1980) usando su I método, indican actualmente diferencias en dirección opuesta. Evidentemente, es necesario estudiar más para aclarar este punto.

Perrin y Henderson (1979), descubrieron una diferencia en la edad estimada de primera reproducción entre los delfines S. longirostris oriental y panza blanca. Indicaron que la estimación de la edad más joven de S. longirostris oriental se encontraba en la dirección esperada de una reacción dependiente de la densidad debido a la fuerte explotación. Sin embargo, es posible que el S. longirostris panza blanca pueda crecer más despacio debido a que son animales algo más grandes y podría examinarse la contribución teórica que este factor puede producir con relación a las diferencias entre las estimaciones de la edad de primera reproducción.

Existen algunos procedimientos para obtener datos que no tengan sesgo. Si se toman muestras de sangre de todos los delfines en un cardumen, empleando el Sistema de Acorralamiento de Cardúmenes de Delfines del NMFS, ésto suministraría datos de los índices de fecundación de cardúmenes enteros. Además, la muestra de animales muertos en lances con una gran mortalidad ("lances desastrosos") no tiene probablemente sesgo y podría investigarse la posibilidad de utilizar estas muestras.

Las causas de la mortalidad natural de los delfines ha sido examinada por Hammond (Anexo 2). Hasta ahora, no se han estimado directamente los índices de la mortalidad natural de las poblaciones de delfines en el Pacífico oriental tropical debido a la falta de datos,

---

<sup>1</sup>Se tienen datos desde 1973, de la estructura de la edad de la muerte accidental de S. attenuata. Por consiguiente, un cálculo simple puede determinar si puede considerarse la mortalidad de los pequeños como responsable por las diferencias observadas en los índices de fecundación y en los períodos de lactancia entre las poblaciones más y menos explotadas.

aunque se ha realizado algun trabajo sobre los efectos del nematodo Crassicauda sp. en las poblaciones de S. attenuata (Perrin y Powers, 1980). En el pasado, se ha calculado la mortalidad natural de S. attenuata como la diferencia entre la estimación de la reproducción bruta anual de la población del Pacífico oriental y una población frente a la costa del Japón que se supone ha sido inexplotada (Southwest Fisheries Center, 1976). Sin embargo, se encontró consecuentemente, que la población japonesa puede actualmente haber sido explotada significativamente. Se presentan además problemas en el muestreo debido a que se tienen informes sobre la segregación de los cardumenes por sexo y edad de esta población. Parece importante averiguar si dicha segregación ocurre tambien en las poblaciones de S. attenuata del Pacífico oriental.

Debido a la falta de conocimiento referente a los índices de la mortalidad natural de los delfines en el Pacífico oriental tropical, es importante considerar la sensibilidad de los modelos actuales de evaluación con relación a las variaciones en las estimaciones de los índices de la mortalidad natural. La sensibilidad de los modelos actuales es elevada. Aunque no directamente relacionada al tema de este informe, la mortalidad incidental de los delfines causada por la pesca es, sin embargo, importante por su influencia en la magnitud de la población. Las estimaciones actuales de la mortalidad incidental se realizan cada año según la muestra de los viajes pesqueros. La mortalidad por lance en viajes observados se extrapola a toda la flota. Sin embargo, puede que sea posible realizar estimaciones de la mortalidad incidental en viajes no observados y ésto debe considerarse más detalladamente. No se ha encontrado en los estudios que investigan los efectos de la captura en delfines vivos, indicaciones de enfermedad atribuible al forcejeo impuesto por la captura (Cowan y Walker, 1980) y que el aborto en la red no es un suceso significante (Benirschke, Johnson y Benirschke, 1980).

Los métodos para estimar la mortalidad total según los datos de la captura a edad específica no se han empleado en poblaciones de delfines del Pacífico oriental tropical, por falta de grandes muestras de ejemplares cuya edad no se ha calculado con precisión y a causa del sesgo potencial en los datos. Cuando se obtengan estos datos en un futuro próximo, el personal del NMFS proyecta iniciar estudios para estimar la

mortalidad, tomando en consideración los sesgos. La estimación de la mortalidad total empleando marcas, se ha examinado, pero basados en los índices actuales de captura, sería necesario marcar una gran cantidad de animales. Además, no se tiene actualmente una marca conveniente que tenga un índice bajo de desprendimiento para Stenella spp.

#### ABUNDANCIA DE DELFINES

La estimación de la abundancia es un componente necesario en el estudio de la dinámica de población de cualquier especie inexploitada y en la ejecución de programas administrativos referentes a ésta. Actualmente se realizan estimaciones de la densidad de las especies de delfines y poblaciones en el Pacífico oriental tropical, en la estructura de la teoría del muestreo en la derrota. Laake (Anexo 3) ha revisado este trabajo. Existen varias formas en que se pueden violar las suposiciones necesarias del muestreo en la derrota para proveer estimaciones acertadas de la densidad. Hammond (1981) y Laake (ref. loc.) las han examinado.

Se tienen datos de tres plataformas diferentes de reconocimiento: aeronaves, barcos de investigación y cerqueros atuneros, y las suposiciones son violadas diferencialmente por estas plataformas. La recolección precisa de los datos para calcular las distancias perpendiculares, es un problema, especialmente en cuanto a los barcos. Los datos obtenidos a bordo de los cerqueros pueden estar sujetos a sesgo debido a la búsqueda no aleatoria aunque existe alguna evidencia que éste no es el caso (Hammond, 1981). El problema de confirmar que todos los cardúmenes de delfines en la vecindad de la línea de búsqueda son observados, afecta todas las plataformas; las aeronaves por su velocidad y los barcos por las condiciones malas del tiempo. El movimiento de los cardúmenes que se acercan o alejan de los barcos que se aproximan, puede afectar los datos de los barcos de investigación o los de barcos comerciales atuneros. Existen también diferencias significativas entre la magnitud media de los cardúmenes, calculada según los datos obtenidos de diferentes plataformas. Laake (ref. loc.) ha calculado que los aviones son probablemente menos eficaces que los cerqueros atuneros en acumular observaciones y, que los datos de los aviones, obtenidos en el pasado, proveen coeficientes inaceptables de variación en las estimaciones de la

densidad de los delfines al nivel de la población. Sin embargo, los aviones pueden abarcar más área por tiempo de reconocimiento que los barcos, aunque en el pasado, se han visto limitados a zonas bastante cercanas a la costa. Esta clase de consideraciones deben tenerse en cuenta al planear cualquier reconocimiento.

Dentro de los límites de los métodos de la estimación de la abundancia según el muestreo en la derrota, es necesario, evidentemente, investigar varios conceptos. Algunos de éstos se están actualmente investigando. El NMFS ha terminado recientemente un experimento en el que se examinan los efectos de la condición solar y el estado del mar en reconocimientos aéreos y se están examinando actualmente los datos. Se está ideando un método para agrupar los datos de los ángulos de visualización y de las distancias observadas, obtenidos desde los barcos, para poder estimar con más exactitud la densidad de los cardúmenes. Puede investigarse, además, la posibilidad de mejorar la exactitud de los datos de la distancia perpendicular obtenida desde aviones, tomando fotografías de cardúmenes cercanos a la derrota de la aeronave. Se ha investigado hasta cierto punto el movimiento de los cetáceos que reaccionan al acercarse el barco (Au y Perryman, en prensa) pero se necesita más estudio. Por ejemplo, se conoce que el comportamiento evasivo de los delfines en el Pacífico oriental tropical, varía entre las zonas de pesca que tienen diferentes historias de explotación. Es necesario realizar también estudios para explicar las diferencias en la media de las estimaciones de la magnitud de los cardúmenes. Los análisis y experimentos podrían designarse para investigar los diferentes sesgos del muestreo inherentes a cada una de las plataformas. Se ha realizado algún trabajo al calibrar las estimaciones de la magnitud del cardumen contra el cálculo de la "verdad fundamental" en un cerquero fletado (Allen, et al. 1980), pero son difíciles de explicar las diferencias en la media de la magnitud de los cardúmenes, calculada según las estimaciones realizadas por la tripulación y los técnicos en viajes regulares de barcos atuneros. Se están también examinando ahora los métodos para estratificar los datos obtenidos a bordo de cerqueros atuneros para adelantar en las pautas de búsqueda que posiblemente no son aleatorias.

Hasta ahora, no se han empleado otros métodos en la estimación de la abundancia de los delfines en el Pacífico oriental tropical. Los

métodos de captura-marcado-recaptura implicarían marcar muestras muy grandes que probablemente harían que fueran poco prácticas, aún sin considerar otros problemas como sería la estimación del índice de desprendimiento de las marcas. Los métodos de la captura por unidad de esfuerzo podrían investigarse usando los datos de bitácora de un barco pesquero pero no se ha intentado ésto actualmente.

#### INTERACCION ATUN-DELFIN

La realización progresiva de que la administración independiente del atún aleta amarilla y de las especies de delfines con las que se asocian es tal vez ineficaz en el mejor de los casos y posiblemente perjudicial para las especies implicadas, presenta un nuevo interés en aumentar nuestro conocimiento sobre la interacción atún-delfín. Por lo menos, sería importante pronosticar en una forma cualitativa cómo los cambios en la abundancia de cada especie/población afectan la abundancia de otros. Probablemente será necesario obtener más conocimiento sobre los mecanismos causantes de la interacción, con el fin de poder realizar estos pronósticos. El siguiente análisis presenta una visión crítica de lo poco que se conoce esta asociación, los resultados que se esperan de los diferentes tipos de interacción, las razones posibles de ésto y la clase de análisis y experimentos que podrían obtener el uso más eficaz de los recursos disponibles con el fin de solucionar la interacción atún-delfín.

Son raros los datos y las observaciones que proveen una información útil en cualquier aspecto de la asociación entre atunes y delfines. El aleta amarilla obtenido en asociación con delfines se encuentra frecuentemente con Stenella attenuata, y el análisis del contenido estomacal ha indicado que existe un considerable traslapo en la dieta de estas dos especies (Perrin, Warner, Fiscus y Holts; 1973). Por el contrario, la dieta del aleta amarilla y de S. longirostris parece ser bastante diferente. Se captura con menos frecuencia el aleta amarilla en asociación con S. longirostris. Esto parece indicar que la asociación se basa en la alimentación, lo que resulta ya sea en una interacción competitiva, parásita o comensal. Es interesante observar que aunque los aleta amarilla deben alimentarse activamente para soportar el índice rápido de crecimiento, se encuentran a menudo con los estómagos vacíos.

Sharp y Francis (1976), estimaron que hay suficiente producción en el Pacífico oriental tropical para soportar las estimaciones actuales de la biomasa del aleta amarilla, pero ésto no significa que no se encuentren limitados en alimentación. En general, los datos que se tienen sobre el aleta amarilla son más abundantes y precisos que los datos sobre los delfines, así que cualquier efecto debido a una interacción puede descubrirse probablemente más al analizar los datos del aleta amarilla.

Existe una variedad de formas en que puede contemplarse la base de la interacción atún-delfín. Estas pueden variar desde consideraciones enteramente teóricas a ideas que se originan en datos empíricos y observaciones. Puede presentarse una discusión interesante desde varios enfoques. Se presentan más adelante dos conceptos generales; uno discute los tipos probables de interacción entre dos poblaciones, el otro examina las consecuencias si es que los atunes buscan a los delfines o si los delfines buscan a los atunes.<sup>2</sup>

Se pueden describir las interacciones entre dos poblaciones de acuerdo a los efectos beneficiales o adversos que cada población deriva o causa en la otra. Estas interacciones pueden ser obligatorias u opcionales para una o ambas poblaciones. En muchos textos ecológicos se han enumerado y descrito las interacciones posibles entre dos poblaciones, pero es apropiado examinar algunas de éstas aquí como base para el siguiente examen.

La competencia de los recursos causa adversidad en cada población competitiva. Para que haya una consistencia estable, las poblaciones competitivas deben dividirse por lo menos uno de los recursos, ej. d. el alimento, el espacio, el tiempo, para que una población tenga ventaja sobre cierto margen del recurso, mientras la otra tiene una ventaja sobre una porción diferente. Por ejemplo, las poblaciones que se alimentan de la misma presa pueden hacerlo en diferentes zonas o en diferentes horas. Existe alguna prueba de que S. attenuata y el aleta

<sup>2</sup>En junio de 1981, la Comisión de los Mamíferos Marinos de los EEUU, patrocinaron un grupo de trabajo sobre otros métodos para capturar aleta amarilla encontrado en asociación con los delfines, convocado en el Hubbs Sea World Research Institute, San Diego, California. Se examinó la asociación atún-delfín y se presentó un estudio sobre este tema (Stuntz, 1981).

amarilla compiten, al menos, por una gran parte de la distribución de su alimento.

La depredación y el parasitismo son interacciones en las que una población deriva un beneficio mientras la otra se ve adversamente afectada. Las poblaciones pueden encontrarse a niveles tróficos diferentes, ej. d. un depredador que consume una presa o un parásito que se está desarrollando por dentro y está destruyendo a su huésped, o al mismo nivel ej. d. un parásito despojando a su huésped de parte de su alimento. En la práctica, puede que sea difícil determinar la diferencia. Las interacciones de este tipo son normalmente obligatorias para el depredador o el parásito. Si el aleta amarilla usa los delfines para ayudar a localizar su alimento mutuo, los atunes se beneficiarán, pero los delfines sufrirán por la pérdida de alimento y la interacción sería en forma de parasitismo. Esta no sería una relación obligatoria.

Las interacciones en las que una población deriva un beneficio y la otra no es afectada o deriva también un beneficio, se denomina respectivamente comensalismo y cooperación. La cooperación obligatoria se llama algunas veces mutualismo. Estos tipos de interacción pueden evolucionar del parasitismo al comensalismo, a la cooperación y posiblemente al mutualismo. Puede que el atún aleta amarilla y los delfines tengan una interacción basada en la protección de depredadores que puede ser comensal o cooperativa.

Existen otras formas teóricas de interacción y variaciones de lo descrito anteriormente, pero no es necesario detallarlas aquí. Los tres tipos básicos de interacción descritos anteriormente, abarcan probablemente todas las posibilidades referentes a la asociación del aleta amarilla y los delfines. El traslapo en los organismos alimenticios entre el aleta amarilla y S. attenuata indica que pueden estar compitiendo por el alimento. Además, la presencia de S. longirostris con esta especie no parece que se basa en la alimentación.<sup>3</sup> Si la

<sup>3</sup>No se tienen datos sobre los hábitos alimenticios de D. delphis en el Pacífico oriental tropical (un estudio del NMFS encontro los estomagos de todos los delfines, muestreados y capturados en la misma red que los aleta amarilla, vacios), esta informacion puede ser valiosa para determinar el papel que desempeña la alimentacion en la asociacion atun-delfin.

interacción entre S. attenuata y el aleta amarilla se basara solamente en la competencia es difícil vislumbrar porque no han evolucionado hasta alcanzar una situación en la que no existiera asociación. Esto conduce a la suposición ya sea que las dos poblaciones exhiben alguna separación de los recursos o que uno de ellos deriva algun beneficio de la asociación. Esto último puede ser en detrimento del otro, tal como si el aleta amarilla se estuviera beneficiando de la mayor capacidad de los delfines de encontrar alimento, obteniendo así alimento que de otra manera no encontraría, privando a los delfines de parte de su alimento. Otra posibilidad sería que no afectaría la otra población o permitiría ser beneficiosa para ambas, como si el aleta amarilla contribuyera a que se pudiera obtener más fácilmente el alimento al forzar la presa a la superficie o si ambas especies logran más protección mediante esta asociación.

La investigación de los modelos sencillos conceptuales puede ser un instrumento útil para obtener alguna luz inicial en las formas más probables de la interacción atún-delfín. Estos análisis (conociendo la historia de la pesca) pronosticarán de una manera cualitativa la orientación esperada en la abundancia del aleta amarilla y los delfines. Esta orientación sería diferente si la interacción es esencialmente competitiva, parásita o cooperativa. El 1 Anexo describe la dinámica de los tres modelos.

Son evidentes las implicaciones del comportamiento de estos modelos con relación a la asociación atún-delfín en el Pacífico oriental. Si la interacción es cooperativa en naturaleza, el rendimiento máximo del aleta amarilla se obtendría mediante la protección máxima de los delfines. Esto es también verdad si los aleta amarilla son parásitarios de los delfines. Si la interacción se basa, sin embargo, en la competencia, resultarían rendimientos más elevados de aleta amarilla del agotamiento de las poblaciones de delfines. Desde el punto de vista de las poblaciones de los delfines, los niveles deben haber tenido la propensión de aumentar debido a la explotación del aleta amarilla, si la interacción es competitiva o parásitaria, pero deben haber tenido la propensión de disminuir si la interacción es cooperativa. El aumento espectacular de la mortalidad incidental de los delfines después de 1959, modifica evidentemente estas conclusiones potenciales.

Usando estos pronósticos, es posible describir en cada uno de los tres tipos de interacción los cambios esperados en los niveles de la población del aleta amarilla y de los delfines desde que comenzó la pesca en el Pacífico oriental. Si la interacción es competitiva, la captura de aleta amarilla antes de 1959, debería haber reducido las poblaciones de esta especie, pero aumentado las poblaciones competitivas de delfines. Después de 1959, la mortalidad incidental de los delfines debe haber reducido las poblaciones de delfines, pero aumentado las poblaciones de aleta amarilla. En los últimos años, a medida que la mortalidad incidental de los delfines se redujo fuertemente, se esperaría un aumento en los niveles de la población de delfines y una reducción en las poblaciones de atún. Si la interacción es parasitaria, deberían haber aumentado los delfines debido a la explotación del aleta amarilla antes de 1959, disminuirían a causa de la mortalidad incidental después de 1959, causando que las poblaciones de atún se redujeran aún más y aumentarían en los últimos años debido a la reducción en la mortalidad incidental permitiendo que aumentaran nuevamente los niveles de la población del aleta amarilla. Si la interacción es cooperativa, las poblaciones de delfines deberían disminuir con la explotación del aleta amarilla antes de 1959, se reduciría aún más con el comienzo de la gran mortalidad incidental, ocasionando otra reducción en las poblaciones de aleta amarilla y aumentarían en los últimos años al reducirse la mortalidad incidental, permitiendo que las poblaciones del aleta amarilla aumentaran de nuevo.

La primera fase, evidentemente, es analizar los datos que se tienen para tratar de determinar la tendencia cronológica en la abundancia y ver cuál de las interacciones describe mejor las circunstancias. Otra fase sería poder ajustar los modelos sencillos de producción a los datos obtenidos anteriormente y después del comienzo de la pesca con cerco, para ver si las estimaciones de los índices de crecimiento o los rendimientos eran diferentes. Existen solo suficientes datos para el atún aleta amarilla en esta clase de estudio. En esta forma se puede obtener una idea del tipo de interacción y la posibilidad de descubrirlo.

Es posible y aún probable que la interacción original haya evolucionado en algo diferente o más complejo, así que aunque se conociera la razón de la existencia de la interacción original, ésto no significaría

necesariamente, que existiera hoy día alguna forma de interacción. Por consiguiente, vale la pena considerar cómo puede haber ocurrido originalmente una asociación entre el aleta amarilla y los delfines, y cómo puede haber evolucionado. Estas líneas de investigación se continúan luego, después de que se examinen brevemente algunas de las implicaciones, al suponer que ya sea los atunes o los delfines son participes de la interacción.

Si el aleta amarilla busca activamente cardúmenes de delfines, parece que la asociación podría determinarse por la talla de los atunes. Los atunes pequeños y los juveniles no se asocian con los delfines tan a menudo como los grandes. En cambio, se congregan con otros pequeños atunes que se asocian frecuentemente con objetos flotantes. Esto sucede principalmente, pero no exclusivamente, cerca a la costa. Sin embargo, se conoce que el aleta amarilla más grande y maduro se asocia comúnmente con cardúmenes de delfines, especialmente fuera de la costa, pero muy rara vez con otros pequeños atunes o con objetos flotantes. La atracción puede ser hacia cualquier especie presente de delfines, buscando posiblemente protección, o hacia especies particulares dependiendo posiblemente en la dieta. Los datos que se tienen tienden a apoyar esta última suposición, aunque la protección puede seguir desempeñando un papel. El aleta amarilla se encuentra con más frecuencia en asociación con S. attenuata, con bastante frecuencia con S. longirostris y con D. delphis y rara vez con S. coeruleoalba. Si la talla es la base fundamental de que los atunes busquen a los delfines, esto indicaría un cambio importante en la fisiología y comportamiento de los atunes que ocurriría a tallas que se relacionan al cambio de los peces no asociados a asociados. Puede que exista una relación entre el alcance de la madurez sexual (a tallas aproximadamente de 80-110 cm) y una asociación con los delfines, aunque existe una variación considerable en los datos (Allen, 1981). Un punto interesante es que la asociación con objetos flotantes puede haber sido precursora a la asociación con los delfines. Esto supone, naturalmente, que el aleta amarilla es o era el participante activo en la interacción.

Sin embargo, si se supone que los delfines buscan activamente el aleta amarilla, las razones posibles de la asociación parecen menos evidentes. Podría basarse en la estructura de la edad de los cardúmenes

de delfines, pero no se dispone de información sobre ésto, ni es abundante para cardúmenes de delfines en zonas en las que no se pesca atún. Por otra parte, podría basarse en la actividad de los delfines, con cardúmenes que solo buscan atún cuando se desplazan o durante actividades diarias. Otra posibilidad sería que los delfines tratan de usar los atunes como un fondo protectivo debajo de ellos, justamente como el *S. longirostris* hawaiano que se alimenta nocturnamente y parece que durante el día usa bahías de poco fondo para protegerse (Norris y Dohl, 1980).

Al considerar la asociación como dos extremos, como se hizo anteriormente, ésto no quiere decir que cualquier suposición sencilla sea probablemente la verdadera. Más bien, hay más probabilidad que la interacción actual sea una combinación de dos o más mecanismos propuestos. Cualquier explicación de la interacción que proponga que los delfines forman el componente activo, debe considerar el rechazo del aleta amarilla en romper la asociación con los delfines cuando estos últimos son perseguidos o cuando se cala la red de cerco sobre ellos.

Volviendo a la pregunta del origen posible de la asociación, una ruta de investigación dentro de los mecanismos y causas de la interacción, es pensar acerca del proceso de agregación y preguntar qué beneficio derivan ya sea los atunes aleta amarilla o los delfines al congregarse. Para realizar ésto, es necesario, primero, asegurar que se comprenden los mecanismos básicos de una especie congregada. Para algunas especies es evidentemente conveniente congregarse, por ejemplo, con el fin de obtener más protección de los depredadores, aumento en la utilización del alimento agregado y facilidad en encontrar pareja. Hay también desventajas, siendo la mayor la competencia individual por el alimento. En una especie que se congrega, las ventajas presumiblemente son mayores que las desventajas.

Si dos especies congregadas, viven juntas, con presas similares y los mismos depredadores, puede que deriven más beneficio al congregarse la una con la otra y puede que este mecanismo continúe incluyendo un número mayor de especies. La agregación de depredadores pelágicos en el Pacífico oriental tropical no se limita necesariamente a dos especies. En agregaciones que incluyen peces y delfines, el aleta amarilla prácticamente está siempre presente, el atún barrilete ocasionalmente.

Puede que aparezcan una, dos o posiblemente aún tres especies de delfines y pueden estar presentes varios tipos de aves, incluso rabiahorcas, golondrinas de mar, pájaros bobos, gaviotas y meaucas. Además, en las redes de cerco se capturan con frecuencia tiburones y ocasionalmente marlines, aunque no es evidente que formen parte de la agregación original. Los estudios de bandadas de especies mixtas de pájaros en los trópicos, indican que cada especie puede clasificarse de acuerdo al papel que desempeña en la agregación. En la terminología de Moynihan (1962), pueden ser "asistentes" o "nucleares", la especie nuclear puede ser "activa" o "pasiva" y las especies pueden también ser "regulares" u "ocasionales". Es posible que estos términos puedan también aplicarse a agrupaciones de depredadores pelágicos en el Pacífico oriental y, si alguna especie es nuclear, probablemente es la de S. attenuata o la del aleta amarilla o ambas.

Los mecanismos que causan la agregación de estas poblaciones pueden basarse en la alimentación, protección o ambos. Los atunes, los delfines y las aves utilizan realmente las mismas manchas de presa, aunque existe estratificación de los recursos disponibles. Puede que los delfines y los atunes tengan depredadores similares en los tiburones y las ballenas pequeñas. Las congregaciones formadas con base a las interacciones de protección, cooperación o comensalía, exhibirían dinámicas diferentes de población a aquellas formadas por el resultado de la competencia en el alimento o como consecuencia del parasitismo de parte de una población. Esto podría probarse al menos en cuanto los atunes y delfines, como se propuso anteriormente.

La evidencia que se tiene indica ciertamente que el alimento forma una parte importante de la interacción atún-delfín. Si la asociación se basa en el alimento, un factor importante sería la ecología de las manchas de presa que forman el alimento disponible. La información sobre estas manchas de presa como la distribución horizontal, vertical y temporal, la magnitud y la composición de las especies, correlacionada con la información sobre la distribución de los atunes y delfines, podría indicar a los atunes y delfines la naturaleza de la presa disponible.

Es también importante la forma en que los atunes y delfines buscan el alimento si la asociación se basa en éste y, es necesario contestar algunas preguntas cruciales. Usan los atunes aleta amarilla a los

delfines para que les encuentren el alimento? Si ésto es verdad, obtienen los delfines algún beneficio o es detriental la presencia de los aleta amarilla? Buscan alimento los delfines o los aleta amarilla en la misma forma cuando están juntos o separados? Actualmente no se tiene suficiente información para contestar definitivamente estas preguntas.<sup>4</sup>

Otro factor importante que ha de considerarse si la interacción se basa en el alimento es el de las diferencias en los hábitos alimenticios de las distintas especies de delfines y la correlación de éstas con la incidencia relativa de la asociación atún-delfín. La ecología comparativa de las especies de delfines que se encuentran frecuentemente, ocasionalmente o nunca en asociación con el aleta amarilla, puede ser un utensilio útil para ayudarnos a decidir cómo planear y conducir experimentos o reconocimientos.<sup>5</sup>

En conclusión, es apropiado repetir aquellas sugerencias ya hechas de investigación, y proponer cualquier otra que pueda ser beneficiosa. Como primer paso se ve la construcción de modelos sencillos conceptuales y el examen de los datos que se tienen para ver cual modelo representa mejor las tendencias históricas de la abundancia estimada, como es el examen del índice calculado de crecimiento y el rendimiento segun se ha ajustado al modelo de producción antes y después de que la flota atunera empezó en 1959, la pesca intensa de delfines asociados con peces. El trabajo experimental en la ecología de las manchas de presa y la ecología comparativa de las diferentes especies de delfines son temas de investigación interesantes y potencialmente útiles.

<sup>4</sup>Un estudio reciente ha indicado que el aleta amarilla realiza diferentes desplazamientos verticales varias veces en cada hora. Esto ocurre tanto cuando los atunes nadan libres como en asociación con delfines (Frank Carey, com. pers.). Si estos desplazamientos verticales se basan en el alimento, indicarian que los atunes están buscando alimento en una forma similar con o sin delfines.

<sup>5</sup>Un estudio de D. delphis y del medio en que vive puede ser útil aquí. Esta especie se asocia algunas veces con el aleta amarilla pero aparentemente no de manera aleatoria. Parece que depende de la temporada, zona y aun del año. Un estudio conveniente seria tratar de determinar porque aparecen juntos el aleta amarilla y D. delphis en una zona y temporada particular, en un año pero no en el siguiente.

Otros campos de investigación que son definitivamente interesantes incluyen la localización simultánea de atunes y delfines en agregaciones de especies mixtas, usando respectivamente marcas sonicas y radio. El modelado de simulación puede proveer respuestas a preguntas referentes a los cambios en la abundancia de la población y en la estructura de la edad al cumplir ciertos esquemas administrativos. Sería también conveniente realizar mas estudios generales de zonas que tienen algunas diferencias características, pero que son similares en otras. Estos podrían incluir investigaciones en zonas de pesca de aleta amarilla en el Pacífico oriental y en el Atlántico oriental, que tengan una oceanografía similar, pero diferentes frecuencias de interacción atún-delfín, o en zonas del Pacífico oriental en las que el atún se encuentra o no asociado con delfines. Finalmente, la Comisión está actualmente realizando algunos estudios de la trama alimenticia trófica que pueden dar alguna luz en la selectividad del alimento de los atunes y delfines.

#### ADMINISTRACION DEL COMPLEJO ATUN-DELFIN

Se puede ver cada vez más que la administración apropiada de los recursos renovables incluye otras poblaciones de acción reciproca. Esto es especialmente cierto en los océanos mundiales en donde se está incrementando la busca de nuevas fuentes de alimento. La captura de nuevas poblaciones puede afectar las poblaciones existentes explotadas y se está descubriendo que los métodos convencionales para describir poblaciones explotadas son probablemente inadecuados, véase el. d. May et al. (1979).

Los atunes actualmente constituyen aproximadamente del 4 al 5% de los peces marinos descargados globalmente y, de ésto, cerca del 15% es obtenido por la flota cerquera en el Pacífico oriental tropical. aproximadamente la mitad de esta cantidad es atún aleta amarilla (FAO, 1980; CIAT, 1980). Desde 1966, los investigadores de la CIAT recomendaron una cuota para la captura del aleta amarilla en el Area Reglamentaria de la Comisión de Aleta Amarilla (ARCAA). La Comisión no pudo hacer cumplir efectivamente la cuota en 1979, no fue vigente en 1980 y no es probable que lo sea en 1981. El continuo objetivo de la CIAT ha sido administrar la pesca de aleta amarilla para poder obtener un rendimiento máximo constante (RMC) cada año.

Cuando a fines de la década de los sesenta se tuvo conocimiento que morían delfines incidentalmente en las maniobras de los cerqueros (Perin, 1968, 1969, 1970), la administración de esas especies y poblaciones afectadas por la pesquería llegó a ser y sigue siendo una preocupación importante. La muerte incidental de los delfines es controlada parcialmente por leyes nacionales, siendo la más estricta el Decreto de Protección de los Mamíferos Marinos de los EEUU. El objetivo administrativo actual de los EEUU es mantener las poblaciones de delfines a los niveles "óptimos constantes de población" o superiores y reducir la muerte incidental a niveles que se aproximen a cero.

Los esquemas separados de administración del aleta amarilla y los delfines en el Pacífico oriental tropical no han incluido nunca otras poblaciones de acción recíproca. Que ésto pueda ser ineficaz o aún perjudicial para las especies implicadas, se ha considerado solo recientemente como un tema que vale la pena seguir. Conocidos los dos intereses principales, la captura máxima constante de aleta amarilla y la protección de los delfines, los esquemas administrativos actuales son solo apropiados si el aleta amarilla obtiene algún beneficio de la interacción, como sería el caso si fuera cooperativa, comensal o parasitaria. Sin embargo, si la interacción fuera competitiva, la protección máxima de los delfines podría ser contraproducente para la pesca del aleta amarilla, reduciendo efectivamente el RMC de la población del aleta amarilla. En este caso, aumentaría la producción potencial del aleta amarilla si se redujeran los delfines a niveles más bajos. Esto no significa necesariamente que se podría capturar más atún aleta amarilla, ya que actualmente se utilizan los delfines para encontrar una proporción substancial de la captura de aleta amarilla. La situación se complica si ocurre una interacción competitiva. Evidentemente, se debe conocer la forma de interacción antes de poder hacer cualquier decisión referente a la administración conjunta del aleta amarilla y los delfines.

Una estrategia más eficaz que el régimen actual administrativo del aleta amarilla sería colocar al máximo el beneficio económico en lugar del rendimiento constante y ésto puede implicar un esquema totalmente diferente. Sin embargo, existen complicaciones porque la pesca es internacional. El costo estructural de varias de las flotas nacionales

es muy diferente. Por ejemplo, la labor y el combustible son más baratos en algunos países de Sudamérica y Centroamérica que en Norteamérica. Además, los barcos en estas zonas tratan de pescar cerca a la costa y por consiguiente viajan menos que los barcos de los Estados Unidos.

En la administración de las existencias de delfines es importante considerar el resultado que puedan tener las decisiones referentes a los límites de las existencias en las poblaciones de delfines y de aleta amarilla. Una suposición actual y básica es que existe un deseo fundamental de salvar diferentes clases de animales del agotamiento o extinción. Los objetivos actuales del NMFS son proveer dicha protección a las comunidades de delfines en el Pacífico oriental como se describió anteriormente. Junto con ésto existe la preocupación de lo que le puede ocurrir a la estructura del ecosistema, si se agotan severamente o desaparecen una o más poblaciones. Sería posible que su papel ecológico fuera reemplazado por poblaciones de la misma o diferentes especies, o se presentaría un cambio drástico en la estructura del ecosistema?<sup>6</sup> En el pasado la información ha llegado demasiado tarde para contestar estas preguntas para que sirvan cuando se hacen las decisiones administrativas.

Es importante, evidentemente, poder identificar las poblaciones correctamente con fines administrativos. Si esto puede lograrse, es esencial que sea reconocido por quienes hacen las decisiones administrativas. Si una unidad sencilla y controlada estuviera actualmente formada por varias poblaciones, la explotación sería práctica solo si los niveles de protección fueran relativamente bajos. Por el contrario, los niveles de protección deben ser relativamente más elevados para las unidades controladas compuestas de poblaciones individuales y puede que la explotación sea incompatible con la protección. Aunque no se conoce el número verdadero de poblaciones en una unidad controlada, existe evidentemente un balance que debe escogerse entre la explotación y la protección.

<sup>6</sup>Los análisis de los datos que se tienen del Pacífico oriental podrán indicar si hay algún cambio en los niveles de la población de otras especies no implicadas en la pesca del aleta amarilla, correlacionado con la reducción de los niveles de la población de los atunes o de S. longirostris y S. attenuata.

En la administración de cualquier especie o población es importante poder definir los límites a los que puede reducirse sin peligro. Fuera del interés acerca de la abundancia, debe considerarse también la variabilidad genética. Por ejemplo, qué tanto puede reducirse antes de que sea impedida significativamente la restauración de la población? El elefante marino del norte fue reducido a un nivel bajo de población pero se ha restaurado ahora en cantidad y se ha indicado que la variabilidad genética de la población está actualmente a un nivel bajo (Bonnell y Selander, 1974). Sin embargo, se cree que la baja variabilidad genética es típica de mamíferos marinos y de grupos de animales que son viejos en un sentido evolucionario, como son los elefantes marinos. Por consiguiente, es difícil decir si la baja variabilidad genética observada en el caso de los elefantes marinos del norte se debe a la reducción en la magnitud de la población. Es también imposible determinar según este ejemplo, qué nivel de variabilidad genética, si es que existe alguno, debe considerarse como un mínimo permisible.

#### SUMARIO DE LAS PROPUESTAS DE INVESTIGACION

Esta última sección sumariza las propuestas de investigación presentadas en las páginas anteriores. Se plantea una descripción de cada propuesta y de los objetivos que se piensan lograr en cada campo o tema específico de investigación.

La CIAT utilizará el sumario como una guía para sus planes futuros de investigación, pero este informe no atribuye ninguna prioridad a ninguna de las ideas. Los temas propuestos de investigación se ordenan en áreas generales que siguen la misma progresión que las secciones anteriores; la distribución de los delfines y poblaciones, el ciclo vital de los delfines, la abundancia de los delfines y las interacciones atún-delfín. Varias de las propuestas abarcan más de un tema y se describen solo una vez.

Existen tres recomendaciones para investigar la distribución de los delfines. La primera es vigilar la distribución de las especies o poblaciones durante el año a medida que el ambiente físico cambia estacionalmente y correlacionar las distribuciones con los datos oceanográficos. Esto suministraría una descripción detallada de cómo el ambiente afecta la distribución. La segunda es estudiar la distribución

de los delfines en años en que existan condiciones anomalas, como son los años del Niño. Al observar como reaccionan los delfines con relación a condiciones ambientales inusitadas, puede incrementarse el conocimiento de la distribución bajo circunstancias normales. La tercera es vigilar los movimientos de los delfines en la vecindad de los límites propuestos de la población. Esto podría incluir localizar a los delfines con transmisores convencionales de radio, localizando delfines a los que se les ha adaptado transmisores capaces de ser recibidos por los satélites, o colocar marcas visuales en grandes cantidades de delfines y esperar las recapturas. El alcance de cualquier movimiento nos demostraría que tan útil son los límites para localizar las poblaciones.

Existen cuatro recomendaciones en la investigación morfométrica, merística o bioquímica en las poblaciones de delfines. La primera es obtener más datos de los delfines que mueren incidentalmente con relación a la pesca. Esto es parte del trabajo continuo del NMFS en identificar las poblaciones basándose en variaciones morfológicas. Una muestra más grande permitiría que se definiera mejor cualquier diferencia real y permitiría tener más confianza en los resultados. La segunda es investigar las diferencias de las poblaciones que pueden manifestarse que posiblemente pueden revelarse en la pauta de los dientes. El NMFS ha concebido una técnica para contar los incrementos en los dientes de los delfines, una fase más avanzada sería estudiar las pautas típicas de las poblaciones. La tercera es examinar el polimorfismo de más enzimas loci, de lo que se ha hecho anteriormente. En el pasado se ha logrado poco éxito, pero es posible que se puedan obtener las diferencias entre las poblaciones al investigar más loci. La cuarta es investigar la probabilidad de diferenciar las poblaciones de delfines que tienen marcas naturales como son los parásitos. El NMFS está actualmente examinando ésto.

La investigación propuesta sobre el ciclo vital de los delfines es variada y algunos puntos parecen ser importantes. Unos se refieren a obtener una muestra adecuada de datos y sin sesgo. Un método sin sesgo para estimar la proporción de hembras fecundadas o en estado de lactancia en un cardumen, es examinar cada animal individualmente, examinando las ranuras mamarias y obteniendo muestras sanguíneas. Esto puede

llevarse a cabo usando el Sistema de Acorralamiento de los Cardúmenes de Delfines del NMFS mencionado anteriormente. Se usarían entonces estos datos para estimar los índices de reproducción. Otra forma de obtener datos sin sesgo sería utilizar la frecuencia de los lances cerqueros que tengan más mortalidad de delfines. No parece que los animales mueran selectivamente en estos lances. Los datos así obtenidos no tendrían entonces sesgo, lo que no sucede en el muestreo de cualquier cardumen individual y se emplearían para realizar estimaciones insesgadas de los índices de fecundidad, de la edad de primera reproducción, edad madura, etc. En vista de la segregación sexual y demográfica que parece ocurrir en las poblaciones de S. attenuata del Japón, podría investigarse la posibilidad de que ésto ocurra en las poblaciones del Pacífico oriental. En el pasado, se había supuesto que la composición sexual y de la edad de los cardúmenes de estas poblaciones era estable. Si se ha de obtener una muestra aleatoria de cardúmenes como representantes de toda la población, debe averiguarse la variación de la composición sexual y de la estructura de la edad entre los cardúmenes. Un punto menor con referencia al sesgo, es que las diferencias de edad en la primera reproducción entre el S. longirostris oriental y el panza blanca pueden verse afectadas por la posible diferencia en los índices de crecimiento entre las dos poblaciones. Podría fácilmente calcularse la contribución relativa de las diferencias en los índices de crecimiento con relación a las diferencias en la edad.

Aunque no se relacione al ciclo vital de las poblaciones sin explotar, hay dos temas de investigación referentes al efecto de la pesca del aleta amarilla en las poblaciones de delfines. Uno es ver si pueden realizarse las estimaciones de la mortalidad esperada de delfines en viajes pesqueros en donde no se encontraban técnicos científicos a bordo. Este evidentemente es un problema difícil y se debe aproximar a él estudiando los datos de los viajes que han llevado técnicos a bordo y al hacer suposiciones referentes a viajes donde no hubo reconocimientos. Si tiene éxito, permitiría que se realizaran mejores estimaciones de la mortalidad. La otra propuesta es investigar los efectos fisiológicos cuando se persiguen y capturan cardúmenes de delfines en embarcaciones con cerco. Se tiene poco conocimiento sobre la fatiga que sufren los delfines que no mueren o no han sido heridos en las maniobras de pesca.

Se ha propuesto que la primera etapa sería perseguir y capturar un cardumen de delfines y mantenerlo en una red de cerco durante un tiempo. Al obtener a intervalos regulares material de muestreo de los animales, podría vigilarse la condición fisiológica del cardumen mientras estuvieran cautivos en la red. Un estudio de esta clase suministraría datos básicos que pueden proveer una indicación sobre la fatiga sufrida por los delfines. Los resultados dependerían de muchas variables como son las especies utilizadas y la magnitud del cardumen, pero deben proveer una información mejor que los estudios de los animales en los grandes acuarios.

Las propuestas de investigación en el campo de la abundancia de los delfines tienen todos el mismo objetivo; mejorar la estimación de la densidad de los delfines en el Pacífico oriental. Hasta la fecha, la mayoría de la investigación se ha referido a los métodos del muestreo en la derrota y todos los temas descritos más adelante incluyen la forma de mejorar la recolección de los datos y las técnicas de los análisis en estos métodos. La mayoría de las propuestas son específicas en que tratan con problemas especiales encontrados en la recolección o análisis de los datos desde ciertas plataformas.

Una serie de propuestas incluye datos obtenidos por técnicos científicos a bordo de cerqueros atuneros. El ángulo y la distancia con relación a un cardumen observado de delfines puede comúnmente solo estimarse y los datos se redondean a valores convenientes, así que esencialmente se encuentran agrupados. Se ha propuesto que se conciba un método para poder estimar directamente la densidad de los cardúmenes de delfines según estos datos. Esto eliminaría cualquier sesgo causado al suponer que los datos sin consolidar no tienen error. Puede que los datos de los barcos atuneros estén también sesgados porque los cardúmenes de delfines descubren cuando los barcos se están acercando y se alejan de la línea de búsqueda antes de que se haya anotado su posición relativa. Es muy posible que este problema potencial se confunda con los efectos de las condiciones del tiempo en el proceso de observación. Lo más probable es que los cardúmenes se hayan desplazado a consecuencia del acercamiento de los barcos, antes de haber sido observados debido a las malas condiciones del tiempo cuando no pueden descubrirse fácilmente. El efecto combinado del movimiento de los

delfines y del tiempo es también un problema potencial de los barcos de investigación y su cuantificación es importante si se han de usar los datos a bordo para obtener estimaciones absolutas de la densidad. Una última propuesta referente a los datos de los barcos atuneros incluye el efecto que pueda tener la pauta sin control de búsqueda de estos barcos en las estimaciones de la densidad de los delfines. Si las pautas no son aleatorias con respecto a la densidad de los delfines, las estimaciones de la densidad podrían estar sesgadas. El trabajo se concentrará en la estratificación de los datos para ver si el problema existe, y si es así, determinar cuáles son los factores responsables por los sesgos.

Otro tema de investigación incluye mejorar las estimaciones de los ángulos y de las distancias con relación a los cardúmenes observados desde los barcos de investigación de delfines. Es posible idear formas más sofisticadas y exactas para obtener datos en estas plataformas y no hay necesidad de consolidarlos. Esto, en sí mismo, mejoraría la precisión de las estimaciones de la densidad de los delfines. Se han tratado la mayoría de los problemas obtenidos en aeronaves. Sin embargo, la exactitud de las medidas de la distancia perpendicular desde los cardúmenes hasta la línea de búsqueda podría mejorarse al fotografiar la trayectoria debajo de la aeronave. Esto aumentaría la precisión de los datos en este campo crucial y mejoraría las estimaciones de la densidad.

El punto final de la investigación propuesta incluye la estimación de la magnitud media de los cardúmenes de las observaciones de cardúmenes de delfines desde las tres plataformas. En el pasado, la magnitud media de los cardúmenes desde estas plataformas ha sido diferente, como también lo ha sido la densidad media de los cardúmenes calculada según las estimaciones realizadas por tripulantes y técnicos. Evidentemente, es necesario examinar estas diferencias. En varias ocasiones se ha estimado la magnitud de los cardúmenes mediante fotografías aéreas. Se podrían examinar las estimaciones al fotografiar y luego capturar y contar los cardúmenes cuando salen de la red mediante el Sistema de Acorralamiento de los Cardúmenes de Delfines del NMFS, o usando, por ejemplo, las técnicas empleadas por la CIAT en el barco fletado GINA ANNE (Allen, *et al.*, 1980). En los datos obtenidos a bordo de los barcos, las estimaciones se hacen visualmente. Una forma en la

que se pueden cuantificar las diferencias entre los barcos atuneros y los de investigación, sería tener un barco de cada clase maniobrando en la misma zona y al mismo tiempo. Otra solución sería que los tripulantes encargados de las observaciones trabajaran en el mismo barco así podrían observar cardúmenes idénticos. Otra posibilidad sería la de tener los técnicos y los tripulantes de un barco atunero a bordo de un barco de investigación y los técnicos del barco de investigación a bordo del barco atunero. La interpretación de la razón por las que existen las diferencias entre las plataformas, es importante para poder seleccionar las estimaciones más exactas.

La investigación que ha de proveer más conocimiento en la interacción atún-delfín, se divide en cuatro categorías; el modelado y el trabajo teórico, los estudios basados en la alimentación, los experimentos de mercado y las investigaciones ambientales. Se pueden considerar tres opciones en la categoría del modelado. La primera, el análisis de modelos sencillos conceptuales, basados en el trabajo preliminar del I Anexo, podría indicar el tipo de interacción que podría esperarse. Las tendencias en la abundancia de la población pronosticadas por diferentes modelos podrían compararse con los datos que se tienen para ver cuál describe más aproximadamente la historia de las especies implicadas en la pesca del aleta amarilla. La segunda, podría emplear los datos del aleta amarilla antes y después del comienzo de la intensa mortalidad incidental de los delfines para ajustar los modelos de producción. Esto puede indicar cambios en el índice de crecimiento o en la dinámica del aleta amarilla, que pueden atribuirse a los efectos de una interacción con las poblaciones de delfines. La tercera, podrían estructurarse modelos más complejos de simulación que describan más completamente la biología del aleta amarilla y de los delfines, y el comportamiento de la flota pesquera. Este tipo de modelo incluiría toda la información que se tiene y pronosticaría las consecuencias de las diferentes estrategias administrativas sobre los atunes y delfines.

Se presentan cuatro propuestas con referencia a la investigación que se basa en la alimentación. Podría realizarse un estudio sobre las manchas de presa, calculando cada variable como es la composición de las especies, su distribución vertical, horizontal, temporal y magnitud. Esto podría correlacionarse con la distribución de aquellas especies de

depredadores pelágicos que se alimentan en las manchas y con las características físicas del ambiente. Según ésto, podría obtenerse una idea de la interacción entre el ambiente, la presa y los depredadores. Las investigaciones sobre la ecología comparativa de las especies de delfines podrían también incluirse en esta categoría aunque pueden incluir también otros factores. Las diferencias en la ecología de la alimentación de varias especies de delfines podrían correlacionarse con las diferencias de su aparición en asociación con el aleta amarilla. Esto podría realzar cualquier diferencia basada en la alimentación entre las especies de delfines que se asocian con el aleta amarilla y aquellas que no lo hacen. Sería también interesante hacer estudios del nivel trófico que vincula los depredadores pelágicos a los organismos alimenticios, si pudieran indicar conexiones entre el aleta amarilla y su presa, y entre diferentes especies de delfines y su presa. Una última propuesta relacionada a la alimentación se refiere a estudiar más el contenido estomacal de los atunes y delfines que se encuentran asociados. Esto implicaría un experimento que habría de concebirse muy cuidadosamente para obtener estómagos solamente en estratos apropiados de tiempo y zona. Con referencia a este estudio se realizarían investigaciones entre las diferencias del contenido estomacal de cardúmenes de S. attenuata y S. longirostris puros y mixtos. Los estómagos de los atunes y delfines podrían también examinarse en zonas en las que no se explota el atún o en donde no se asocian con delfines. Los resultados de estos análisis aclararían nuestro conocimiento sobre la estructura trófica del ambiente marino en el que viven los atunes y delfines, y aumentaría también el conocimiento de porqué los cardúmenes de diferentes especies se asocian los unos con los otros.

Probablemente la manera más directa de estudiar el comportamiento de los atunes y delfines asociados, es capturar una agregación, marcar algunos individuos de ambos grupos y liberar todos estos animales. Esta investigación, si tiene éxito, suministraría observaciones directas sobre la dinámica del vínculo atún-delfín. Los delfines se marcarían con radio transmisores y los atunes con transmisores sonicos. Puede que éstos últimos, depende de la frecuencia, puedan interferir con los sonidos de localización de los delfines y viceversa. Probablemente será necesario realizar experimentos preliminares sobre las consecuencias que

puedan tener los transmisores sonicos en el comportamiento de los delfines.

La relación entre la aparición de las asociaciones atún-delfín y el ambiente podría examinarse de varias maneras. Esto se podría realizar estudiando diferentes zonas del Pacífico oriental tropical donde ocurre y no la asociación. Otra solución sería estudiar el Pacífico oriental y también el Atlántico oriental en donde las condiciones oceanográficas son similares, pero donde no se cree que es común la asociación atún-delfín. Sería también muy conveniente investigar la aparición del aleta amarilla en asociación con D. delphis. Esta asociación es interesante ya que parece que ocurre en una zona particular y en una temporada de un año pero no en la del año siguiente. Si las condiciones ambientales puede vigilarse durante periodos en los que es usual la asociación y cuando no existe, podría obtenerse una idea de la causa de esta asociación.

BIBLIOGRAFIA

- \*Allen, R.L. 1981. Dolphins and the purse seine fishery for yellowfin tuna. IATTC Internal Report No. 16, 23 pp.
- \*Allen, R.L., Bratten, D.A., Laake, J.L., Lambert, J.F., Perryman, W.L. and Scott, M.D. 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. IATTC Data Report No. 6, 28 pp.
- \*Au, D.W.K., Perryman, W.L. and Perrin, W.F. 1979. Dolphin distribution and the relationship to environmental features in the eastern tropical Pacific. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-79-43, 59 pp.
- Au, D.W.K. and Perryman, W.L. En prensa. Movement and speed of dolphin schools responding to an approaching ship. Fishery Bulletin 1982, 80(2).
- Barlow, J. 1979. Reproductive seasonality in pelagic dolphins of the eastern tropical Pacific. Paper no. SOPS/79/26 prepared for the Status of Porpoise Stocks Workshop, August 27-31, 1979. Southwest Fisheries Center, La Jolla, California. 22 pp.
- Benirschke, K., Johnson, M.L. and Benirschke, R.J. 1979. A study of nonpregnant dolphins (Stenella longirostris and S. attenuata) possessing corpora lutea. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-79-27, 46 pp.
- Bonnell, M.D. and Selander, R.K. 1974. Elephant seals: genetic variation and near extinction. Science 184, 908-909.
- \*Cole, J.S. 1980. Synopsis of biological data on the yellowfin tuna, Thunnus albacares (Bonnaterre, 1788), in the Pacific Ocean. In W.H. Bayliff (ed.) Synopses on the biology of eight species of Scombrids. IATTC Special Report No. 2, pp 71-150.
- Cowan, D.F. and Walker, W.A. 1979. Disease factors in Stenella attenuata and Stenella longirostris taken in the eastern tropical Pacific tuna purse seine fishery. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-79-32C, 21 pp.
- FAO. 1980. 1979 Yearbook of fishery statistics, catches and landings. Vol. 48, pp 96-172.
- \*Hammond, P.S. 1981. Some problems in estimating the density of

- dolphin populations in the eastern tropical Pacific using data collected aboard tuna purse seiners. IATTC Internal Report No. 15, 40 pp.
- \*Henderson, J.R., Perrin, W.F. and Miller, R.B. 1980. Rate of gross annual production in dolphin populations (Stenella spp. and Dolphinus delphis) in the eastern tropical Pacific, 1973-1978. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-80-02, 51 pp.
- \*IATTC. 1980. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1979. 227 pp.
- Jennings, J.G. and Gandy, W.F. 1980. Tracking pelagic dolphins by satellite. In Amlaner, C.J. and Macdonald, D.W. (eds.) A handbook on biotelemetry and radio tracking. Pergamon Press. pp 753-755.
- \*May, R.M., Beddington, J.R., Clark, C.W., Holt, S.J. and Laws, R.M. 1979. Management of multispecies fisheries. Science 205, 267-277.
- Moynihan, M. 1962. The organization and probable evolution of some mixed species flocks of neotropical birds. Smithsonian Miscellaneous Collections 143 (7), 1-140.
- Norris, K.S. and Dohl, T.P. 1980. Behavior of the Hawaiian spinner dolphin, Stenella longirostris. Fishery Bulletin 77 (4), 821-849.
- Perrin, W.F. 1968. The porpoise and the tuna. Sea Frontiers 14 (3), 166-174.
- Perrin, W.F. 1969. Using porpoise to catch tuna. World Fishing 18 (6), 4 pp.
- Perrin, W.F. 1970. The problem of porpoise mortality in the U.S. tropical tuna fishery. In Proceedings of the sixth annual conference on biological sonar and diving mammals, 1969, Stanford Research Institute, pp 45-48.
- \*Perrin, W.F., Coe, J.M. and Zweifel, J.R. 1976. Growth and reproduction of the spotted porpoise, Stenella attenuata, in the offshore eastern tropical Pacific. Fishery Bulletin 74(2), 229-269.
- \*Perrin, W.F., Evans, W.E. and Holts, D.B. 1979. Movements of pelagic dolphins (Stenella spp.) in the eastern tropical Pacific as indicated by results of tagging, with summary of tagging operations, 1969-76. NOAA Technical Report NMFS SSRF-737, 14 pp.
- \*Perrin, W.F. and Henderson, J.R. 1979. Growth and reproductive rates in two populations of spinner dolphins, Stenella longirostris, with

- different histories of exploitation. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-79-29, 37 pp.
- \*Perrin, W.F. and Powers, J.E. 1980. Role of a nematode in natural mortality of spotted dolphins. *J. Wildl. Manage.* 44(4), 960-963.
- \*Perrin, W.F., Sloan P.A. and Henderson, J.R. 1979. Taxonomic status of the "Southwestern stocks" of spinner dolphin Stenella longirostris and spotted dolphin S. attenuata. *Rep. Int. whal. Commn* 29, 175-184.
- \*Perrin, W.F., Warner, R.R., Fiscus, C.H. and Holts, D.B. 1973. Stomach contents of porpoise, Stenella spp., and yellowfin tuna, Thunnus albacares, in mixed-species aggregations. *Fishery Bulletin*, 71(4), 1077-92.
- Sharp, G.D. and Francis, R.C. 1976. An energetics model for the exploited yellowfin tuna, Thunnus albacares, population in the eastern Pacific Ocean. *Fishery Bulletin*, 74(1), 36-50.
- Southwest Fisheries Center. 1976. Report of the workshop on stock assessment of porpoises involved in the eastern Pacific yellowfin tuna fishery. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-76-29, 108 pp.
- Stuntz, W.E. 1981. The tuna-dolphin bond - a discussion of current hypotheses. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-81-19, 9 pp.
- Wada, S. and Numachi, K. 1979. External and biochemical characters as an approach to stock identification for the Antarctic minke whale. *Rep. Int. whal. Commn* 29, 421-432.

\*Los participantes pudieron utilizar estos escritos como documentos básicos.

ANEXO 1

LA DINAMICA DE TRES MODELOS SENCILLOS CONCEPTUALES  
DE LAS POSIBLES INTERACCIONES ATUN-DELFIN

editado

por

P. S. Hammond

Comision Interamericana del Atun Tropical  
La Jolla, California, EEUU

Preparado en el Grupo de Trabajo  
Atún-Delfín

Managua, Nicaragua  
6 al 10 de Abril de 1981



(a) Interacción parasitaria no obligatoria en la que ambas poblaciones se encuentran sujetas a la pesca

May et al. (1979) y Beddington y May (1980) describieron completamente el análisis de un modelo sencillo de depredación equivalente a un parasitismo obligatorio. Más adelante se sumariza el análisis de un modelo sencillo de un parasitismo no obligatorio en el que la población parásita puede existir en ausencia de la población huesped.

Modelo

Puede representarse el índice de cambio de la población huesped mediante

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left[ 1 - \frac{N_1}{K_1} \right] - a N_1 N_2 - r_1 F_1 N_1 \quad (1)$$

y de la parásita por

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left[ 1 - \frac{N_2}{K_2(1+bN_1)} \right] - r_2 F_2 N_2 \quad (2)$$

en la que  $N_1$  es la densidad huesped,  $N_2$  es la densidad parásita,  $r_1$  y  $r_2$  son los índices respectivos de crecimiento,  $K_1$ , y  $K_2$  son las respectivas "capacidades de acarreo" en ausencia de la otra población,  $a$  es el "índice de ataque" del parásito,  $b$  es una constante que representa los efectos del huesped con relación a la "capacidad de acarreo"\*\* del parásito y  $F_1$  y  $F_2$  son respectivamente los cálculos del esfuerzo de pesca en la población huesped y parásita, ajustados para que equivalgan a la unidad cuando el esfuerzo de pesca sea igual a los índices respectivos de crecimiento,  $r_1$ ,  $r_2$ .

---

\* "Carrying capacity" en inglés.

Sin dimensión

$$\text{de (1)} \frac{dx_1}{dt} = r_1 x_1 (1 - x_1 F_1 - \alpha x_2) \quad (3)$$

$$\text{de (2)} \frac{dx_2}{dt} = r_2 x_2 (1 - \frac{x_2}{1 + \beta x_1} - F_2) \quad (4)$$

$$\text{donde } x_1 = \frac{N_1}{K_1}, \quad x_2 = \frac{N_2}{K_2}, \quad \alpha = \frac{a K_2}{r_1}, \quad \beta = b K_1$$

En equilibrio

$$\text{de (3) cuando } \frac{dx_1}{dt} = 0, \quad x_1 = 1 - F_1 - \alpha x_2 \text{ ó } x_2 = \frac{1 - F_1 - x_1}{\alpha} \quad (5)$$

$$\text{de (4) cuando } \frac{dx_2}{dt} = 0, \quad x_2 = (1 - F_2)(1 + \beta x_1) \text{ ó } x_1 = \frac{x_2 - (1 - F_2)}{\beta(1 - F_2)} \quad (6)$$

así que se da el punto equilibrado mediante

$$x_1^* = \frac{1 - F_1 - \alpha(1 - F_2)}{1 + \alpha\beta(1 - F_2)} \quad (7)$$

$$x_2^* = \frac{(1 - F_2)[1 + \beta(1 - F_1)]}{1 + \alpha\beta(1 - F_2)} \quad (8)$$

Las isoclinas equilibradas, (5) y (6), y el punto equilibrado, (7) y (8), se representan gráficamente en la Figura A1.

A medida que aumenta el esfuerzo de pesca  $F_1$  en la población huesped,  $x_1$ , la isoterma  $dx_1/dt = 0$  desciende hacia el origen, el gradiente permanece igual, haciendo que disminuya el nivel de equilibrio tanto de la población huesped como de la parásita. A medida que aumenta el esfuerzo de pesca  $F_2$  en la población parásita  $x_2$ , el gradiente y la intersección  $x_2$  de la isocлина  $dx_2/dt = 0$  disminuyen, haciendo que aumente el nivel equilibrado de la población huesped y reduciendo el de la parásita.

### Rendimientos

Los rendimientos equilibrados,  $Y_1^*$  e  $Y_2^*$ , se obtienen al multiplicar los niveles equilibrados de la población,  $X_1^*$  y  $X_2^*$  por el esfuerzo de pesca. Por consiguiente

$$\text{de (7)} \quad Y_1^* = r_1 F_1 X_1^* = \frac{r_1 F_1 [1 - F_1 - \alpha(1-F_2)]}{1 + \alpha\beta(1-F_2)} \quad (9)$$

$$\text{de (8)} \quad Y_2^* = r_2 F_2 X_2^* = \frac{r_2 F_2 (1-F_2) [1 + \beta(1-F_1)]}{1 + \alpha\beta(1-F_2)} \quad (10)$$

El rendimiento máximo constante (RMC) de la población,  $X_1$ , y del  $F_2$  determinado, se obtiene a un nivel del esfuerzo de pesca de  $F_1 = 0.5$ . Al aumentar  $F_2$  se aumenta el RMC, como una función de  $\alpha$ . El RMC de la población parásita,  $X_2$  del  $F_1$  determinado, se obtiene a un nivel de esfuerzo de pesca dependiente de la combinación del parámetro  $\alpha\beta$ . Por ejemplo, con  $\alpha\beta = 1$ , se obtiene el  $RMC_2$  a  $F_2 = 0.59$ . Al aumentar  $F_1$  se disminuye el  $RMC_2$  como una función lineal de  $\beta$ .

La diferencia esencial entre el modelo descrito anteriormente y el modelo depredador-presa descrito por May *et al.* (1979) y Beddington y May (1980), es que en el modelo anterior la población parásita puede existir en ausencia de la población huesped. Esto se demuestra en la Figura A1 donde puede verse que la isoclina equilibrada  $dX_2/dt = 0$  tiene un valor positivo a  $X_1 = 0$ . En el modelo descrito por los autores anteriores, esta isoclina atraviesa el origen. Las propiedades de rendimiento de ambos modelos son similares. En los dos el nivel del esfuerzo de pesca que sostiene el RMC de la población parásito/depredador depende del valor de los parámetros del modelo. El parámetro  $v$  sin dimensiones en el modelo de May *et al.* (1979) y Beddington y May (1980) equivale a la combinación de los parámetros  $\alpha\beta$  del modelo anterior.

### (b) Interacción competitiva en la que ambas poblaciones están sujetas a la pesca

Clark (1976) describe una extensión del modelo de Gause (1935) de una interacción competitiva en la que una población se encuentra sujeta a la pesca. Más adelante se sumariza un análisis ampliando este modelo

para que ambas poblaciones estén sujetas a la pesca.

Modelo

El índice de cambio de cada una de las dos poblaciones competitivas puede representarse mediante

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1}\right) - a_1 N_1 N_2 - r_1 F_1 N_1 \quad (11)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2}\right) - a_2 N_2 N_1 - r_2 F_2 N_2 \quad (12)$$

en donde  $N_1$  y  $N_2$  son las densidades de las dos poblaciones,  $r_1$  y  $r_2$  son los índices respectivos de crecimiento,  $K_1$  y  $K_2$  son las respectivas "capacidades de acarreo",  $a_1$  y  $a_2$  representan respectivamente el efecto de la población  $N_2$  sobre  $N_1$  y  $N_1$  sobre  $N_2$ , y  $F_1$  y  $F_2$  son las medidas del esfuerzo de pesca en las dos poblaciones ajustadas para que equivalgan a la unidad cuando el esfuerzo de pesca sea igual a los índices respectivos de crecimiento  $r_1$  y  $r_2$ .

Sin dimensión

$$\text{de (11)} \frac{dx_1}{dt} = r_1 x_1 (1 - x_1 - F_1 - a_1 x_2) \quad (13)$$

$$\text{de (12)} \frac{dx_2}{dt} = r_2 x_2 (1 - x_2 - F_2 - a_2 x_1) \quad (14)$$

$$\text{donde } x_1 = \frac{N_1}{K_1}, \quad x_2 = \frac{N_2}{K_2}, \quad a_1 = \frac{a_1 K_2}{r_1}, \quad a_2 = \frac{a_2 K_1}{r_2}$$

En equilibrio

$$\text{de (13) cuando } \frac{dx_1}{dt} = 0, \quad x_1 = 1 - F_1 - a_1 x_2 \text{ ó } x_2 = \frac{1-F_1-x_1}{a_1} \quad (15)$$

$$\text{de (14) cuando } \frac{dx_2}{dt} = 0, \quad x_2 = 1 - F_2 - a_2 x_1 \text{ ó } x_1 = \frac{1-F_2-x_2}{a_2} \quad (16)$$

así que el punto equilibrado es dado por

$$X_1^* = \frac{1 - F_1 - \alpha_1(1-F_2)}{1 - \alpha_1\alpha_2} \quad (17)$$

$$X_2^* = \frac{1 - F_2 - \alpha_2(1-F_1)}{1 - \alpha_1\alpha_2} \quad (18)$$

Las isoclinas equilibradas, (15 y 16), y el punto equilibrado, (17) y (18), se representan gráficamente en la Figura A2 (i)-(iv).

El efecto del aumento en el esfuerzo de pesca es mover cada isocлина equilibrada hacia el origen mientras el gradiente permanece constante. En la Figura A2(i), donde existe un punto equilibrado constante en el primer cuadrante, el aumento en el esfuerzo de pesca ya sea en una u otra población declinará la isocлина equilibrada hacia el origen, sin cambiar el gradiente, reduciendo así el nivel equilibrado de esa población mientras aumenta el nivel equilibrado de la otra.

#### Rendimientos

Los rendimientos de equilibrio se obtienen al multiplicar los niveles equilibrados de la población por el esfuerzo de pesca. Por consiguiente

$$\text{de (17)} \quad Y_1^* = r_1 F_1 X_1^* = \frac{r_1 F_1 [1 - F_1 - \alpha_1(1 - F_2)]}{1 - \alpha_1\alpha_2} \quad (19)$$

$$\text{de (18)} \quad Y_2^* = r_2 F_2 X_2^* = \frac{r_2 F_2 [1 - F_2 - \alpha_2(1 - F_1)]}{1 - \alpha_1\alpha_2} \quad (20)$$

Para el esfuerzo determinado de pesca,  $F_2$ , sobre la población  $X_2$ , el RMC de la población  $X_1$  se obtiene al nivel del esfuerzo de pesca,  $F_1 = 0.5$ . El RMC<sub>1</sub> depende de un término de segundo orden que incluye  $F_2$ , así que el aumento de  $F_2$  ocasiona que el RMC<sub>1</sub> aumente desproporcionadamente. Lo mismo ocurre con la población  $X_2$ .

(c) Interacción cooperativa en la que ambas poblaciones se encuentran sujetas a la pesca

El modelo analizado aquí es idéntico al modelo de la competencia de Gause (1935) con términos de interacción positiva en lugar de negativa correspondiente al efecto de cada población sobre cada otra y permitiendo la pesca de ambas poblaciones.

Modelo

El índice de cambio de cada una de las dos poblaciones cooperativas puede representarse mediante

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1}\right) + a_1 N_1 N_2 - r_1 F_1 N_1 \quad (21)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2}\right) + a_2 N_2 N_1 - r_2 F_2 N_2 \quad (22)$$

donde  $N_1$  y  $N_2$  son las densidades de las dos poblaciones,  $r_1$  y  $r_2$  son los índices respectivos de crecimiento,  $K_1$  y  $K_2$  son las respectivas "capacidades de acarreo",  $a_1$  y  $a_2$  representan respectivamente los efectos de la población  $N_2$  sobre  $N_1$  y  $N_1$  sobre  $N_2$ , y  $F_1$  y  $F_2$  son las medidas del esfuerzo de pesca sobre las dos poblaciones ajustadas para que equivalgan a la unidad cuando el esfuerzo de pesca sea igual a los índices respectivos de crecimiento,  $r_1$  y  $r_2$ .

Sin dimensión

$$\text{de (21)} \frac{dx_1}{dt} = r_1 x_1 (1 - x_1 - F_1 + a_1 x_2) \quad (23)$$

$$\text{de (22)} \frac{dx_2}{dt} = r_2 x_2 (1 - x_2 - F_2 + a_2 x_1) \quad (24)$$

$$\text{donde } x_1 = \frac{N_1}{K_1}, x_2 = \frac{N_2}{K_2}, a_1 = \frac{a_1 K_2}{r_1}, a_2 = \frac{a_2 K_1}{r_2}$$

En equilibrio

$$\text{de (23) cuando } \frac{dx_1}{dt} = 0, x_1 = 1 - F_1 + a_1 x_2 \text{ ó } x_1 = \frac{x_1 - (1 - F_1)}{a_1} \quad (25)$$

$$\text{de (24) cuando } \frac{dx_2}{dt} = 0, x_2 = 1 - F_2 + \alpha_2 x_1 \text{ ó } x_1 = \frac{x_2 - (1-F_2)}{\alpha_2} \quad (26)$$

así que el punto equilibrado es dado por

$$x_1^* = \frac{1-F_1 + \alpha_1(1-F_2)}{1 - \alpha_1\alpha_2} \quad (27)$$

$$x_2^* = \frac{1-F_2 + \alpha_2(1-F_1)}{1 - \alpha_1\alpha_2} \quad (28)$$

Las isoclinas equilibradas, (25) y (26), y el punto equilibrado, (27) y (28), se representan gráficamente en la Figura A3.

El equilibrio ocurre en el primer cuadrante sólo si  $\alpha_1, \alpha_2 < 1$ .  $F_1$  puede ser superior a la unidad tanto como  $\alpha_1 < (1-F_1)/(F_2-1)$ . Asimismo,  $F_2$  puede ser superior a la unidad tanto como  $\alpha_2 < (1-F_2)/(F_1-1)$ . El aumento del esfuerzo ya sea en una u otra población hace que la isocлина equilibrada se mueva hacia el origen, sin cambiar el gradiente, disminuyendo consecuentemente el nivel equilibrado de ambas poblaciones.

#### Rendimientos

Los rendimientos equilibrados se obtienen al multiplicar los niveles equilibrados de la población por el esfuerzo de pesca. Por consiguiente

$$\text{de (27)} \quad Y_1^* = r_1 F_1 x_1^* = \frac{r_1 F_1 [1-F_1 + \alpha_1(1-F_2)]}{1 - \alpha_1\alpha_2} \quad (29)$$

$$\text{de (28)} \quad Y_2^* = r_2 F_2 x_2^* = \frac{r_2 F_2 [1-F_2 + \alpha_2(1-F_1)]}{1 - \alpha_1\alpha_2} \quad (30)$$

Para el esfuerzo de pesca determinado,  $F_2$ , sobre la población  $x_2$ , se obtiene el RMC de la población  $x_1$  al nivel del esfuerzo de pesca  $F_1 = 0.5$ . El RMC<sub>1</sub> depende de un término de segundo orden que incluye  $F_2$ , así que el aumento de  $F_2$  ocasiona que el RMC<sub>1</sub> se reduzca desproporcionalmente. Lo mismo ocurre con la población  $x_2$ .

BIBLIOGRAFIA

- Beddington, J.R. and May, R.M. (1980). Maximum sustainable yields in systems subject to harvesting at more than one trophic level. *Mathematical Biosciences* 51, 261-281.
- Clark, C.W. (1979). Mathematical Bioeconomics. Wiley, New York. 352 pp.
- Gause, G.F. (1934). The Struggle for Existence. Hafner, N.Y. 163 pp.
- May, R.M., Beddington, J.R., Clark, C.W., Holt, S.J. and Laws, R.M. (1979). Management of multi-species fisheries. *Science* 205, 267-277.

FIGURAS

Figura A1 Isoclinas equilibradas del modelo de parasitismo. El punto equilibrado  $(X_1^*, X_2^*)$  es estable si se encuentra en el primer cuadrante.

Figura A2 Isoclinas equilibradas del modelo de competición. Las flechas grandes indican trayectorias de la población hacia los puntos equilibrados.

- (i) El punto equilibrado  $(X_1^*, X_2^*)$  se encuentra en el primer cuadrante y es estable solamente si  $\alpha_1 < (1-F_1)/(1-F_2)$  y  $\alpha_2 < (1-F_2)/(1-F_1)$ . Los puntos  $(0, X_2^*)$  y  $(X_1^*, 0)$  son equilibrios inestables.
- (ii) El punto equilibrado  $(X_1^*, X_2^*)$  se encuentra en el primer cuadrante e inestable solo si  $\alpha_1 > (1-F_1)/(F_2)$  y  $\alpha_2 > (1-F_2)/(1-F_1)$ . Los puntos  $(0, X_2^*)$  y  $(X_1^*, 0)$  son equilibrios estables.
- (iii) No se encuentra un punto equilibrado en el primer cuadrante,  $(0, X_2^*)$  es un punto de equilibrio inestable y  $(X_1^*, 0)$  es un punto de equilibrio estable si  $\alpha_1 < (1-F_1)/(1-F_2)$  y  $\alpha_2 > (1-F_2)/(1-F_1)$ .
- (iv) No se encuentra un punto equilibrado en el primer cuadrante,  $(0, X_2^*)$  es un punto de equilibrio estable y  $(X_1^*, 0)$  es un punto de equilibrio inestable si  $\alpha_1 > (1-F_1)/(1-F_2)$  y  $\alpha_2 < (1-F_2)/(1-F_1)$ .

Figura A3 Isoclinas equilibradas del modelo de cooperación. El punto equilibrado  $(X_1^*, X_2^*)$  es estable si se encuentra en el primer cuadrante.

Figure A1

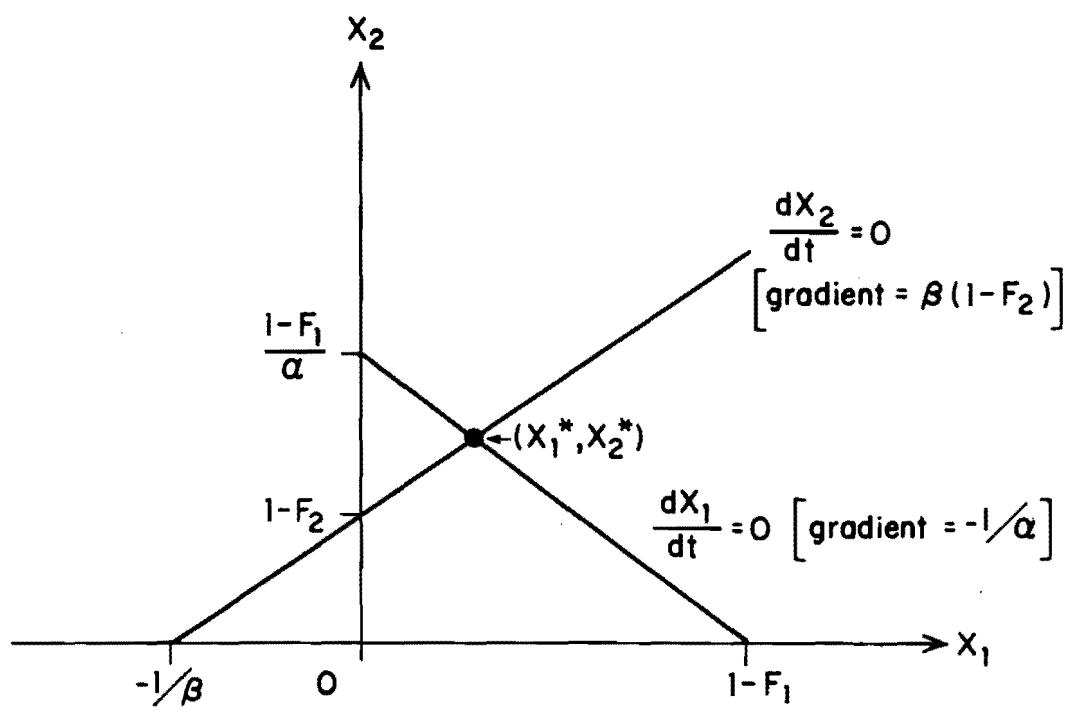


Figure A2

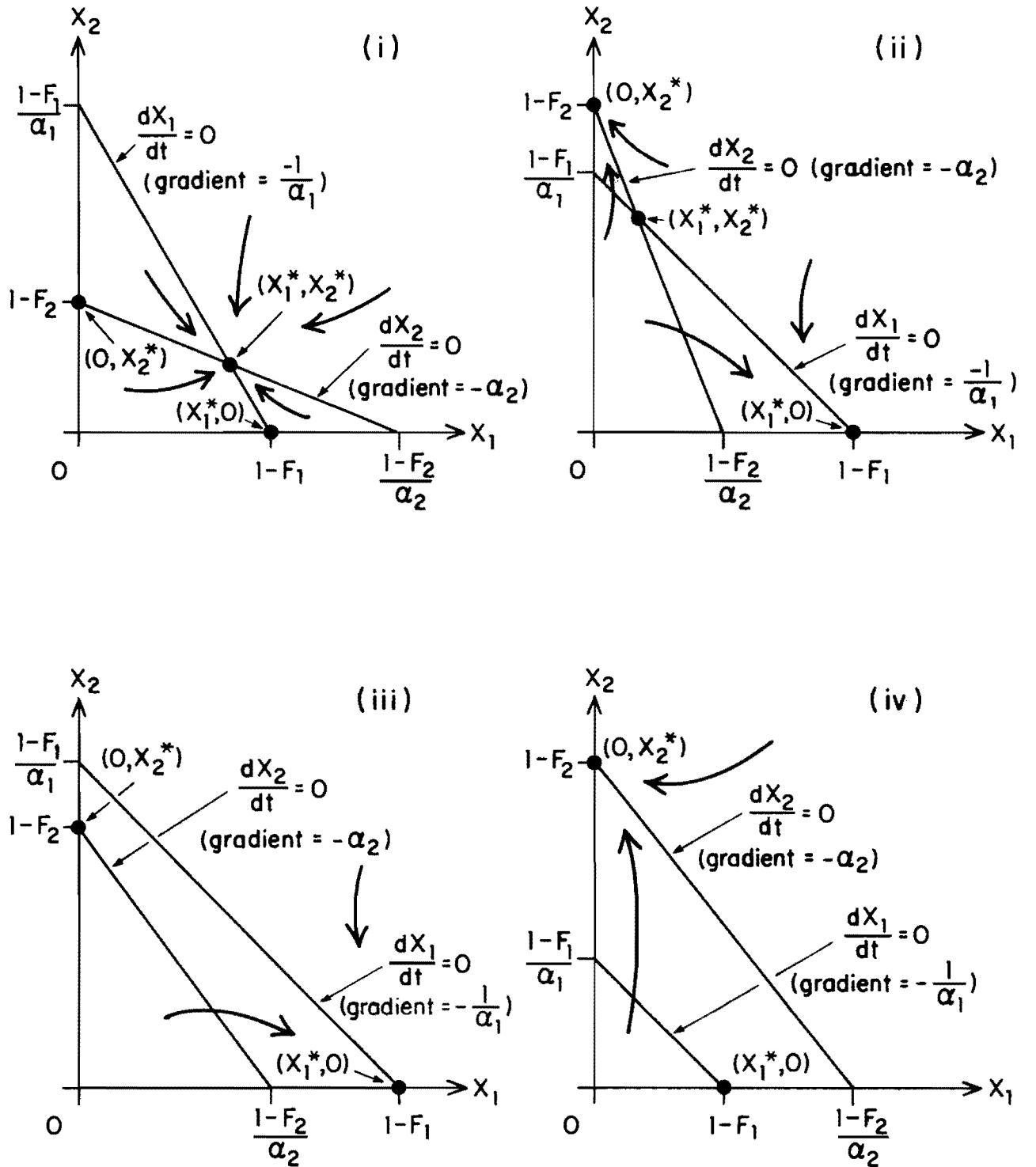
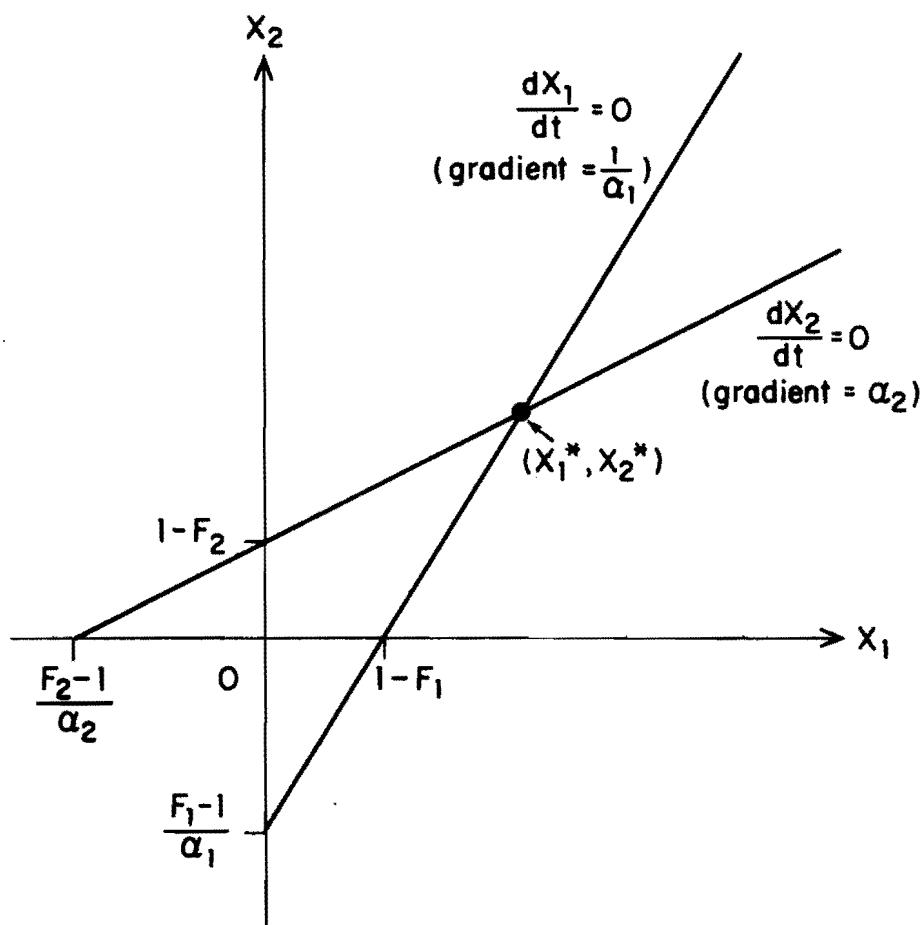


Figure A3



ANEXO 2

MORTALIDAD NATURAL DE LOS DELFINES

P.S. Hammond

Comisión Interamericana del Atún Tropical  
La Jolla, California, EEUU

Analisis preparado para el  
Grupo de Trabajo Atún-Delfín

Managua, Nicaragua  
6 al 10 de Abril de 1981



### INTRODUCCION

El propósito de este breve estudio es resumir los factores que constituyen la mortalidad natural de las poblaciones de delfines. Se analizan las pruebas de la mortalidad por enfermedad, depredación y parasitismo. Este último es el elemento más documentado y por consiguiente se considera la causa principal de la mortalidad natural de los delfines. Se examinan también los índices de la mortalidad natural de las poblaciones de delfines afectadas por la pesca con redes de cerco en el Pacífico oriental tropical.

### ENFERMEDADES QUE NO SE DEBEN A LOS PARASITOS

Se han recibido algunos pocos informes de delfines que sufren enfermedades tanto cuando están en cautividad como cuando están libres que no se deben a los parásitos. No es necesario examinar los casos de tales enfermedades en animales cautivos, ya que se cree comúnmente, que el ambiente insólito próximo al litoral, la gente y los animales en particular, son la causa principal de las enfermedades en los acuarios. Migaki, Valerio, Irvine y Garner (1971) y Caldwell, Caldwell, Woodward, Ajello, Kaplan y McClure (1975) han hablado sobre la enfermedad cutánea fungicida Lobomycosis en los delfines Tursiops truncatus del Atlántico, capturados en el Golfo de México. Cowan y Walker (1979) en un estudio de 49 Stenella attenuata y 19 S. longirostris en el Pacífico oriental tropical observaron pequeñas cicatrices superficiales en el corazón, leve inflamación en el hígado y varias irregularidades en los riñones. Ninguno de los informes anteriores indica que la enfermedad descubierta podía afectar la sobrevivencia de estos animales. Stroud y Roffe (1979), identificaron la causa de la muerte de un delfín común Delphinus delphis, como meningoencefalitis, una infección causada por un virus. Es probable que las enfermedades bacteriales y las causadas por virus sean más comunes en los delfines de lo que indican los escasos datos que se tienen. Slijper (1962) ha dicho que la enfermedad afecta poco el índice de mortalidad de las ballenas, pero Tomilin y Smyshlyayev (1968) indican que se subestima la importancia de las enfermedades porque los cetáceos enfermos mueren en la profundidad, siendo presa de los animales que se alimentan de carroña y rara vez son descubiertos. Esto es también verdad en cuanto a las enfermedades parasitarias.

Se puede agregar poco a estas opiniones. Evidentemente, las enfermedades de los mamíferos marinos, incluyendo a los delfines, aparecen cuando están en libertad y pueden aún ser comunes, pero no hay manera de determinar su impacto sobre la sobrevivencia de estos animales.

#### DEPREDACION

Como con las enfermedades que no son parasitarias, es difícil determinar tanto el grado de depredación como su efecto en los delfines. Es tal vez aún más difícil ya que la depredación puede comprobarse solamente mediante la observación física de una especie atacando a la otra. Aunque son abundantes los informes sobre delfines encontrados en los estómagos de tiburones y pequeñas ballenas, no demuestran que exista una depredación activa; puede que los delfines ya hubieran muerto o estuvieran muriéndose debido a otras causas cuando fueron comidos. Igualmente, los informes sobre el comportamiento agresivo de parte de los tiburones o pequeñas ballenas hacia delfines en cautividad no demuestran tal relación cuando se encuentran en libertad. Sin embargo, existen varios casos documentados en los que se ha observado que los delfines son atacados por tiburones o ballenas. Wood, Caldwell y Caldwell (1970) informaron sobre algunos pocos casos en que los tiburones acosaban y atacaban a los delfines, especialmente en el caso de un cardumen de unos 50 Delphinus sp. perseguido por un grupo de tiburones, y la historia de un tiburón y de una hembra grande Tursiops truncatus batallando y resultando en la muerte del delfín. Pike y MacAskie (1969), presentaron en el cuaderno de bitácora la faena depredadora de las orcas en aguas de la Columbia Británica, dando dos informes de orcas atacando cardúmenes de delfines Phocoenoides dalli. Morejohn (1979) describió también ataques realizados por orcas en Phocoenoides dalli, pero indicó que éstos últimos nadan demasiado aprisa para ser acosados por tiburones. Wursig y Wursig (1980), documentaron en seis ocasiones el comportamiento evasivo de Lagenorhynchus obscurus, el delfín oscuro, al acercarse una orca, Orca orcinus. En tres ocasiones los delfines nadaron hacia la costa penetrando en aguas con menos de 1 m de profundidad. Los autores consideraron que esto probablemente es una defensa contra el ataque de las orcas. Es difícil, realmente, imaginar como pudo evolucionar tal comportamiento a no ser

que las ballenas representaran un peligro para los delfines. Indicaron además, que algunos observadores veraces vieron alguna vez orcas saliendo a la superficie en medio de un cardumen de delfines oscuros, una con sangre goteando de sus fauces, indicando un ataque. En el Pacífico oriental tropical, Perryman y Foster (1980) han documentado informes de observadores a bordo de barcos cerqueros atuneros de pequeñas ballenas atacando delfines. En el diario de los observadores se encontraron varios casos de Pseudorca crassidens, la falsa orca, atacando Stenellas spp. o Delphinus delphis. En algunos casos la identificación fue tentativa. En la mayoría, aunque no en todos, estos ataques fueron observados durante las maniobras de pesca, así que existe alguna duda de si tales ataques ocurren naturalmente. Sin embargo, el hecho de que Stenella spp. y D. delphis se espantan en la red de cerco cuando se aproximan mamíferos depredadores (una observación común) es indicativo de la acción reciproca depredador-presa. Como se mencionó anteriormente, la evolución de este tipo de comportamiento puede solo ser posible si existe tal relación. Leatherwood, Perrin, Garvie y LaGrange (1971), relatan casos de ataques de tiburones en delfines durante las maniobras de pesca de cerqueros atuneros, pero los ataques eran en su mayor parte sobre animales evidentemente desorientados o heridos.

Tal vez la descripción más dramática y gráfica de la depredación de los delfines es la de Grey (1927). Presenció un cardumen de "peces negros" con "aletas negras puntadas" (probablemente ballenas pequeñas como Pseudorca) persiguiendo y atacando un cardumen de "delfines". Parece que las ballenas habían estado rodeando los delfines, luego los persiguieron hasta que estaban exhaustos y los atacaron.

Es evidente que las ballenas pequeñas y los tiburones atacan los delfines de varias especies. Existen numerosos informes sobre delfines con cicatrices debidas indudablemente a mordiscos de tiburones o pequeñas ballenas. La depredación como también las enfermedades que no son parasitarias, son probablemente un factor importante en la mortalidad natural de los delfines. Se conoce que los tiburones y las ballenas odontocetas no discriminan en su alimentación y pueden hacer presa de los delfines cuando se presenta la ocasión. Esto ocurriría con más probabilidad cuando los delfines se encuentran en desventaja como es

durante las maniobras atuneras de los cerqueros en el Pacífico oriental tropical.

#### ENFERMEDADES PARASITARIAS

El parasitismo es hasta ahora la forma más documentada de la mortalidad natural de los delfines. Los informes de parásitos encontrados en los cetáceos se remonta al siglo pasado, pero el primer análisis completo fue realizado por Delyamure (1955). Menciona dos casos especialmente interesantes debido a la información cuantitativa recibida. El primero fue la fuerte infección del delfín común D. delphis en el Mar Negro, por el nematodo pulmonar Skrjabinalius cryptocephalus. Encontró 175 de 604 individuos (29%) infectados por 3-227 (media de 25) parásitos por delfín. El índice de infección variaba entre 16.9% a 39.0% en 5 diferentes cardúmenes. Los embriones y los pequeños que estaban mamando no tenían infección, en los juveniles la infección era imperceptible y los adultos se encontraban intensamente infectados. Delyamure consideró Skrjabinaliosis como un factor de mortalidad de cierta importancia. El segundo caso fue de una infección del 100% de una muestra de delfines en el Mar de Azov, Phocoena phocoena relicta, por el nematodo Stenurus minor en las cavidades auditivas y nasales del cráneo. Delyamure se dio cuenta del daño evidente de los órganos auditivos de estos delfines debido a la stenurosis. El D. delphis y T. truncatus en el Mar de Azov no fueron afectados.

Desde Delyamure (1955), Stenurus spp. ha sido encontrado por varios autores. Reysenbach de Haan (1957) encontró que al abrir las cavidades llenas de aire en el cráneo de los mamíferos marinos, presentaban frecuentemente "un gran número de gusanos, frecuentemente entrelazados formando bolas". Se encontró especialmente S. globicephala en las ballenas piloto o calderón. Norris y Prescott (1961) encontraron grandes cantidades de Stenurus sp. en el seno lateral cerca al oído interno en Phocoenoides dalli (delfín de Dall) y Johnston y Ridgeway (1969) encontraron un delfín de Dall con numerosos S. minor en los senos del cráneo y de los pulmones. En un estudio de un grupo varado de Lagenorhynchus acutus del Atlántico, Geraci, Testaverde, St. Aubin y Loop (1974), encontraron que las cavidades del cráneo y del oído medio de todos los subadultos y adultos (aproximadamente un total de 150 animales) estaban

infectados con S. globicephalae. Parece que Stenurosis es una infección bastante común en los delfines y puede causar evidentemente considerable molestia. Desde Delyamure (1955) se han recibido también datos sobre parásitos en los pulmones, especialmente de Geraci (1979), quien encontró varias especies de gusanos en los pulmones "apareciendo algunas veces limitados en cantidad solo debido a su propia densidad" en 25 delfines varados, P. phocoena. Geraci observó además, que a veces se encuentran grandes cantidades de gusanos en animales saludables.

Se han observado grandes infecciones por el nematodo estomacal Anisakis spp. Kagei, Oshima y Takemura (1967) encontraron infectados 254 de 411 (61.8%) delfines Stenella coeruleoalba. Un punto interesante aquí, es que los animales fueron obtenidos durante dos años consecutivos y los resultados son bien diferentes entre estos años. El porcentaje de parasitismo fue mucho mayor en 1965, que en 1966, y la media del número de parásitos por delfín en 1965, fue cerca de 4 veces la de 1966. Además, la longitud de los gusanos era diferente; casi la mitad de éstos median más de 30 mm en 1965, pero solo el 15% tenía esta longitud en 1966. Dailey y Perrin (1973) encontraron que el porcentaje de parasitismo por Anisakis sp. de 72 Stenella attenuata aumentaba con la edad. Los neonatos tienen 0% de infección, los pequeños - 62%, los subadultos - 76% y los adultos - 83%. Solo los subadultos tenían grandes cantidades de gusanos. No se mencionó en ninguno de estos informes sobre la importancia de Anisakis como factor de mortalidad.

Varios de los informes sobre el parasitismo de los delfines provienen de estudios de mamíferos marinos varados. En realidad, se ha indicado que el parasitismo ha sido la causa de las varadas, especialmente por parásitos que se han encontrado en el cerebro de los delfines. Ridgeway y Dailey (1972) encontraron siete Delphinus delphis que sufrián de un considerable parasitismo del trematodo Campula rochebruni en el hígado y el cerebro. Se encontró también un Lagenorhynchus obliquidens con lesiones cerebrales, que se creyó habían sido causadas por el trematodo Zalophotrema sp. Los autores indican que "Por lo menos tres especies de trematodos parasitarios desovan en los delfines, estos huevos llegan en alguna forma desconocida al cerebro causando un extenso daño. Esta lesión causa la incoordinación y eventualmente la muerte. Los animales afectados que sobreviven el tiempo suficiente son arrojados

a la orilla o se varan". Geraci (1979) informó que había encontrado Campula oblonga en los hígados de P. phocoena varados a lo largo de la costa de Nueva Inglaterra. Encontró que tanto como el 15% del tejido hepático había sido infectado y reemplazado, e indicó que esto no era muy serio. Consideró, sin embargo, que la lesión pancreática causada por C. oblonga podía ser una condición mucho más seria. Dailey y Walker (1978) encontraron que Campula spp. causaba varios grados de fibrosis en los conductos pancreaticos en tres de cuatro delfines de Dall Phocoenoides dalli y en 23 de 37 (68%) de D. delphis varados individualmente a lo largo de la costa del sur de California. Encontraron también el trematodo Nasitrema spp. en las cavidades de 40 de 60 delfines de cuatro especies varados individualmente. Se encontraron gusanos adultos en el cerebro de 26 individuos, causando allí lesiones. Solo dos de los 31 delfines de control Stenella coeruleoalba y Delphinus delphis capturados mar afuera se encontraban infectados y no se observaron lesiones. Esto es un hallazgo importante e indica firmemente que los trematodos del género Nasitrema pueden al lesionar el sistema nervioso central ser una de las causas de las varadas individuales de los delfines.

Geraci, Testaverde, St. Aubin y Loop (1974) y Geraci, Dailey y St. Aubin (1978) indicaron que el parasitismo puede afectar la reproducción de los delfines. En un estudio de un grupo varado de Lagenorhynchus acutus del Atlántico, estos autores encontraron 14 hembras maduras con las glándulas mamarias infectadas por el nematodo Crassicauda gramicola de 30 examinadas. Algunos ejemplares tenían los órganos lo suficientemente lesionados como para afectar la producción y posiblemente la calidad de la leche. Esto no causa la muerte en el individuo afectado, pero puede reducir la sobrevivencia de los pequeños y consecuentemente la productividad de la manada.

Se ha encontrado también que Crassicauda sp. es un parásito importante en el cráneo de Stenella attenuata en el Pacífico oriental tropical. Dailey y Perrin (1973) encontraron en una muestra de 129 cráneos, que el porcentaje de lesiones debido a Crassicauda sp. disminuye con la edad en los animales más viejos. El feto ya casi completo y los neonatos tienen 0% lesiones, los pequeños 44.4%, los subadultos - 11.1% y los adultos 7.1%. Tal daño es irreversible y estos resultados indican claramente que los animales se están muriendo debido a la infección de

Crassicauda o a una condición relacionada a su aparición. Perrin y Powers (1980) han analizado el cráneo de 704 delfines manchados (Stenella attenuata) para determinar la cantidad con lesiones severas relativas a los nematodos. Emplearon un modelo sencillo de infección y mortalidad para estimar que el porcentaje de mortalidad debido a Crassicauda sp. o una causa relacionada era aproximadamente del 1% anual para animales que tenían por lo menos ocho capas de dentina (posiblemente años). Usando otro ajuste del modelo, la mortalidad podía ser tan alta como el 3% anual para animales que tenían cinco capas de dentina o más. Este ha sido un adelanto importante en el estudio del parasitismo como factor de mortalidad natural en los delfines. Es necesario realizar más estudios de esta clase, en los que el daño causado por el parasitismo es irreversible.

Es evidente que el parasitismo en los delfines es el elemento principal de la mortalidad natural. No solamente está bien propagado, Johnston y Ridgeway (1969) observaron "incidencia sorprendente de parasitismo", pero algunos parásitos pueden reducir la sobrevivencia. Geraci, Dailey y St. Aubin (1978) indicaron que pocos parásitos han demostrado causar más de una molestia local, excepto por los parásitos pulmonares asociados con neumonía y los nematodos del cráneo como Crassicauda sp. Es probable que otros parásitos causen mortalidad, por ejemplo, Crassicauda grampicola en los tejidos mamarios, Stenurus spp. en los órganos auditivos y Campula spp. en el tejido pancreático, pero esto no ha sido aun demostrado activamente.

#### CAUSAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS DE MORTALIDAD

Aunque este breve análisis ha sido dividido en enfermedades no parasitarias, depredación y enfermedades parasitarias, las tres partes son inseparables en la práctica. Los individuos enfermos son menos capacitados y por consiguiente pueden sucumbir con más probabilidad a otras enfermedades, a la depredación o las dos cosas. Asimismo, los animales atacados por depredadores pueden ser más susceptibles a infeciones por las lesiones recibidas. En general, los animales más débiles corren más riesgo con relación a los factores naturales de mortalidad que los animales más fuertes. Esto incluye los jóvenes y los viejos como también los enfermos. Los patólogos tienen frecuentemente

problemas en determinar la causa de la muerte de los mamíferos marinos que se varan en la costa. Por lo general, existe más de un factor contribuyente y éstos pueden enumerarse como causas primarias y secundarias de la mortalidad (Stroud y Roffe, 1979).

INDICES DE LA MORTALIDAD NATURAL DE LOS DELFINES AFECTADOS POR LA PESCA DE ATUN CON REDES DE CERCO EN EL PACIFICO ORIENTAL TROPICAL

Las especies de delfines que mueren con más frecuencia en la pesca de atún en el Pacífico oriental son Stenella attenuata, S. longirostris y Delphinus delphis. Las consecuencias de la mortalidad de los delfines en la pesca atunera, debidas a la acción recíproca entre las poblaciones del atún aleta amarilla y de los delfines, y las restricciones impuestas sobre la pesquería por el Decreto de Protección de los Mamíferos Marinos (DPMM) de 1972, de los EEUU, exigían que se obtuviera un conocimiento evidente de la dinámica de las poblaciones incluidas. En las tres últimas décadas, la Comisión Interamericana del Atún Tropical ha investigado la dinámica poblacional del atún aleta amarilla en el Pacífico oriental. Sin embargo, la investigación en este campo de la dinámica de la población de los delfines es relativamente reciente, iniciada principalmente por la promulgación del DPMM de 1972.

La mayoría del trabajo ha sido en preparación o como resultado de dos grupos de trabajo convocados por el National Marine Fisheries Service (NMFS) de los EEUU, en La Jolla, California, el SWFC (1976) y Smith (1979), para cumplir con sus obligaciones con el DPMM (1972). En 1979, se supuso que los índices de la mortalidad natural eran aproximadamente iguales a los índices de la reproducción bruta en las poblaciones poco explotadas, basados en la tesis de que estaban más o menos equilibradas con su ambiente. Los índices de la mortalidad natural no pudieron estimarse directamente debido a la falta de datos. Se encontró que un índice razonable era del 10% anual.

La falla en producir estimaciones directas de la mortalidad natural en el grupo de trabajo más reciente (Smith, 1979) representa, en general, acertadamente este problema. No existen datos que permitan hacer estas estimaciones, debido a que son muy difíciles de obtener. El problema podría enfocarse tal vez de dos maneras. La primera y mejor, sería poder muestrear una población sin explotar o poco explotada

suponiendo que todas las generaciones estén equilibradas, en tal forma que pudiera elaborarse una tabla comprensiva sobre su ciclo vital. Luego, usando los datos de reproducción según esta muestra, podrían calcularse fácilmente los índices de la mortalidad natural. El segundo método sería tratar de determinar el efecto acumulativo y cuantitativo de los elementos constituyentes de la mortalidad natural; enfermedades no parasitarias, parasitismo, depredación y, posiblemente, vejez. Evidentemente, ninguno de estos métodos puede emprenderse trivialmente.

En la primera solución, los datos se obtienen comúnmente de las poblaciones explotadas que probablemente no están equilibradas. Ni la muestra representaría tampoco la población, ya sea porque la muestra es insuficiente o por el muestreo selectivo. No obstante, el trabajo sobre la estimación del índice de crecimiento y reproducción de Stenella spp. y D. delphis forma la base de otros trabajos. (Perrin, Coe y Zweifel, 1976; Perrin, Miller y Sloan, 1977; Perrin, Holts y Miller, 1977; Perrin y Henderson, 1979; Perrin y Miller, 1980).

En el segundo método, se ha escrito mucho sobre los parásitos encontrados en los delfines y sobre éstos existen varios documentados de delfines que sufren enfermedades no parasitarias y hay unos pocos datos de la depredación de delfines, pero poco en la forma de una evaluación cuantitativa de los efectos y de las causas de la mortalidad. Se destaca a este respecto solo el trabajo de Perrin y Powers (1980) sobre Crassicauda sp. en Stenella attenuata.

Ohsumi (1979) ha intentado obtener algunas conclusiones generales referentes a los índices de mortalidad de los cetáceos. Proyectó la longitud máxima del cuerpo de varias especies de ballenas contra el índice de la mortalidad natural presentando una relación inversa. Sin embargo, sus estimaciones de mortalidad con relación a las especies de delfines pueden ser demasiado elevadas y la relación no tan aproximada como parece.

Confrontados con tales problemas en la obtención de la información básica, las preguntas más interesantes como son si la mortalidad natural depende de la densidad de los delfines y si es así, en qué forma, quedarán sin respuesta a excepción de algunas consideraciones teóricas.

BIBLIOGRAFIA

- Caldwell, D.K., Caldwell, M.C., Woodward, J.C., Ajello, L., Kaplan, W. and McClure, M.M. 1975. Lobomycosis as a disease of the Atlantic bottlenosed dolphin (Tursiops truncatus Montagu, 1821). Am. J. Trop. Med. Hyg. 24(1), 105-114.
- Cowan, D.F. and Walker, W.A. 1979. Disease factors in Stenella attenuata and Stenella longirostris taken in the eastern tropical Pacific tuna purse seine fishery. SWFC Admin. Rep. LJ-79-32C.
- Dailey, M.D. and Perrin, W.F. 1973. Helminth parasites of porpoises of the genus Stenella in the eastern tropical Pacific, with description of two new species: Mastigonema stenellae (Nematoda: spiruroidea) and Zalophotrema pacificum (Trematoda: Digenea). Fish. Bull. 71(2), 455-471.
- Dailey, M.D. and Walker, W. A. 1978. Parasitism as a factor (?) in single strandings of southern California cetaceans. J. Parasit. 64(4), 593-96.
- Delyamure, S.L. 1955. Helminthofauna of marine mammals. Academy of Sciences of the U.S.S.R. Laboratory of Helminthology Ed. K.I. Skrjabin. (Translated from Russian).
- Geraci, J.R. 1979. The role of parasites in marine mammals along the New England coast. In "Biology of Marine Mammals - insights through strandings" - Ed. J.B. Geraci and D.J. St. Aubin.
- Geraci, J.R., Dailey, M.D. and St. Aubin, D.J. (1979). Parasitic mastitis in the Atlantic white-sided dolphin, Lagenorhynchus acutus, with implications of its role in reproductive success. J. Fish. Res. Board Can. 35, 1350-55.
- Geraci, J.R., Testaverde, S.A., St. Aubin, D.J. and Loop, T.H. 1974. A mass stranding of the Atlantic white-sided dolphin, Lagenorhynchus acutus - a study into pathobiology and life history. Report to the Marine Mammal Commission, MMC-47.
- Grey, Z. 1927. Tales of Swordfish and Tuna. Harper and Brothers, N.Y.
- Henderson, J.R., Perrin, W.F. and Miller, R.B. 1980. Rates of gross annual production in dolphin populations (Stenella spp. and Delphinus delphis) in the eastern tropical Pacific 1973-78. SWFC Admin. Rep. No. LJ-80-02.
- Johnston, D.G. and Ridgeway, S.H. 1969. Parasitism in some marine

- mammals. J. Am. Vet. Med. Assn. 155(7), 1064-72.
- Kagei, N., Oshima, T. and Takemura, A. 1967. Survey of Anisakis spp. (Anisakinae, Nematoda) on marine mammals in the coast of Japan. Japanese Journal of Parasitology 16(6), 427-35.
- Leatherwood, J.S., Perrin, W.F., Garvie, R.L. and La Grange, J.C. 1971. Observations of sharks attacking porpoises (Stenella spp. and Delphinus c.f. D. delphis). San Diego, California Naval Underseas Center Technical Publication No. 908.
- Migaki, G., Valerio, M.G., Irvine, B. and Garner, F.M. 1971. Lobo's disease in an Atlantic bottlenosed dolphin. J. Am. Vet. Med. Assn. 159(5), 578-82.
- Morejohn, G.V. The natural history of Dall's porpoise in the north Pacific ocean. In "Behavior of marine mammals: current perspectives in research, 3: Cetaceans." edited by Winn, H.E. and Olla, B.L. Plenum Press, N.Y.
- Norris, K.S. and Prescott, J.H. 1961. Observations on Pacific cetaceans of Californian and Mexican waters. U.C. Pub. Zool., Berkeley 63, 292-402.
- Ohsumi, S. 1979. Interspecies relationships among some biological parameters in cetaceans and estimation of the natural mortality coefficient of the southern hemisphere minke whale. Rep. Int. whal. Commn 29, 397-406.
- Perrin, W.F., Coe, J.M. and Zweifel, J.R. 1976. Growth and reproduction of the spotted porpoise, Stenella attenuata, in the offshore eastern tropical Pacific. Fishery Bulletin 74(2), 229-269.
- Perrin, W.F. and Henderson, J.R. 1979. Growth and reproductive rates in two populations of spinner dolphins, Stenella longirostris, with different histories of exploitation. SWFC Admin. Rep. No. LJ-79-29.
- Perrin, W.F., Holts, D.B. and Miller, R.B. 1977. Growth and reproduction of the eastern spinner dolphin, a geographical form of Stenella longirostris in the eastern tropical Pacific. Fishery Bulletin 75(4), 725-750.
- Perrin, W.F., Miller, R.B., and Sloan, P.A. 1977. Reproductive parameters of the offshore spotted dolphin, a geographical form of Stenella attenuata in the eastern tropical Pacific, 1973-75. Fish.

- Bull. 75(3), 629-633.
- Perrin, W.F. and Powers, J.E. 1980. Role of a nematode in natural mortality of spotted dolphins. J. Wildl. Manage. 44(4), 960-963.
- Perryman, W.L. and Foster, T.C. 1980. Preliminary report on predation by small whales, mainly the false killer whale, Pseudorca crassidens, on dolphins (Stenella spp. and Delphinus delphis) in the eastern tropical Pacific. SWFC Admin. Rep. LJ-80-05.
- Pike, G.C. and MacAskie, I.B. 1969. Marine mammals of British Columbia. Fish. Res. Bd. Can. Bull. 171, 54 pp.
- Reysenbach de Haan, F.W. 1957. Hearing in whales. Acta Otolaryngologica, Suppl. 134, 114 pp.
- Ridgeway, H. and Dailey, M.D. 1972. Cerebral and cerebellar involvement of trematode parasites in dolphins and their possible role in stranding. Journal of Wildlife Diseases 8, 33-43.
- Ridgeway, S.H. and Johnston, D.G. 1965. Two interesting disease cases in wild cetaceans. Am. Journal Vet. Res. 26(112), 771-5.
- Slijper, E.J. 1962. Whales. Cornell Univ. Press. N.Y.
- Smith, T.D. (editor) 1979. Report of the status of porpoise stocks workshop. SWFC Admin. Rep. No. LJ-79-41.
- Stroud, R.K. and Roffe, T.J. 1979. Causes of death in marine mammals stranded along the Oregon coast. Journal of Wildlife Diseases 15, 91-97.
- SWFC. 1976. Report on the workshop of stock assessment of porpoises involved in the eastern Pacific yellowfin tuna fishery. SWFC. Administrative Report No. LJ-76-29.
- Tomilin, A.G. and Smyshlyayev, M.I. 1968. Some factors affecting whale mortality (Diseases of Cetaceans). Byulleten Moskovskogo Obshchestva Ispytateley Priorody. Otdel Biologicheskiy 3, 5-12.
- Wood, F.G., Caldwell, D.K. and Caldwell, M.C. 1970. Behavioral interaction between porpoises and sharks. In "Investigations on Cetacea" Ed. G. Pilleri II, 264-77.
- Wursig, B. and Wursig, M. 1980. Behavior of ecology of the dusky dolphin Lagenorhynchus obscurus in the south Atlantic. Fish. Bull. 77(4), 871-890.

ANEXO 3

ESTIMACION DE LA ABUNDANCIA DE LOS DELFINES EN EL PACIFICO ORIENTAL  
TROPICAL SEGUN EL MUESTREO DE LA DERROTA

Una comparacion de las tecnicas y propuestas  
de investigaciones futuras

Jeffrey L. Laake

Comision Interamericana del Atun Tropical  
La Jolla, California, EEUU

Analisis preparado para el Grupo  
de Trabajo Atún-Delfín

Managua, Nicaragua  
6 al 10 de Abril de 1981



### INTRODUCCION

Solo recientemente se le ha dado énfasis a la importancia que tiene la administración de especies múltiples en la literatura ecológica (May et al. 1979) y ha sido reconocida por las empresas que administran los recursos naturales. La administración del aleta amarilla (Thunnus albacares) y de varias especies de delfines que se asocian a esta especie en el Océano Pacífico oriental tropical (POT) es un perfecto ejemplo de la necesidad que existe de tener una administración de especies múltiples (Allen, 1981). La administración de las especies múltiples requiere un conocimiento básico sobre la dinámica de las poblaciones de cada especie y en qué forma esta dinámica es afectada por el ambiente físico, la acción reciproca de las especies y la pesca del hombre.

Sin embargo, para estudiar aún el aspecto más fundamental de la dinámica de las poblaciones, es necesario conocer la abundancia de la población [ya sea la densidad (cantidad por unidad zonal o el número de animales)]. Andrewartha (1961) recalcó ésto cuando declaró que ". . .cualquiera que sea el aspecto de la ecología que se está destacando, el primer trabajo esencial es conocer cuantos animales existen en la zona que se está estudiando. . ."

La abundancia de la población en algunos casos particulares puede obtenerse al contar cada individuo de la población, pero en la mayoría de los casos tenemos que confiar en una muestra para obtener una estimación. La muestra debe ser tanto sin sesgo (error sistemático) (representante de la población) y lo suficientemente grande como para proveer una estimación acertada y precisa de la abundancia real o absoluta. En algunos casos no es posible determinar si la muestra no tiene sesgo; sin embargo, si se supone que el sesgo es constante, se pueden emplear las estimaciones que representan la abundancia relativa para poder realizar comparaciones entre las zonas o los períodos. Los objetivos administrativos deben dictar si es necesario una abundancia relativa o absoluta. Ya sea un caso o el otro es importante identificar el origen del sesgo.

El muestreo puede lograrse mediante una variedad de métodos para permitir la estimación de la abundancia. De todos los métodos que se tienen, se ha probado que el muestreo de la derrota es el más útil para estimar la abundancia de las poblaciones de delfines en el POT. Smith

(1975) fue el primero en tratar de emplearlo, realizando un análisis de los datos obtenidos en 1974, de reconocimientos aéreos, barcos de investigación y barcos pesqueros. Más tarde, Holt y Powers (1979) realizaron un extenso análisis basado en su mayoría en reconocimientos aéreos y de los barcos de investigación efectuados en 1977 y 1979, y en cierto grado en reconocimientos de los barcos de pesca, y Hammond (1981), realizó estimaciones de los reconocimientos en 1977-1979 de barcos pesqueros. Cada uno de estos estudios ha demostrado que existen problemas en aplicar el muestreo de la derrota a las poblaciones de delfines. En este estudio, se examinan y comparan las diferentes técnicas utilizadas en el muestreo de la derrota y se propone el tipo de investigación que podría aplicarse a los problemas encontrados.

#### VERIFICACION DE LA TEORIA DEL MUESTREO DE LA DERROTA

Antes de examinar como se aplica el muestreo de la derrota a las poblaciones de delfines, se ofrece un breve análisis de los conceptos y de la teoría. Para un examen más completo del muestreo de la derrota se debe referir a Burnham, Anderson y Laake (1980).

El muestreo de la derrota es una técnica directa de muestreo (en contraste con los métodos de marca-recaptura o cambio en la proporción) en que los animales son observados y contados directamente en una muestra de la zona que habita la población. Las técnicas directas de muestreo se basan en los siguientes conceptos y suposiciones. Se supone que una población de animales habita la zona A\* y que el objetivo es estimar N\*, que es la cantidad de individuos en la población. De toda la zona A\* se escoge un área de muestreo, A (ej. d., una serie de diseños de franjas rectangulares, cuadrados o círculos). El número de animales en la zona de muestreo es N y éstos son observados y contados. Como el objetivo es estimar N\* o  $D^* = N^*/A^*$ , es necesario relacionar la muestra con la población. Si la muestra de la densidad,  $D = N/A$ , representa la población, entonces el valor esperado de D debe ser  $D^*$ ,

$$E(D) = D^*$$

lo que permite estimar el número de los animales en la población mediante

$$N^* = DA^*.$$

Esta relación es válida si se mantienen las siguientes suposiciones:

- (1) Suposición - la zona total ( $A^*$ ) se muestrea aleatoriamente o la población de animales ( $N^*$ ) se distribuye aleatoriamente en la zona.
- (2) Suposición - los animales no se mueven o el muestreo de la zona ocurre instantáneamente con respecto a cualquier movimiento.
- (3) Suposición - puede determinarse sin error el número de animales ( $N$ ) en la zona ( $A$ ) de muestreo.

Las dos primeras suposiciones confirman ambas que la probabilidad de que un animal se encuentre en la zona  $A$  de muestreo, es igual a  $A/A^*$ . En este sentido, la zona de muestreo es representativa.

La primera suposición afirma que la selección de la zona de muestreo representa la zona total en términos de la densidad de animales. Esto puede efectuarse al suponer que la población ha sido distribuida aleatoriamente, en este caso, la selección de la zona de muestreo es ajena al caso ya que el promedio de la densidad de la población es igual en todas las zonas, o suponiendo que la zona de muestreo se escoge aleatoriamente; en este caso la densidad en la zona de muestreo representa, en término medio, la densidad de la población. La mayoría de las poblaciones de animales no se distribuyen aleatoriamente en toda la zona habitada y por consiguiente, se apela comúnmente a la suposición del muestreo aleatorio. En la mayoría de los casos, es suficiente un muestreo sistemático, a no ser que la naturaleza sistemática de la muestra se encuentre correlacionada con una variable ambiental que afecta la densidad. En la mayoría de los reconocimientos planeados, el muestreo aleatorio puede lograrse y la (1) suposición no presenta ningún problema.

La segunda suposición asegura que el número de animales en la zona de muestreo permanece constante mientras se realiza el muestreo. Los animales, que se mueven aleatoriamente con respecto al observador que realiza el muestreo, tienen más probabilidad de ser contados en la zona de muestreo que si estuvieran inmóviles (Koopman 1980, Schweder 1976). Esto no debe ser crítico a no ser que la velocidad de los animales sea

muy superior a la rapidez con que se muestrea la zona. Si los animales no se mueven aleatoriamente dentro y fuera de la zona de muestreo en reacción al observador, sin el conocimiento de éste, entonces la densidad ya no representa toda la zona. Si este tipo de movimiento ocurre frecuentemente causaría un sesgo más grande que el del movimiento aleatorio.

La (3) suposición es necesaria para asegurar que la densidad en la zona de muestreo sea anotada correctamente. Esto requiere que los animales sean contados solo una vez y ninguno debe escaparse del muestreo. Se puede evitar contar más de una vez un animal si se puede reconocer el individuo o si en todo momento se conoce su posición. En la mayoría de las circunstancias, no es un gran problema. Sin embargo, contar todos los animales en la zona de muestreo puede ser más bien difícil. Anderson y Pospahala (1970) muestrearon nidos de patos por medio de bandas a cada lado de la derrota en las que un observador buscaba los nidos, hasta una distancia perpendicular de 8.25 pies. Encontraron que aun en una banda tan estrecha no se había visto una gran porción de los nidos. Por consiguiente, el número ( $n$ ) que se observa y cuenta puede probablemente ser una subestimación del número en la zona de muestreo ( $N$ ).

Este concepto es la base del muestreo de la derrota. En el muestreo de la derrota se reconoce que por varias razones no se verán todos los animales en la zona de muestreo. Si se cuentan solo una vez los animales, entonces el número ( $n$ ) de animales que se cuenta es el producto del número de animales en la zona ( $N$ ) y la probabilidad ( $P$ ) de ver un animal. Si se conoce la  $P$  o se puede estimar, entonces no es necesario asegurar que todos los animales se han visto en la zona de muestreo, porque se puede hacer una estimación de  $N$  como

$$N = n/P$$

y la estimación de la densidad de la muestra como

$$D = N/A = n/AP$$

La estimación de la  $P$  es el concepto central del muestreo en la línea de la derrota. En otras técnicas directas de muestreo, como el muestreo por bandas o cuadrados, se supone que la  $P$  sea 1. Los siguientes párrafos examinan los conceptos y las suposiciones que se necesitan para

la estimación de la P.

Igual que con las bandas del derrotero, el muestreo de la derrota lo realizan uno o más observadores que viajan a lo largo de una línea de longitud L y buscan animales fuera de ella hasta una distancia perpendicular W, a cada lado de la línea ( $A = 2LW$ ). No es necesario definir W ya que se puede considerar como un infinito en el análisis. Sin embargo, a diferencia de las bandas del derrotero, se anota la distancia perpendicular ( $x$ ) de la línea a cada animal observado (sin considerar a qué lado de la línea). Esto puede lograrse al medir la distancia perpendicular directamente o al calcularla según el ángulo visualizado y la distancia observada y medida (Figura 1). Estas distancias perpendiculares proveen la base para la estimación de P.

En el proceso de muestrear la zona, se verán algunos animales y otros no. Sería lógico que todos los animales que se encuentran muy cercanos a la línea ( $x = 0$ ) se vieran (con una probabilidad de 1) y que se tendría menos probabilidad de ver aquellos más alejados. Considerese una función  $g(x)$  que representa la probabilidad de ver un animal que se encuentra en el intervalo de una distancia perpendicular,  $x + dx$ , de la línea (Figura 2). Esto puede expresarse específicamente como

$\Pr(\text{se ve el animal} \mid \text{se encuentra en el intervalo } x + dx) = g(x).$   
Considere otra función  $h(x)$  como

$\Pr(\text{se encuentra un animal en el intervalo } x + dx) = h(x)dx.$   
El producto de estas dos funciones es

$\Pr(\text{se ve un animal en el intervalo } x + dx) = g(x)h(x)dx.$   
La suma de estas probabilidades en todos los intervalos de distancia es la probabilidad ( $P$ ) de ver un animal en la zona de muestreo. En el caso de datos continuos ésto puede representarse por la siguiente integral:

$$P = \int_0^W g(x)h(x)dx.$$

Esto provee una descripción funcional de la  $P$ , así que la próxima etapa es concebir la manera de estimarla según los datos.

Seber (1973) indicó que la función de la probabilidad de la densidad (fpd) o de igual manera la distribución de la muestra de las distancias perpendiculares,  $f(x)$ , se relaciona a la  $P$ . Indicó que

Pr (se ve un animal en  $x + dx$ ; se vió) =  $f(x)dx$ ,  
lo que es igual a

Pr (se ve un animal en  $x + dx$ )/Pr (se ve el animal).

Esto equivale a

$$f(x)dx = \frac{\int_0^W g(x) h(x) dx}{\int_0^W g(x) dx}$$
$$= \frac{g(x) h(x) dx}{P}$$

Esto provee una base conceptual para estimar la  $P$  según las distancias perpendiculares observadas.

El concepto dado anteriormente es algo más general que el ofrecido por Seber (1973). El supuso que  $h(x)$  era la distribución uniforme. Esto es verdad si se satisfacen las suposiciones (1) y (2) dadas anteriormente. Estas suposiciones se establecieron originalmente para asegurar que la densidad de la muestra era representativa; sin embargo, aseguran además que puede localizarse igualmente un animal a cualquier distancia perpendicular de la línea. Más específicamente, estas suposiciones aseguran que la probabilidad que un animal se encuentre en la zona es  $A/A^*$  y aseguran también que la probabilidad que un animal esté en  $x + dx$  en la zona de muestreo es  $2Ldx/2LW$  que es igual a  $dx/W$ . Con la suposición de que  $h(x)$  es uniforme, la función  $f(x)$  viene a ser

$$f(x) = \frac{\int_0^W g(x) \frac{1}{W} dx}{\int_0^W g(x) dx}$$
$$= \frac{g(x)}{\int_0^W g(x) dx}$$

o de igual manera

$$= f(x) = \frac{g(x)}{WP}$$

Burnham y Anderson (1976) indicaron que si la  
(4) Suposición - se ven todos los animales próximos a la linea,  
 $g(0) = 1$ ,  
entonces

$$f(0) = \frac{1}{WP}$$

y

$$D = \frac{n}{2LWP}$$

$$= \frac{nf(0)}{2L}$$

Esto indica que la P y luego la D pueden estimarse de  $f(0)$ , que es el valor en el origen ( $x = 0$ ) de fdp de las distancias perpendiculares.

Una estimación sin sesgo de la densidad es solo posible si se puede hacer una estimación sin sesgo de  $f(0)$ . Esto requiere ya sea que se conozca completamente  $f(x)$  o que pueda estimarse adecuadamente según los datos, al menos próxima a  $x = 0$ . Rara vez se podrá conocer completamente  $f(x)$ , a lo más los parámetros de una forma funcional conocida tendrían que estimarse según los datos. Por consiguiente, es necesario que

(5) Suposición - todas las medidas de la distancia deben estar sin error, en esta forma las distancias anotadas reflejan con precisión la distribución  $f(x)$ . Se puede reducir la importancia de la aplicación de esta suposición si se pueden anotar las distancias correctamente a intervalos separados. Puede entonces realizarse un análisis sobre los datos agrupados, en lugar de sobre las medidas individuales.

Un estimativo de la varianza del muestreo de la densidad, conforme es dado por Burnham et al. (1980) es

$$\text{Var}(D) = D^2(CV^2(n) + CV^2(f(0)))$$

donde

$$CV^2(n) = \text{Var}(n) / n^2$$

y

$$CV^2(f(0)) = \text{Var}(f(0)) / (f(0))^2$$

Esto suministrará una estimación válida de la varianza si

(6) Suposición - las observaciones son sucesos independientes.

Una situación que evidentemente viola la (6) suposición es cuando se reunen los animales en cardúmenes o grupos. Este problema ha sido examinado por varios autores (Hayes 1977, Burnham *et al.* 1980, Quinn 1980). En este caso se emplean los grupos como los objetos que se han visto independientemente. El número de observaciones ( $n$ ) es el número de los grupos vistos y se anota la distancia perpendicular hasta el centro del grupo. Estas distancias se emplean para estimar  $f(0)$  y para construir una estimación de la densidad de los grupos ( $D_c$ ). Se calcula el promedio de la magnitud de un grupo ( $\bar{C}$ ) y la densidad de los animales es sencillamente,

$$D = d_c \bar{C}$$

$$= nf(0) \frac{\bar{C}}{2L}$$

La estimación de  $D$  no tiene sesgo si las suposiciones anteriores se satisfacen para  $D_c$  y si  $\bar{C}$  es una estimación sin sesgo del verdadero promedio de la magnitud del grupo. Para que ésto último sea verdad se necesitan las siguientes suposiciones,

(7) Suposición - se mide sin error la magnitud del grupo,

(8) Suposición - la magnitud del grupo no afecta la probabilidad de ser descubierto.

Puede realizarse una estimación de la varianza del muestreo de  $D$  mediante

$$\text{Var}(D) = D^2(CV^2 D_c) + CV^2(\bar{C})$$

suponiendo que  $D_c$  y  $\bar{C}$  son estadísticas independientes y que se ignore el producto de las varianzas (Seber 1973).

COMPARACION DE LAS TECNICAS PARA APLICARLAS EN EL MUESTREO DE LA DERROTA  
PARA ESTIMAR LA ABUNDANCIA DE LOS DELFINES EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL

La aplicación de la teoría del muestreo de la derrota requiere una población y zona, una técnica de reconocimiento para aplicar el muestreo y un método para analizar los datos. La confiabilidad de la teoría al aplicarla a un caso particular, es el resultado de la precisión del estimativo y que tan bien se satisfacen las suposiciones. Este marco general se empleará para describir y comparar las varias formas en que se ha aplicado el muestreo de la derrota para estimar la abundancia de los delfines en el Pacífico oriental tropical (POT).

Población y descripción de la zona

En el POT existe una amplia variedad de especies de delfines, sin embargo, solo cuatro especies se encuentran implicadas substancialmente en la pesca de los atunes. Estas son el delfín manchado (Stenella attenuata), el delfín churumbel o de tornillo (Stenella longirostris), el delfín común (Delphinus delphis) y el delfín listado (Stenella coeruleoalba). Se han reconocido varias unidades importantes de cada especie y se necesitan las estimaciones de la población de cada una de éstas.

Los delfines viajan en cardúmenes que varían de uno o más individuos hasta posiblemente varios miles. Así que debe estimarse tanto la densidad de los cardúmenes como el promedio de su magnitud. Las zonas habitadas por las diferentes especies se traslanan, teniendo que identificar las especies basados en las características físicas. Para complicar aún más ésto, los cardúmenes pueden estar compuestos por más de una especie. Esto sucede con más frecuencia con S. longirostris y S. attenuata.

La zona A\* habitada por estas poblaciones no se ha definido claramente. Se definió la zona empleada por Holt y Powers (1981) basados en las observaciones de los límites de las especies principales, obtenidas a bordo de los barcos atuneros de pesca y de investigación. Esta zona se ilustra en la Figura 3. Au et al. (1979) examinaron varias características oceanográficas que se correlacionan con la distribución de las especies, indicando que la zona en la Figura 3 puede representar

la mayor parte de la distribución. Sin embargo, si la zona en la Figura 3 es solo una parte de toda la zona que habita la población, cualquier estimación de la cantidad puede tener un sesgo negativo. Hasta que punto afectaría esto las decisiones administrativas, dependería de la proporción que se está muestreando y del grado de mezcla que existe entre los sectores de las poblaciones. En teoría, una zona mucho más extensa que la zona habitada posiblemente por las poblaciones, podría considerarse como A\* y podría muestrearse, obteniendo una estimación sin sesgo. Sin embargo, la extensión de la zona actual hace difícil obtener una muestra aceptable. La zona presentada en la Figura 3 tiene aproximadamente 5.6 millones de millas náuticas, siendo un poco más extensa que el continente sudamericano o más del doble que los Estados Unidos.

#### Las técnicas de reconocimiento

Existen varias formas de realizar el muestreo de la derrota debido a su naturaleza general. Cualquier forma en que se efectúe es conveniente si no viola las suposiciones. Se han empleado tres diferentes técnicas de reconocimiento en el muestreo de los delfines en la derrota y éstas son el resultado directo de tres plataformas usadas en las observaciones: (1) aeronaves, (2) barcos de investigación y (3) barcos pesqueros de atún. Las características de cada una de estas tres plataformas y la manera que se han empleado para el reconocimiento de la zona, afectan de gran manera su utilización en el muestreo de la derrota. Se describen en esta sección las técnicas de reconocimiento y se comparan de acuerdo a su aptitud en proveer una estimación sin sesgo y precisa.

El National Marine Fisheries Service (NMFS) de los EEUU realizó en 1974, 1977 y 1979, tres reconocimientos aéreos de delfines. Barham (1977) y Jackson (1979), describen la metodología usada en estos reconocimientos. La técnica general es realizar el reconocimiento a lo largo de una trayectoria en una aeronave conveniente para buscar debajo y a los lados. Cuando se hace una observación, se anota la distancia perpendicular hasta el cardumen. Luego se da vueltas alrededor del cardumen a poca altura para identificar las especies y estimar la magnitud del mismo. Las trayectorias se escogen como una muestra sistemática o

representativa de la zona cercana a la costa y se establecen para poder realizar vuelos convenientes desde varios aeropuertos. Los aviones usados en los últimos reconocimientos han sido Grumman Goose P2V y PBY. Tienen las alas situadas en la parte superior, lo que permite una buena visibilidad hacia abajo. El PSV y el PBY tienen también en la parte delantera del avión una cúpula de cristal permitiendo que los observadores vean directamente debajo del avión. Los aviones volaron a velocidades de 100 a 200 nudos y aproximadamente a una altitud de 900 a 1000 pies. Las distancias perpendiculares fueron estimadas ya sea visualmente o calculadas con un Sistema Global de Navegación (SGN) a la milla náutica más cercana. Se estimó generalmente la distancia de los cardúmenes cercanos a la derrota (Holt y Powers 1981). Por lo general el vuelo se realizó unas 600 millas náuticas mar afuera sobre la derrota, se llegó algunas veces hasta 1000 millas fuera de la costa (Figura 3).

El NMFS ha usado también varias veces los barcos de investigación (David Starr Jordan y Townsend Cromwell) para el muestreo de delfines en la derrota. Se han usado principalmente para abarcar la zona de altura que era inaccesible a los aviones y para determinar los límites de la distribución de los delfines. Además, en 1979, tanto los barcos de investigación como un avión hicieron el reconocimiento en una zona de bajura para comparar las estimaciones entre las dos plataformas.

Au (1977) da una descripción de los procedimientos usados en uno de los cruceros de investigación. En resumen, el barco se utiliza para buscar unas 12 horas diarias, siguiendo una trayectoria predeterminada a una velocidad de unos 10 nudos. Los observadores realizan la búsqueda usando tanto binóculos de alta potencia, binóculos manuales o solamente sus ojos. Cuando se observan delfines se estima la distancia y el ángulo de visualización (Figura 1). Se intenta luego aproximarse al cardumen para identificar las especies y estimar la magnitud del cardumen. El barco luego vuelve a su curso anterior y continua buscando después de terminar cada observación.

Los reconocimientos de los barcos atuneros de pesca, son el resultado del programa de los "observadores" en el que un técnico a bordo de un barco anota la información acerca de las observaciones realizadas mientras el barco está pescando. Se han obtenido en esta forma datos

abundantes desde 1974, hasta el presente. La localidad de la ruta de búsqueda se determina basados en la mejor pesca que se pueda encontrar. La búsqueda por lo general la realizan exclusivamente los pescadores que usan binóculos de alta potencia, el técnico también puede ayudar en la búsqueda empleando binóculos manuales o su vista. En algunos barcos se emplea también un helicóptero para buscar. Cuando se observa un cardumen de delfines o una manada de pájaros volando encima de los delfines, se estima la distancia y el ángulo de visualización. Si parece promisorio para capturar atunes, se vira el barco hacia el cardumen. Si no, el barco continúa la búsqueda. Ya sea en uno u otro caso, el técnico trata de identificar las especies y de hacer una estimación de la magnitud del cardumen. Si el barco intenta realizar un lance en el cardumen de delfines para capturar atunes, el técnico puede obtener más fácilmente la información necesaria.

En general, cada una de las técnicas anteriores de reconocimiento, satisfacen las condiciones de muestreo de la derrota; sin embargo, cada técnico tiene también la posibilidad de violar una o más de las suposiciones.

Problemas que se presentan con la suposición de la muestra representativa de la densidad

La muestra de la densidad representa toda la zona, si la probabilidad de que un animal se encuentre en la zona de muestreo es igual a  $A/A^*$ . Esto puede confirmarse al seleccionar apropiadamente la zona de muestreo y una población de animales relativamente estacionaria, que no se desplaza dentro y fuera de la zona de muestreo. En el muestreo de la derrota, la amplitud de la zona A de muestreo puede extenderse efectivamente hasta el horizonte, de tal manera, que el desplazamiento dentro y fuera de la zona es insignificante. El desplazamiento solo afecta realmente la distribución (e.d.,  $h(x)$ ) en la zona de muestreo. Por consiguiente, el desplazamiento de los animales se discutirá más tarde con los problemas de cómo estimar correctamente la densidad de la muestra. Esta es una pequeña diferenciación y se ha escogido esta clasificación de las suposiciones principalmente por conveniencia. En esta sección se examinará solamente la forma de seleccionar la muestra.

Como existen diferencias evidentes en la productividad y en las características oceanográficas de varias de las zonas del Pacífico oriental tropical, que pueden afectar la distribución de los delfines (Au et al. 1979), no puede suponerse que la densidad de las varias especies de delfines sea uniforme en toda la zona. Así que es necesario buscar aleatoriamente en toda la zona para determinar que la muestra de la densidad sea representativa.

Un reconocimiento aéreo con base en el litoral, tendrá problemas al querer suministrar una muestra aleatoria de toda la zona a no ser que pueda usarse una aeronave con un gran radio de acción. En la Figura 3 se indica que la mayoría de la zona de altura no fue muestreada por aviones en el reconocimiento del NMFS de 1979. La zona de bajura puede ser muestreada aleatoriamente por aviones si se planea apropiadamente. Sin embargo, sería inapropiado usar esa estimación en toda la zona a causa de las diferencias que puedan existir en la densidad entre las zonas de altura y de bajura.

El NMFS reconoce este problema y emplea barcos de investigación para inspeccionar la zona que no pueden abarcar los aviones. Los barcos de investigación pueden inspeccionar toda la zona y pueden seguir una trayectoria predeterminada que puede escogerse aleatoria o sistemáticamente.

Los barcos pesqueros pueden también inspeccionar toda la zona; sin embargo, no siguen una línea predeterminada que se selecciona aleatoriamente. A los pescadores les gustaría evidentemente encontrar las zonas en las que hay más abundancia de atunes para obtener un rendimiento máximo. Viendo que el aleta amarilla se asocia con los delfines, es probable que los pescadores busquen zonas con mayor abundancia de delfines que están, por lo general, asociados con los atunes. En otras ocasiones puede que busquen atunes que no estén asociados con delfines, que puede ser en zonas con una densidad relativamente baja de delfines. Si tienen éxito en buscar zonas ya sea con una densidad elevada o baja de delfines, entonces no se ha de satisfacer la (1) suposición y la estimación de la densidad será sesgada. El sesgo no durará a no ser que la pauta de búsqueda sea constante.

Hammond (1981) ha examinado el problema de los barcos pesqueros en la búsqueda no aleatoria de los delfines. Estratificó el Pacífico

oriental tropical en cuadrados de  $5^{\circ}$  e hizo la regresión del número de observaciones de una especie determinada en un estrato particular como función del esfuerzo de búsqueda. Luego ensayó si la relación indicaba una pauta de búsqueda no aleatoria. Debido probablemente a la falta de potencia, las pruebas en su mayoría no pudieron rechazar significativamente la hipótesis nula de la búsqueda aleatoria. Sin embargo, la tendencia parecía indicar que se gastaba más esfuerzo en zonas aparentemente de poca densidad de delfines y ésto fue más evidente en años en los que la pesca se concentraba principalmente en "cardúmenes de peces". Hammond (1981) identificó zonas en donde la pesca era especialmente de "cardúmenes de peces" y otras donde la pesca era principalmente de atunes asociados con delfines. Luego examinó la búsqueda no aleatoria en las zonas donde la pesca era de atunes asociados con delfines. De nuevo la mayoría de sus experimentos no podían rechazar significativamente la hipótesis de la búsqueda aleatoria; sin embargo, en estas zonas la tendencia indicaba que la búsqueda debía concentrarse más en las zonas de densidad elevada de delfines. Otra estratificación en cuadrados de  $1^{\circ}$ , en un año y zona seleccionada para llevar al máximo la magnitud de la muestra, indicó nuevamente que la búsqueda aleatoria no podía ser rechazada como una hipótesis nula.

Sin embargo, estos resultados fueron solamente de un análisis preliminar y no se intentaban como una solución definitiva del problema. Si pudiera mostrarse que los barcos de pesca son capaces de realizar la búsqueda no aleatoria, entonces sería necesario algún patrón de estratificación para analizar los datos. Sin embargo, no debe pasar desapercibido que los pescadores como un todo pueden de manera eficaz realizar la búsqueda aleatoriamente. Definitivamente, es necesario investigar aún más este campo.

#### Problemas de la estimación sin sesgo de la densidad de la muestra

Se puede obtener una estimación sin sesgo de la densidad de los cardúmenes si: (1) no se cuentan los cardúmenes más de una vez, (2)  $g(0) = 1$ , (3)  $h(x)$  es la distribución uniforme, (4) se miden sin error las distancias y (5)  $f(x)$  puede modelarse adecuadamente.

Si los cardúmenes se cuentan más de una vez en la misma derrota, resultaría entonces un sesgo en la densidad. Este es solamente un problema en los reconocimientos en los que un animal o grupo de animales es observado y viajan más lejos en la línea y se ven de nuevo, sin ser reconocidos por el observador. Este problema no se presenta en los barcos de investigación o los reconocimientos aéreos. Puede ser un problema potencial en los reconocimientos de los barcos pesqueros, ya que el barco se demora durante un lance y cuando continúa después navegando, puede que el observador vea el cardumen en que el barco acaba de calar la red. Este sería solo un problema práctico si el barco sigue intencionalmente el mismo cardumen; sin embargo, esto puede ser observado por el técnico y eliminarse de los datos.

El problema principal en las técnicas de reconocimiento es el de satisfacer las suposiciones sobre  $g(x)$  y  $h(x)$ . Como se indicó anteriormente, la estimación de la densidad de los cardúmenes se basa en una estimación de  $P$ , la probabilidad común de ver un cardumen. La cantidad de la  $P$  puede estimarse de  $f(0)$ , si  $g(0) = 1$  y  $h(x)$  es uniforme.

Si este no es el caso, entonces

$$f(0) = \frac{g(0) h(0)}{\int_0^W g(x) h(x) dx}$$
$$= \frac{g(0) h(0)}{P}$$

para cualquier valor que venga al caso de  $g(0)$  y  $h(0)$ . Esto ilustra que el movimiento de los animales cerca a la linea y los animales que no se ven cerca a ésta son los más críticos ya que afectan  $g(0)$  y  $h(0)$ . Vale la pena destacar también que los datos observados son el resultado de la distribución  $f(x)$  que es el producto de dos distribuciones  $g(x)$  y  $h(x)$ . A no ser que se conozca  $g(x)$  o  $h(x)$ , no se pueden hacer deducciones acerca de la una o de la otra basándose en los datos observados. Especialmente si no se conoce  $g(x)$  no se pueden usar entonces los datos observados para deducir la cantidad de movimiento que está ocurriendo.

Se supone que la distribución  $h(x)$  sea uniforme basados en la colocación aleatoria de la linea y en una población animal estacionaria. La búsqueda posible no aleatoria de los barcos pesqueros puede crear una

gran probabilidad artificial de incluir un cardumen en la zona de muestreo (es decir, superior a  $A/A^*$ ), pero debe ser igualmente probable que se localice un cardumen en la zona de muestreo a cualquier distancia perpendicular con respecto a la derrota. Esto solo podría suponerse si hubiera algún gradiente de densidad con respecto a la distancia particular, como una derrota a lo largo de una corriente, la cima de un arrecife o la orilla de la playa o una inclinación oceanográfica equivalente.

El movimiento de los animales afectará la suposición acerca de  $h(x)$ , a no ser que el movimiento sea imperceptible con relación a la rapidez con que se muestrea la zona. La función  $h(x)$  será uniforme en cualquier tiempo para cardúmenes que se muevan aleatoriamente con relación al observador porque los cardúmenes no cambian su distancia perpendicular en reacción al observador. Sin embargo, como hay más probabilidad de ver los cardúmenes próximos a la derrota y debido a que se busca en una zona durante algún tiempo, hay más probabilidad de ver un cardumen cuando se encuentra más cercano a la línea, en el tiempo en que se está buscando en la zona. Así que la  $h(x)$  "observada" no es uniforme y se estimará en exceso la densidad porque  $h(0)$  será superior a  $1/W$ . Con referencia a los cardúmenes que no se desplazan aleatoriamente en reacción al observador, el cambio en  $h(x)$  es más evidente. En este caso, el cardumen cambia intencionalmente su distancia perpendicular en reacción al observador antes de que éste haya tenido la oportunidad de verlo. Si el movimiento es para evitar la plataforma de observación, la densidad tendrá un sesgo negativo y lo contrario será verdad para el movimiento de atracción.

En un reconocimiento aéreo el desplazamiento no debe ser un problema. El avión se mueve a una velocidad por lo menos de 100 nudos que es bastante rápida con relación a la velocidad a la que los delfines son capaces de viajar. Leatherwood y Ljungblad (1979) anotaron velocidades máximas de unos 12 nudos de un *S. attenuata* siendo el promedio entre 2 y 10 nudos. El movimiento aleatorio debe ser imperceptible y el movimiento en reacción al avión no debe ser un problema ya que los delfines probablemente no han de reaccionar hasta que el avión esté directamente encima de ellos.

El desplazamiento de los animales, en general, llega a ser una mayor preocupación cuando se trata de los reconocimientos ya sea de los barcos de pesca o de investigación, debido a que la velocidad del barco es comúnmente solo de unos 12 nudos. Puede que el movimiento aleatorio no sea aún un problema práctico. Best y Butterworth (1980) usando un modelo sencillo, indicaron que con una velocidad del barco de 12 nudos y la velocidad supuesta de un rorcual menor (Balaenoptera acutorostrata) de 5 nudos el sesgo era insignificante (4%). Es mucho más alarmante el movimiento en reacción al barco, ya que las especies de delfines que han sido capturadas en el Pacífico oriental tropical huyen comúnmente del barco. El NMFS condujo un experimento con un helicóptero en un barco de investigación y encontró que los cardúmenes reaccionaban al aproximarse el barco, alejándose de la derrota antes de ser observados (Au y Perryman, en prensa). No se obtuvieron demasiados datos de este crucero y se necesitan muchos más antes de hacer conclusiones definitivas acerca del sesgo incluido. Sin embargo, en cualquier caso el sesgo será probablemente inferior en los reconocimientos de los barcos pesqueros debido a que los cardúmenes se ven más pronto a mayores distancias del barco que en los reconocimientos de los barcos de investigación.

La suposición de que todos los cardúmenes cerca a la línea se ven,  $g(0) = 1$ , es la suposición básica del muestreo en la derrota. El muestreo en la derrota permite que no se vean los animales alejados de la línea debido a la visibilidad, falta de identificación, falta de datos o cualquiera otra razón; a diferencia de otras técnicas directas de muestreo, como el de las bandas o de los cuadrados, que suponen que  $P$  es la unidad. Sin embargo, todos los animales (cardúmenes) próximos a la línea deben verse y anotarse apropiadamente para que la estimación no sea sesgada.

Una pregunta principal en el uso de los reconocimientos aéreos es si se puede satisfacer esta suposición. El avión puede estar equipado con una cúpula de cristal que permite ver directamente debajo de la aeronave, pero existen condiciones en que tal vez no sea posible ver los cardúmenes. Los cardúmenes de delfines se ven desde el avión ya sea porque los animales se ven en la superficie o cerca a ésta, o porque los animales están chapoteando sobre el agua, o porque el cardumen en la superficie forma turbulencia en las aguas calmadas. Es muy difícil ver

los animales cuando hay poca penetración de luz en el agua debido a que el sol relumbra en el agua o porque el firmamento está cubierto. Además si el viento es bastante fuerte las crestas blancas hacen que sea más difícil distinguir el chapoteo de los delfines. Por consiguiente, es posible que no se vean los cardúmenes aún si están cerca a la superficie. Otro problema es que todo el cardumen puede estar sumergido y fuera de la vista. Sin embargo, no es probable que esto suceda con excepción de pequeños cardúmenes que se alimentan por debajo de la superficie. Además, aun si se ve el cardumen en la derrota, si no pueden identificarse las especies, no sirve entonces para estimar la densidad de las especies individuales. El NMFS ha evitado en cierto grado estos problemas al ignorar los cardúmenes pequeños (menos de 15 delfines) (Holt y Powers 1979). Se ha supuesto que todos los grandes cardúmenes en la vecindad de la derrota (1) pueden verse en toda clase de condiciones, (2) no se encuentran totalmente sumergidos y (3) pueden siempre identificarse. Se ha también supuesto que al ignorar los cardúmenes pequeños no se creará un gran sesgo debido a que no hay muchos cardúmenes pequeños de las especies de interés. Esto es una suposición menos restrictiva pero sigue siendo una hipótesis que debe examinarse.

Suponiendo que  $g(0) = 1$  no debe representar verdaderamente un problema en los reconocimientos de los barcos. Como el barco se encuentra actualmente en la superficie del océano, la única manera de no ver un cardumen es si este se encuentra totalmente sumergido durante el tiempo en que las personas a bordo tienen la oportunidad de verlo o si las condiciones meteorológicas son tan extremas que no pueden verse los cardúmenes a un décimo de milla náutica a cada lado del barco. Probablemente no ocurrirá ninguna de estas condiciones durante un reconocimiento normal o en las maniobras de pesca. El problema en el reconocimiento de los barcos es la evasión de los animales. No es muy probable que un cardumen de delfines, que comúnmente se captura en la pesca, permita que un barco pase cerca a él. Así, que si las condiciones de visualización son tales que el cardumen no pueda verse a distancias a las cuales reacciona a la aproximación del barco, entonces los cardúmenes cercanos a la derrota pueden evitar con éxito ser vistos. Aún si se han visto antes de que se hayan desplazado, puede que no sea

possible aproximarse a los cardúmenes con un barco de investigación para poder identificar las especies y estimar la magnitud de los mismos. Existe otro problema diferente en los reconocimientos de los barcos de pesca, debido a que los pescadores hacen las observaciones. Si los pescadores ven un cardumen a distancias a las que no puede verlo el técnico, entonces es posible que los pescadores no informen ésto al técnico o pueden informarlo pero puede que el técnico no obtenga la identificación de la especie, o la magnitud del cardumen o la distancia perpendicular. A no ser que se trate de realizar un lance, puede que el técnico nunca vea estos cardúmenes aunque estén cerca de la derrota, si evitan con éxito la aproximación del barco. Por consiguiente, el problema de los reconocimientos de los barcos es la evasión de los animales, que es peor en malas condiciones de visualización porque los animales no tienen que moverse demasiado lejos para evitar ser descubiertos, y ésto impide el trabajo de identificar los cardúmenes y estimar la magnitud de los mismos.

La última suposición necesaria para estimar sin sesgo la densidad de los cardúmenes es que se midan sin error las distancias perpendiculares. Las estimaciones de  $P$  y  $f(0)$  se conciben según la muestra de las distancias perpendiculares de los cardúmenes observados. Se supone que estas distancias representan la información sobre la probabilidad de ver un cardumen. Si se anotan incorrectamente estas distancias, entonces reflejan también el error en los cálculos. De nuevo, son las observaciones cercanas a la derrota las que son importantes debido a que  $F(0)$  es afectada principalmente por estas distancias. El error aleatorio no es importante si es relativamente pequeño. El sesgo en las medidas es siempre importante y puede ser la causa de que se obtengan resultados sin valor si el error es severo.

En los reconocimientos aéreos se ha dominado en cierta forma el problema de los cálculos. Al concluir que los instrumentos tienen solo una precisión de 0.1 milla náutica, se decidió agrupar las distancias a intervalos (Holt y Powers 1979). Como el sistema global de navegación (SGN) calcula las distancias perpendiculares en décimos de millas náuticas, los intervalos en las millas náuticas se concibieron como 0-0.05, 0.05-0.15, 0.15-0.25, etc. Estos son bastante razonables para el SGN, ya que el error debe ser simétrico y aleatorio (es decir., 0.05 a

cada lado de la medida). Una cuestión que no ha recibido ninguna atención, es si las distancias estimadas se clasifican correctamente en los intervalos de las distancias. Esto es importante, ya que se estiman la mayoría de las distancias próximas a la derrota. Si las estimaciones visuales no han sido bien clasificadas resultarán sesgos. Por ejemplo, en el caso de las estimaciones visuales, si las distancias entre 0.0 y 0.075, y entre 0.075 y 0.15 se estiman como 0.0 y 0.1, respectivamente, entonces el resultado tendrá un sesgo por exceso si se clasifica como si representaran los intervalos 0.0-0.05 y 0.05-0.15.

El error de los cálculos es más crítico en los reconocimientos de los barcos porque depende de dos cantidades, tanto de la distancia como del ángulo de visualización. Es difícil estimar la distancia en el mar por la falta de referencia, excepto por el horizonte. El ángulo de visualización puede también ser difícil de estimar debido a la desviación del barco causada por las olas. Estas distancias y ángulos se estiman para cardúmenes que con frecuencia se ven inicialmente a varias millas del barco y pueden producirse relativamente grandes errores. De nuevo, las medidas de las distancias próximas a la línea son las más cruciales. Estas distancias aparecen cuando el ángulo de visualización o la distancia son relativamente pequeñas. Los errores de las observaciones a poca distancia no son tan importantes ya que los cardúmenes se ven comúnmente a una gran distancia del barco y la distancia estimada de aquellos cardúmenes que se ven cerca al barco debe ser bastante precisa. La estimación de pequeños ángulos a distancias de visualización de varias millas es muy difícil y puede originar un sesgo extremo. Esto fue evidente en el reconocimiento del barco de investigación en 1979 (Holt y Powers 1979) y en el reconocimiento de los barcos pesqueros (Hammond 1981). Parece que en ambos de estos casos hubo una tendencia de redondear los ángulos a cero, aún en el caso de ángulos tan grandes como de 5°. Por ejemplo, si se hace una observación a los 5° de tres millas náuticas, entonces la distancia perpendicular será de .26 millas náuticas y ésta se redondearía a cero si el ángulo se redondeó a cero. El error aumenta a medida que aumenta la distancia de la observación. Esta cantidad de sesgo y esta cantidad de error en los cálculos, hace que las medidas individuales de las distancias perpendiculares sean inservibles. Se necesita algún método para clasificar a

intervalos las distancias perpendiculares, a no ser que se puedan medir con más precisión la distancia y el ángulo.

El resto de las suposiciones necesarias para obtener una estimación sin sesgo de la densidad son aquellas que aseguran una estimación sin sesgo de la magnitud promedio del cardumen. La primera de éstas es que se calcule sin error la magnitud del cardumen. La estimación de la magnitud del cardumen de delfines puede ser una tarea difícil, especialmente en grandes cardúmenes. La magnitud promedio de los cardúmenes obtenida según estas tres técnicas de reconocimiento no han sido muy similares. Esto parece indicar ya sea que se han hecho errores en los cálculos o que se han anotado muestras sesgadas de la magnitud de los cardúmenes durante uno o más de los reconocimientos.

Se han realizado varios estudios para determinar si se está estimando correctamente la magnitud de los cardúmenes. En los reconocimientos aéreos, se han comparado las fotografías con las estimaciones visuales realizadas durante el reconocimiento (Holt y Powers 1979). Estos estudios han indicado que la magnitud del cardumen puede estimarse acertadamente con una considerable cantidad de variación, por lo menos durante las condiciones en las que es posible tomar las fotografías. Se realizó un estudio similar desde un barco de pesca atunero (Allen *et al.* 1980). En este estudio se realizaron estimaciones visuales desde el barco y desde un helicóptero y se compararon estas estimaciones con las cantidades registradas en las fotografías aéreas, y con las calculadas de los delfines capturados en la red durante la faena de retroceso. Los resultados de este estudio indican, además, que la magnitud del cardumen puede estimarse acertadamente desde un barco. Así, que todos los estudios parecen indicar que los cálculos de la magnitud de un cardumen pueden incluir errores aleatorios, pero que el promedio de la magnitud del cardumen no debe tener sesgo. Subsiste el problema de que existen grandes diferencias entre las fuentes de datos sobre la magnitud de los cardúmenes. Hammond (1981) ha indicado que las estimaciones de los pescadores de la magnitud de los cardúmenes de los delfines S. longirostris y S. attenuata han permanecido relativamente constantes en los últimos años, mientras que las estimaciones de los técnicos han sido mucho menores y se han reducido en los últimos años. Estas son estimaciones esencialmente de los mismos cardúmenes.

Para explicar las diferencias entre los reconocimientos, es posible que el promedio sencillo de la magnitud de un cardumen sea una estimación sesgada de la verdadera magnitud del cardumen en una zona de muestreo. Esto sucedería al violar la suposición de que la probabilidad de descubrimiento no es afectada por la magnitud del cardumen. El descubrimiento se emplea en una forma amplia para incluir la visualización, identificación y estimación de la magnitud del cardumen. Por consiguiente, si debido a la magnitud, es físicamente más fácil ver un cardumen, o existe más probabilidad de identificarlo o de estimar su magnitud, entonces resultará un sesgo.

En los reconocimientos aéreos, existe la tendencia de ver grandes cardúmenes en la derrota a mayores distancias, debido a las "señales" formadas en las aguas tranquilas. Además, cuantos más animales haya en un cardumen, se forman más señales al saltar y chapotear los delfines. Cada uno de estos factores aumenta la probabilidad de que se vean los grandes cardúmenes y que las estimaciones de los cardúmenes de magnitud corriente tengan un sesgo positivo. Puede existir también la propensión de investigar grandes cardúmenes más frecuentemente, por lo tanto tendrían más probabilidad de ser identificados y de obtener una estimación de la magnitud del cardumen. Esto resultaría también en un sesgo positivo.

Existen estos mismos problemas con los reconocimientos de los barcos. Los cardúmenes más grandes proveen más indicios y probablemente tendrán una mayor probabilidad de ser descubiertos. Sin embargo, puede que esto sea menos importante, ya que Hammond (1981), indica que muchas de las observaciones se realizan debido a que se ven aves y puede que la cantidad de pájaros que se asocia con un cardumen no esté positivamente correlacionada con la magnitud del mismo. Además, en los reconocimientos de los barcos de pesca, hay más probabilidad de que el técnico tenga éxito en obtener la información de los cardúmenes sobre los que se cala la red; si hay más posibilidad de que se hagan lances en grandes cardúmenes, entonces resultará un sesgo.

Estas indudablemente son solo unas pocas razones por las que la probabilidad de "descubrir" un cardumen sea una función de la magnitud del cardumen. Valdría la pena examinar algo más las razones. Afortunadamente, existen algunos métodos para resolver el problema, los que se

examinaran más tarde bajo los métodos de análisis.

El estudio anterior indica que existen problemas en satisfacer una o más de las suposiciones con cada técnica de reconocimiento. Un reconocimiento planeado tal como con un avión o barco de investigación debe evidentemente tener menos problemas en satisfacer las suposiciones que uno no planeado o controlado, como son los reconocimientos en los barcos de pesca. Sin embargo, la seguridad de una estimación sin sesgo es solo un aspecto del procedimiento de la estimación. La precisión es un aspecto igualmente importante de las estimaciones. Una estimación sesgada puede ser útil. Si el sesgo es casi igual al error normal de la estimación, entonces no se reducirá drásticamente el abarcamiento del intervalo de confianza. Además, si el sesgo permanece constante, una estimación sesgada pero muy precisa puede suministrar más información (para realizar comparaciones relativas) que una estimación sin sesgo pero muy variable. Por consiguiente, se necesita considerar además la precisión que puede proveer una técnica particular dentro de las restricciones del costo.

#### Precisión de la estimación

En cualquier población y zona determinada, la precisión de la estimación es una función del esfuerzo de muestreo ( $L$ ) y del número resultante de observaciones ( $n$ ). Para ilustrar ésto, la varianza de la densidad de los delfines puede escribirse en la siguiente forma:

$$\text{Var}(D) = D^2 \left[ \frac{\text{Var}(n)}{n^2} + \frac{\text{Var}(f(0))}{(f(0))^2} + \frac{\text{Var}(\bar{C})}{\bar{C}^2} \right]$$

que puede expresarse como

$$\begin{aligned} \text{Var}(D) &= D^2 \left[ \frac{an}{n^2} + \frac{\sigma_f^2}{n(f(0))^2} + \frac{\sigma_c^2}{n\bar{C}^2} \right] \\ &= \frac{D^2 b}{n} \end{aligned}$$

donde

$$b = a + \frac{\sigma_f^2}{(f(0))^2} + \frac{\sigma_c^2}{\bar{C}^2}$$

y donde  $a_n$ ,  $\sigma_f^2/n$  y  $\sigma_c^2/n$  son las varianzas respectivamente de  $n$ ,  $f(0)$  y  $\bar{C}$ . Como  $n = 2LD/f(0)\bar{C}$ , la expresión anterior puede también escribirse

$$\text{Var}(D) = \frac{1}{L} \frac{f(0)DCb}{2}$$

que indica que la varianza de la densidad es también inversamente proporcional a  $L$ .

La fórmula anterior puede usarse para estimar la cantidad de esfuerzo necesario para obtener un coeficiente particular de la variación de la densidad usando estimaciones de  $b$ ,  $f(0)$  y  $\bar{C}$  de reconocimientos anteriores. Las representaciones de  $n$  y  $L$  como funciones del coeficiente de la variación de la densidad son

$$n = \frac{b}{CV^2(D)}$$

y

$$L = \frac{f(0)\bar{C}}{2D} \frac{b}{CV^2(D)}$$

La estimación de  $b$  ha de variar, depende de la plataforma y de los sesgos implicados en reconocimientos anteriores. Varias fueron calculadas según el material dado por Holt y Powers (1979) y según algunos análisis realizados en reconocimientos de los barcos pesqueros. Tienden a ubicarse entre  $b = 10$  a 15, que se considerarán tentativamente como aproximaciones. Empleando estos valores, se necesitaría respectivamente una muestra de 444 y 666 observaciones de una especie para obtener un coeficiente del 15% de variación en la densidad. Esta es grande en comparación a las seis observaciones de S. longirostris oriental que se realizaron durante el reconocimiento aéreo de 1979. Si se analizan estos datos suponiendo que  $b = 10$ , el coeficiente esperado de variación sería 129%. Esta es una cantidad inaceptable de variación desde el punto de vista de su empleo en la administración. Los reconocimientos de los barcos pesqueros han suministrado cerca de 100 a 200

observaciones de S. longirostris oriental, lo que provee un coeficiente de variación del 20 al 30 por ciento. Este mismo patrón es efectivo para todas las principales especies de delfines. Así, que es posible hacer un estimado con precisión razonable según las observaciones de cada especie en los reconocimientos de los barcos pesqueros. Este no es el caso de los reconocimientos aéreos al nivel del esfuerzo realizado anteriormente y se necesitan otras suposiciones para analizar los datos con precisión razonable.

Como las estimaciones de la longitud necesaria de la derrota necesitarían suposiciones relativas a D y C, y como realmente no son apropiadas para realizar una comparación de las técnicas, no se calcularán. Una cantidad más apropiada es la razón de las longitudes de la derrota, necesaria en varias plataformas para lograr la magnitud necesaria de la muestra. Esto provee una medida de la eficacia de la plataforma en términos de las millas recorridas en la búsqueda. Suponiendo que cada plataforma provee una estimación sin sesgo de la densidad, la única variable en la fórmula de la longitud calculada de una línea es f(0). Así que la razón de la longitud de la derrota del avión (a) con relación a la longitud de la derrota del barco (b) es

$$\frac{L_a}{L_b} = \frac{f_a(0)}{f_b(0)}$$

Un valor de 3.5 de f(0) en reconocimientos aéreos es aproximadamente lo que Holt y Powers (1979) usaron para todos los cardúmenes de delfines que tenían más de 14 animales. Un valor de 0.5 es aproximadamente lo que he estimado para f(0) en las observaciones de S. longirostris oriental en 1977, en los reconocimientos de los barcos pesqueros. Empleando estos dos valores resulta una razón igual a 7, lo que significa que un avión tendría que abarcar 7 veces las millas recorridas por un barco para producir una muestra de igual magnitud. No se debe colocar demasiado énfasis en la magnitud de este número ya que está sujeto a los sesgos examinados en la sección anterior. Sin embargo, es muy probable que esta razón sea superior a uno y los barcos son probablemente más eficaces en términos de la cantidad de millas exploradas.

### TECNICAS DEL ANALISIS DE LOS DATOS

A pesar de la técnica del reconocimiento, los datos que se obtienen incluyen el número de cardúmenes ( $n$ ) de una especie particular que se ha visto e identificado, las distancias perpendiculares ( $X_i$ ) de la derrota con relación a cada uno de los cardúmenes, la cantidad de delfines individuales en cada cardumen ( $C_i$ ) y la longitud de la línea de búsqueda ( $L$ ). El objetivo del análisis es obtener una estimación del punto medio del intervalo de la densidad o cantidad de delfines según estos datos. El examen de la teoría del muestreo en la derrota indicó que ésto es posible al estimar  $f(0)$  y  $C$ , y las varianzas de  $f(0)$ ,  $C$  y  $n$  en los datos. En esta sección se examinarán las técnicas por las cuales se logra ésto.

#### Estimación del punto medio

Se obtiene una estimación del punto medio de  $f(0)$  al modelar la distribución  $f(x)$  y al evaluarla en su origen. Este "modelado" puede realizarse de varias maneras. Se puede suponer una forma funcional de  $f(x)$  y se pueden estimar los valores de los parámetros desconocidos segun las distancias perpendiculares. Este procedimiento es análogo a los procedimientos tradicionales estadísticos en los que se supone que una variable aleatoria está distribuida normalmente y los parámetros (la media y la desviación normal) se estiman según las observaciones. Se ha indicado una variedad de formas funcionales (estimadores) incluso: exponenciales negativos (Gates *et al.* 1968), serie de potencias (Eberhardt 1968), seminormales (Quinn, 1976), exponencial polinomial (Burnham *et al.* 1980), serie de potencias exponenciales (Pollock 1978). Con frecuencia se refiere a éstos como modelos "paramétricos". Otro método es modelar  $f(x)$  con una serie de funciones en las que se estima el número de las funciones como también el de los parámetros en las funciones. Esta serie de estimadores incluye la serie de Fourier (Crain *et al.* 1978) y una serie de polinomiales (Burnham *et al.* 1980). Se ha aludido a estos modelos como "no paramétricos". Estos no son los únicos métodos que han sido concebidos y habrá probablemente que elaborar muchos más en el futuro. Decidir cual de estos estimadores se debe usar presenta realmente un dilema. Las pruebas estadísticas como la bondad del ajuste de los  $\chi^2$  cuadrados no son por lo general lo suficientemente

podría realizar una estimación de la cantidad total de animales de ambas especies y podrían asignarse basados en la proporción observada de cada especie en los cardúmenes. Este método supone que  $f(x)$  es igual tanto en los cardúmenes puros de ambas especies como en los mixtos.

Esta última técnica de combinar los datos de una variedad de especies ha sido usada en la práctica ya que no siempre ha habido una muestra de magnitud adecuada de cada especie y las observaciones obtenidas en la vecindad de la derrota no siempre pueden identificarse. Holt y Powers (1979) combinaron todas las observaciones de los cardúmenes de delfines de todas las especies, que se habían tanto identificado como no identificado y que incluían más de 14 delfines. Esto les dio aproximadamente 100 observaciones en el reconocimiento aéreo. Según estas observaciones calcularon un estimador de la densidad de todos los delfines y lo asignaron a las especies individuales, basados en varias proporciones de la muestra y según los reconocimientos de los barcos pesqueros. Este tipo de análisis es necesario cuando se tiene una muestra de magnitud inadecuada, pero no es deseable. Es necesario suponer que  $f(x)$  es igual en todas las especies y que todas las especies son igualmente identificables. Estas suposiciones deben examinarse también al evaluar una técnica del reconocimiento que no provee una muestra adecuada de cada especie. Sin embargo, no se intentará en este estudio.

#### Estimación del intervalo

La estimación del intervalo de la densidad requiere una estimación de la varianza y la distribución de la densidad en la que se basan las declaraciones de la probabilidad.

Se indicó anteriormente que la estimación de la varianza teórica de la densidad, necesita una varianza de  $n$ ,  $f(0)$  y  $C$ . La varianza de  $n$  puede obtenerse teóricamente si se conoce la distribución de los cardúmenes. Si los cardúmenes se encuentran distribuidos aleatoriamente entonces  $n$  es la variante de Poisson y la estimación de la varianza es  $n$ . Si se ha agregado la población la varianza sería " $an$ " en algún valor de " $a$ " superior a 1. Burnham *et al.* (1980) indicaron que " $a$ " puede ubicarse en la amplitud de 1.5 a 2 en la mayoría de las poblaciones; sin embargo, no es conveniente suponer un valor de " $a$ ". Otro método sería

estimar una varianza empírica de  $n_i$  según el número de observaciones ( $n_i$ ) en réplicas de la derrota ( $L_i$ ). Burnham et al. (1980) dieron una fórmula de esta varianza empírica. La estimación de la varianza teórica de  $f(0)$  es un producto del proceso de la estimación (ej. dado, estimación de la probabilidad máxima), basada en condiciones asintóticas (es decir,  $n$  llega a ser muy grande) y se supone que el modelo estimado representa la función real fundamental. La varianza de  $C$  puede calcularse empíricamente según la magnitud individual de los cardumenes.

La varianza teórica de la densidad depende de una variedad de suposiciones. La más importante es tal vez la suposición de que las observaciones son independientes de los sucesos. Todas las técnicas examinadas de los reconocimientos pueden violar ésta en varios grados. Esto sucede porque puede verse un cardumen mientras se está rodeando un cardumen visto anteriormente para obtener datos. Nunca se ha examinado de cerca el grado en que la dependencia afectará la estimación de la varianza.

Burnham et al. (1980) han indicado dos opciones para evitar las suposiciones subsiguientes de la varianza teórica. La primera es sencillamente calcular una varianza empírica de la densidad al calcular las estimaciones de la densidad ( $D_i$ ) de las réplicas de la derrota ( $L_i$ ). Este método ha sido indicado por un número de autores (Eberhardt 1968, Seber 1973, Hayes 1977) como una técnica que debe ser vigorosa; sin embargo, se necesita una cantidad considerable de datos para su cumplimiento. Otra opción es una estimación jackknife de la densidad y la varianza. Es además de naturaleza empírica pero no se necesitan tantos datos.

Burnham et al. (1980) indicaron que la distribución normal debe usarse para hacer declaraciones de la probabilidad acerca de las estimaciones del intervalo. Hacen excepciones a ésto y dicen que debe emplearse la distribución  $t$  de Student cuando se emplean las estimaciones empíricas de la varianza de  $n$  o  $D$ .

Nunca se ha examinado completamente la validez de cada una de estas técnicas al suministrar representaciones confiables de la variabilidad real. Quinn (1976) realizó algunas simulaciones que indicaron que la varianza es subestimada si la población es agregada y si se supone que  $n$  es la variante de Poisson. Se necesitan simulaciones similares de

varias de las técnicas de la estimación del intervalo para examinar su validez.

#### ORIENTACION DE LAS INVESTIGACIONES FUTURAS

Un plan de investigación debe conducir a la selección de una técnica de reconocimiento y análisis que pueda dentro de los estrechos límites del presupuesto y de la manera más eficientemente posible suministrar una estimación precisa y sin sesgo de la abundancia. Actualmente, existe una variedad de técnicas que tienen diferentes problemas y no hay una selección evidente entre ellas. Por consiguiente, debe planearse la investigación para evaluar la importancia de los principales problemas de cada técnica.

La mayor desventaja que tienen los reconocimientos aéreos es que no pueden abarcar las zonas de altura. Se necesitan aviones de gran alcance, sin embargo, comúnmente son también muy rápidos (ej. d., P2V) lo que hace la búsqueda difícil. A no ser que se diseñe un avión conveniente para este tipo de reconocimientos, no parece promisoria la posibilidad de búsqueda en las zonas de altura con aviones. Esto, sin embargo, no impide totalmente su empleo, ya que pueden utilizarse para buscar en las zonas de bajura.

La suposición de que  $g(0) = 1$  es también un problema posiblemente grande. El NMFS está investigando actualmente este asunto. Están realizando un experimento en el que la penetración solar en el agua y las condiciones de Beaufort son variadas en una zona de densidad constante. Colocan además dos observadores en la parte delantera del avión como un control sobre cardúmenes que no se ven en la derrota. Estos dos aspectos del experimento suministrarán datos valiosos sobre la autenticidad de esta suposición.

Si  $g(0)$  se encuentra convenientemente cerca a la unidad, el próximo problema que debemos examinar es la medida de las distancias perpendiculares. Esto puede examinarse al volar sobre objetos en mar abierto y tomar fotografías aéreas. Los observadores podrían estimar la distancia hasta el objeto y ésta podría compararse a la distancia medida según la fotografía. Si los observadores pueden anotar con precisión la distancia dentro de un intervalo (ej. d., 0.0-0.05, y 0.05-0.15 millas

náuticas) entonces ésto podría considerarse satisfactorio. Sin embargo, si el costo de la fotografía no llega a ser excesivo, valdría la pena usar este procedimiento durante los reconocimientos. Se podría tomar una fotografía aérea de cada cardumen que estuviera cerca a la derrota y podría medirse la distancia perpendicular exactamente. Esto aseguraría precisión y facilitaría que el criterio de la forma  $f'(0)=0$ , se ensayara más completamente.

Así que si pueden resolverse estos dos problemas y si se supone que se identifican todos los cardúmenes que se encuentran cerca a la derrota, parece, entonces, que los reconocimientos aéreos podrían suministrar una técnica de estimaciones sin sesgo de la abundancia en la zona de bajura. Sin embargo, para obtener muestras de magnitud adecuada de cada especie habría que realizar un trabajo de muestreo más extenso si se compara con el reconocimiento del NMFS de 1979.

El problema principal en los reconocimientos de los barcos de investigación es la posibilidad de que los animales eludan el barco. Esto también lo es con los reconocimientos de los barcos pesqueros. Se indican tres posibilidades para tratar este problema. La primera es el experimento directo con un helicóptero a bordo del barco. Esto, hasta cierto punto, ha sido ya realizado por el NMFS (Au y Perryman en prensa). Se puede usar el helicóptero para que salga a buscar frente al barco y para observar la reacción y cualquier movimiento de los cardúmenes con relación al barco antes de que los observadores a bordo vean los cardúmenes. Se puede seguir el movimiento de los cardúmenes con relación al barco hasta que el barco haya pasado el cardumen. Otra forma de examinar el problema sería comparar las estimaciones de la densidad obtenidas tanto por los observadores que se encuentran en el avión como por los que se encuentran a bordo de los barcos de investigación, procedentes del reconocimiento de 1979 del NMFS. Se emplearon ambas plataformas, aproximadamente en el mismo formato de tiempo para el reconocimiento de la misma zona. No fue posible usar los datos de los barcos de investigación porque tenían una cantidad excesiva de redondeo en las medidas de los ángulos de visualización. Si se puede concebir un método apropiado para analizar estos datos, podría hacerse la comparación entre estas dos plataformas. Si  $g(0)=1$  en los datos obtenidos desde el avión, entonces cualquier diferencia entre las plataformas podría atribuirse a

la evasión de los animales. Una última indicación es que se examinen los datos de reconocimiento de los barcos pesqueros. Puede que sea posible definir una zona en donde la densidad permanece relativamente constante durante un breve período. En la zona se pueden estratificar las observaciones y el esfuerzo basándose en la escala de Beaufort y se pueden comparar las estimaciones de la densidad por cada estrato de Beaufort. Las diferencias relativas reflejarían la evasión de los animales y las violaciones de una  $g(0)=1$  supuesta. En el caso de los barcos es relativamente seguro suponer que  $g(0)=1$  en la mayoría de las condiciones de tiempo y en la mayoría de las diferencias (si es que existen) deberían atribuirse a la evasión de los animales. Si hay diferencias, se podría tratar de corregir éstas en el análisis. Si es posible suponer que todos los cardúmenes cercanos a la derrota en aguas calmadas (Beaufort 0-1) se ven antes de que reaccionen a la proximidad del barco, entonces se podría suponer que una estimación durante esas condiciones no tendría sesgo. Esta estimación podría entonces emplearse como una medida para corregir las condiciones en las que la suposición pueda fallar (es decir, la escala de Beaufort superior a 1). Esto es análogo al concepto que respalda el muestreo de la derrota al usar como medida las observaciones cercanas a la línea (es decir,  $g(0)=1$ ). El análisis necesitaría más suposiciones que tendrían que evaluarse y necesitaría además, una cantidad substancial de esfuerzo en el muestreo, que actualmente solo lo proveen los reconocimientos de los barcos pesqueros.

Sin embargo, antes de intentar cualquier análisis de los datos de los barcos de investigación o de los barcos pesqueros, debe solucionarse el problema del error en las medidas. Se debe concebir un esquema conveniente para convertir las distancias y los ángulos de visualización a distancias perpendiculares. Si se miden las distancias y los ángulos exactamente, entonces es una relación trigonométrica sencilla. Sin embargo, son estimadas y representan intervalos de la distancia y los grados. Así que una estimación de 25 grados y 5 millas náuticas puede relacionarse a un intervalo de 20-30° y 4-6 millas u otro intervalo, depende de la exactitud de la estimación. Se deben solucionar dos problemas para convertir estos a intervalos de la distancia perpendicular. Primero, es necesario obtener alguna información acerca de la exactitud de la estimación para determinar la amplitud de los intervalos de la

estimación. Segundo, como los diferentes intervalos de la distancia y del ángulo de visualización han de proveer intervalos sobrepuertos de la distancia perpendicular, es necesario idear un método que origine intervalos de la distancia perpendicular que sean óptimos en términos de la probabilidad de clasificar mal una distancia particular. Se espera que la exactitud del proceso de la estimación produzca intervalos que no sean excesivamente dudosos, para poder retener la mayoría de la información de los datos.

El problema de la evasión de los animales y del error en las medidas es común en los reconocimientos tanto de los barcos de investigación como de los de pesca. Además, los reconocimientos de los barcos pesqueros pueden estar sujetos a error debido a la búsqueda no aleatoria. Es necesario realizar más investigación al examinar los datos para obtener indicaciones de la búsqueda que no es aleatoria. Una posibilidad es examinar los datos más completamente en estratos más pequeños como hizo Hammond (1981) en una serie limitada de datos. Si estos estratos fueran muy pequeños, podrían proyectarse estratos más grandes al combinar los pequeños estratos que tuvieran una cantidad similar de esfuerzo. Se podría entonces hacer la regresión del número de observaciones contra el esfuerzo en estos estratos más grandes. Este método debería suministrar una prueba más eficaz ya que la pauta de búsqueda en los estratos sería más uniforme.

Si la búsqueda no aleatoria indica ser un gran problema, tendrá que corregirse en el análisis. Existen varias posibilidades, éstas son las variaciones en los esquemas de estratificación. Se pueden estratificar zonas oceanicas en unidades arbitrarias (ej. de., cuadrados de 5 grados), o en unidades que tienen un esfuerzo constante de muestreo o una densidad constante y puede estimarse separadamente la densidad en estas zonas. Cada uno de estos esquemas trata de definir las zonas donde la (1) suposición es válida. Otro método sugerido por Burdick (1979), es modelar la densidad sobre toda la zona, con una superficie que se ha ajustado (mediante las técnicas de regresión) al número de observaciones por unidad de longitud de la línea. Cada uno de estos métodos merece estudiarse aún más.

La estimación de la magnitud de los cardúmenes es otro gran problema que plaga los reconocimientos de los barcos de pesca. Esto no

quiere decir que no sea problema en las otras técnicas; sin embargo, la desigualdad en las estimaciones de los "observadores" y pescadores, y las grandes diferencias entre los reconocimientos de los barcos pesqueros y de investigación del promedio de la magnitud de los cardúmenes, indican algunos problemas decisivos. Se está tratando ahora de entrenar a los "observadores" para que puedan estimar la magnitud de los cardúmenes mediante películas de cardúmenes de magnitud conocida (Allen et al. 1980). Se espera que en el futuro, se pueda tener más confianza en estas estimaciones. La selectividad de la pesca podría explicar las diferencias entre los barcos pesqueros y los reconocimientos de los barcos de investigación. Por consiguiente, se deberían realizar algunos análisis para examinar la relación entre la aparición de los pájaros y la magnitud del cardumen y otros factores que puedan causar un sesgo por exceso en las estimaciones (es decir, produce estimaciones excesivamente elevadas).

Como los reconocimientos de los barcos pesqueros no se proyectan y no se encuentran bajo el control de un experimentador, se podrían esperar más problemas. Sería evidentemente preferible descartarlos si las otras técnicas pudieran proveer una muestra de magnitud adecuada; sin embargo, este no es el caso al nivel del esfuerzo ejercido en reconocimientos anteriores de investigación. Recomiendo, por lo tanto, que se concentre la investigación en los problemas de los reconocimientos de los barcos pesqueros, ya que existirá una plataforma de observación siempre y cuando continúe la pesca y la investigación.

Se necesita también investigar algunas de las cuestiones del análisis. Necesitamos examinar el aspecto físico de la búsqueda para ver si ha de proveer alguna información apropiada que pueda usarse en la selección de un estimador de  $f(x)$ . Además, se deben examinar las técnicas que corrigen el promedio de la magnitud del cardumen para determinar su utilidad y vigor. La estimación del intervalo es otro problema al que relativamente no se han referido muchos investigadores. Nunca se ha probado la validez de las diferentes estimaciones de la varianza ni de las suposiciones de la distribución. Se podrían fácilmente realizar algunas simulaciones sencillas para estudiar este problema.

SUMARIO

Los reconocimientos desde los aviones, los barcos de investigación y los barcos pesqueros, tienen individualmente uno o más problemas en satisfacer las suposiciones de muestreo de la derrota. Los problemas principales de los reconocimientos de los aviones son (1) la posibilidad de que  $g(0)$  no sea igual a 1 debido a las diferencias en la penetración de la luz en el agua y a las condiciones de Beaufort, (2) la falta del esfuerzo de muestreo en las zonas de altura, (3) la posibilidad de error en las medidas de las distancias perpendiculares y (4) una muestra de magnitud inadecuada con relación al nivel actual del esfuerzo en el muestreo. Los principales problemas con los barcos de investigación son (1) la posibilidad de la evasión de los animales, (2) error en los cálculos en la observación de la distancia y del ángulo y (3) una muestra de magnitud inadecuada con relación al nivel actual del esfuerzo de muestreo. Los reconocimientos de los barcos pesqueros proveen una muestra de magnitud adecuada, pero se pueden presentar varios problemas incluso: (1) evasión de los animales, (2) error en los cálculos, (3) el esfuerzo de búsqueda no aleatorio y (4) preguntas acerca de la validez de la estimación de la magnitud de los cardúmenes. Se han presentado varias propuestas de investigación para solventar estos problemas. Además, se debe tomar suficiente tiempo para examinar el costo referente a estas técnicas de reconocimientos y cómo emplear más eficazmente cada una de las técnicas en los reconocimientos del Pacífico oriental tropical, suponiendo que se puedan solucionar los grandes problemas en cada técnica.

En general, no se presentan mayores problemas en el análisis si los datos se obtienen apropiadamente. Se aconseja que la validez y vigor de varios de los modelos sean examinados y que se realicen simulaciones para examinar la validez del intervalo de la densidad de varios de los métodos de la estimación.

BIBLIOGRAFIA

- Allen, R.L. 1981. Dolphins and the purse seine fishery for yellowfin tuna. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Internal Rpt. 16.
- 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 Report 6:28 pp.
- Anderson, D.R. and R.S. Pospahala. 1970. Correction of bias in belt transects of immotile objects. J. Wild. Manage. 34(1): 141-146.
- Andrewartha, H.G. 1961. Introduction to the study of animal populations. Butler and Tanner, Ltd., London. 281 pp.
- Au, D.W.K. 1977. Cruise Report, Cruise DS-77-01-108, Porpoise Cruise No. 213, SWFC, La Jolla, CA.
- Au, D.W.K. and W.L. Perryman. En prensa. Movement and speed of dolphin schools responding to an approaching ship. Fishery Bulletin 1982, 80(2).
- Au, D.W.K., W.L. Perryman, and W.F. Perrin. 1979. Dolphin distribution and the relationship to environmental features in the eastern tropical Pacific. NMFS, SWFC, Admin. Rept. No. LJ-79-43.
- Barham, E.G. 1977. Aerial Survey Trip Report. Southwest Fisheries Center, Admin. Rept. No. LJ-78-01.
- Best, P.B. and D.S. Butterworth. 1980. Report of the Southern hemisphere minke whale assessment cruise, 1978/79. Rep. Int. Whal. Comm. 30, 257-283.
- Burdick, D.L. 1979. On estimating the number of porpoise schools. United States Tuna foundation, Tech. Bull. 1. 124 pp.
- Burnham, K.P. and D.R. Anderson. 1976. Mathematical models for non-parametric inferences from line transect data. Biometrics 32(2): 325-336.
- Burnham, K.P., D.R. Anderson, and J.L. Laake. 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. Wildlife Monographs No. 72, 202 pp.
- Crain, B.R., K.P. Burnham, D.R. Anderson, and J.L. Laake. 1978. A Fourier series estimator of population density for line transect

- sampling. Utah State University Press, Logan, Utah. 25 pp.
- Eberhardt, L.L. 1968. A preliminary appraisal of line transects. J. Wild. Manage. 32(1): 82-88.
- Gates, C.E., W.H. Marshall and D.P. Olson. 1968. Line transect method of estimating grouse population densities. Biometrics 24(1), 135-145.
- Hammond, P.S. 1981. Some problems in estimating the density of dolphin populations in the eastern tropical Pacific using data collected aboard tuna purse seiners. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Internal Rpt. 15.
- Hayes, R. 1977. A critical review of line transect methods. Unpublished M.S. thesis, Univ. of Edinburgh.
- Holt, R.S. and J.E. Powers. 1979. Abundance estimation of dolphin stocks involved in the eastern tropical Pacific yellowfin tuna fishery, determined from aerial and ship surveys. Paper no. SOPS/79/29 prepared for the Status of Porpoise Stocks workshop. Southwest Fisheries Center, La Jolla, CA.
- Jackson, T.D. 1980. Trip report: Porpoise population aerial survey of the eastern tropical Pacific Ocean. SWFC Admin. Rep. No. LJ-80-01.
- Koopman, B.O. 1980. Search and Screening. Pergamon Press, New York. 369 pp.
- Leatherwood, S. and D.K. Ljungblad. 1979. Nighttime swimming and diving behavior of a radio-tagged spotted dolphin. Stenella attenuata. Cetology 34: 1-6.
- May, R.M., J.R. Beddington, C.W. Clark, S.J. Holt, and R.M. Laws. 1979. Management of multispecies fisheries. Science 205: 267-277.
- Pollock, K.H. 1978. A family of density estimators for line transect sampling. Biometrics 34(3), 475-478.
- Quinn, T.J. 1976. The effects of aggregation on line transect estimators of population abundance with application to marine mammal populations. Unpublished M.S. Thesis, Univ. of Washington, Seattle, WA.
- Quinn, T.J. 1980. Sampling for the abundance of schooling populations with line-transect, mark-recapture and catch-effort methods. PhD dissertation, Univ. of Washington.
- Schweder, T. 1974. Transformation of point processes: Applications to

- animal sighting and catch problems, with special emphasis on whales. PhD dissertation, Univ. of California, Berkley, Calif.
- Seber, G.A.F. 1973. The estimation of animal abundance. Hafner, N.Y.  
506 pp.
- Smith, T.D. 1975. Estimates of sizes of two populations of porpoise (Stenella) in the eastern tropical Pacific Ocean. SWFC Admin. Rep. No. LJ-75-67.

FIGURAS

- FIGURA 1. Representación diagramática del muestreo de la derrota. Las medidas que pueden obtenerse incluyen  $r$  = distancia de visualización,  $\theta$  = ángulo de visualización,  $x = r \sin (\theta)$  = la distancia perpendicular. Los puntos detectados se presentan por una línea perpendicular trazada hasta la derrota. Esto indica como se ven todos los animales próximos a la linea, pero se ven menos animales alejados de la linea.
- FIGURA 2. Ilustración de la forma hipotética de  $g(x)$  a la cual se refiere frecuentemente como función detectora.
- FIGURA 3. Zona en el Pacífico oriental tropical habitada por las especies de delfines de interés (línea gruesa a trazos), la zona de reconocimiento de los aviones en 1979 (área sombreada) y el Área Reglamentaria de la Comisión de Aleta Amarilla (ARCAA) (línea gruesa sólida).

la magnitud del cardumen no se anota exactamente, la estimación de  $C$  tendrá sesgo y ésto no se puede evitar en el análisis. Sin embargo, si la suposición (8) es violada y la magnitud del cardumen afecta la probabilidad del descubrimiento, se puede intentar corregir ésto en el análisis. Se puede emplear la siguiente fórmula para estimar el verdadero promedio de la magnitud del cardumen si la probabilidad de descubrimiento se encuentra afectada por la magnitud del cardumen (Burnham *et al.* 1980):

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n f(0|C_i) C_i}{\sum_{i=1}^n f(0|C_i)}$$

Se puede lograr una estimación sin sesgo si  $f(0|C)$  puede expresarse como una función de  $C$ . Holt y Powers (1979) usaron este método al suponer que  $f(0|C)$  era inversamente proporcional al promedio de la distancia perpendicular observada en el caso de la magnitud determinada de un cardumen ( $E(x|C)$ ). Encontraron que

$$E(x|C) = a + b \ln(C)$$

suministraba una relación conveniente. Ajustaron los datos a esta función y encontraron que el parámetro  $a$  no era significativamente diferente de cero. Por consiguiente, estimaron  $\bar{C}$  mediante

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i / \ln(C_i)}{\sum_{i=1}^n 1 / \ln(C_i)}$$

Otra solución similar es estratificar la magnitud de los cardúmenes de tal manera que  $f(0|\bar{C})$  debe ser razonablemente constante en cada estrato. Puede hacerse una estimación de  $f(0|\bar{C})$  y un promedio sencillo de la magnitud del cardumen en cada estrato. La estimación general de la densidad es la suma de los estratos  $S$ ,

$$D = \sum_{i=1}^S (n_i f_i(0|\bar{C}_i) \bar{C}_i) / 2L .$$

Una solución enteramente diferente del problema es truncar los datos a alguna distancia perpendicular en tal forma que dentro de esa distancia la probabilidad de detección sea constante para todas las magnitudes de los cardúmenes. Es posible que la probabilidad de detección no cambie mucho, excepto con referencia a cardúmenes muy grandes que pueden verse a distancias inusitadamente grandes. Con el fin de examinar la validez de este método y de los otros indicados, es necesario examinar los factores que afectan la probabilidad de descubrir un cardumen y si éstos son afectados por la magnitud del mismo. Por ejemplo, según se examinó anteriormente, si la mayoría de los cardúmenes se ven mediante el vuelo de los pájaros en los reconocimientos de los barcos pesqueros, entonces resultará un sesgo solo si la asociación de las aves, la magnitud de la manada de pájaros o ambas cosas dependen de la magnitud del cardumen de delfines.

Los problemas planteados anteriormente son comunes a cualquier muestreo de una población agrupada en la derrota. Con las poblaciones de delfines existen más complicaciones porque los cardúmenes pueden estar formados por una combinación de especies. Idealmente, se tendrían suficientes observaciones de cada tipo de cardumen mixto para tratarlos como poblaciones individuales. Se podría realizar una estimación del número de animales de todas las especies en el cardumen mixto y ésta podría asignarse a las especies individuales basados en la proporción de las especies en los cardúmenes observados; al menos que esta proporción haya sido afectada por la probabilidad de detección. Otra técnica, es usar cada observación de un cardumen mixto con las observaciones de cardúmenes puros de cada especie. La magnitud del cardumen del grupo mixto sería solo el número de animales de la especie particular para la cual se está realizando la estimación de abundancia. Por ejemplo, con los cardúmenes mixtos de S. longirostris y S. attenuata, los grupos mixtos podrían usarse con cardúmenes puros de S. attenuata para estimar su abundancia y se emplearían también con los cardúmenes puros de S. longirostris para estimar la abundancia de esa especie. Esto probablemente subestimaría la varianza de los intervalos simultáneos de confianza, ya que se usaría repetidamente cada observación de un cardumen mixto. El último método sería combinar todas las observaciones de cardúmenes puros de ambas especies con las observaciones de las cardúmenes mixtos. Se

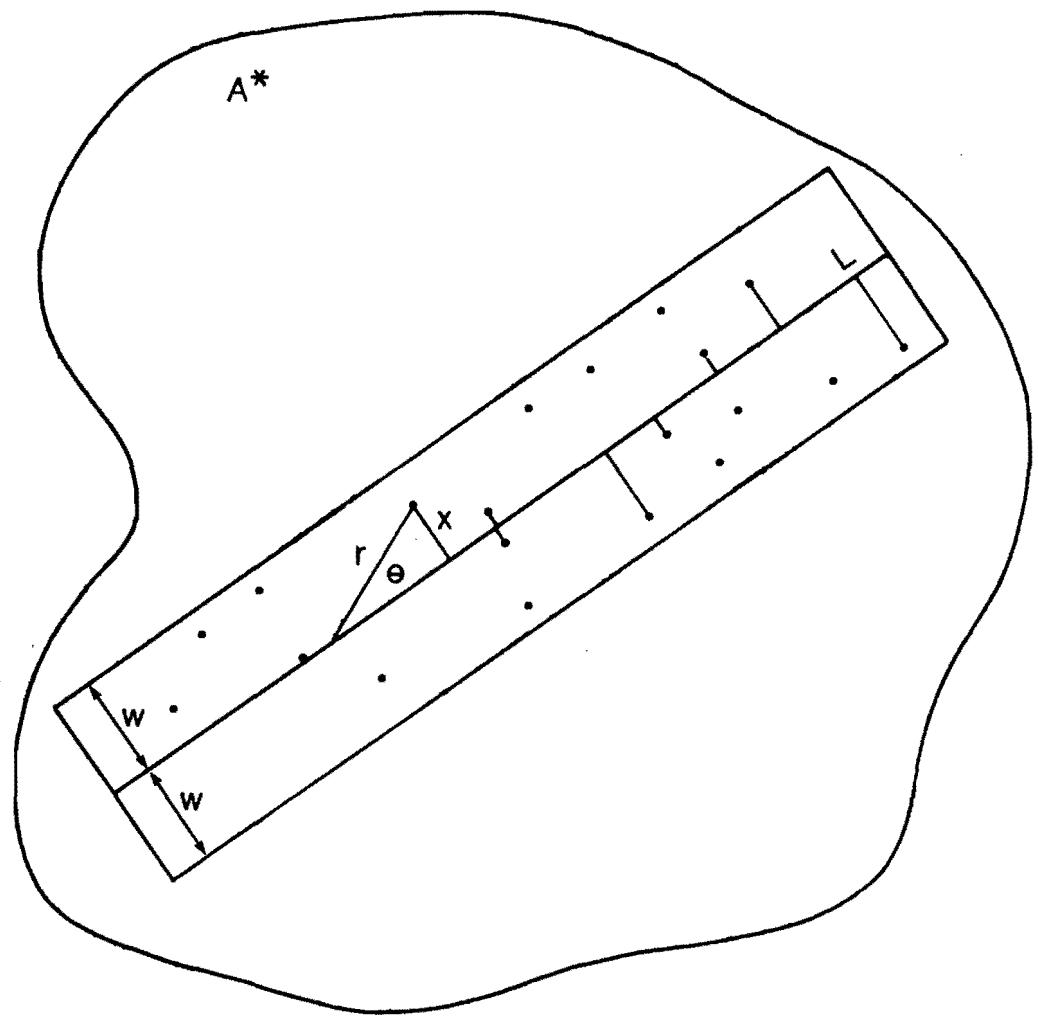


Figure 1

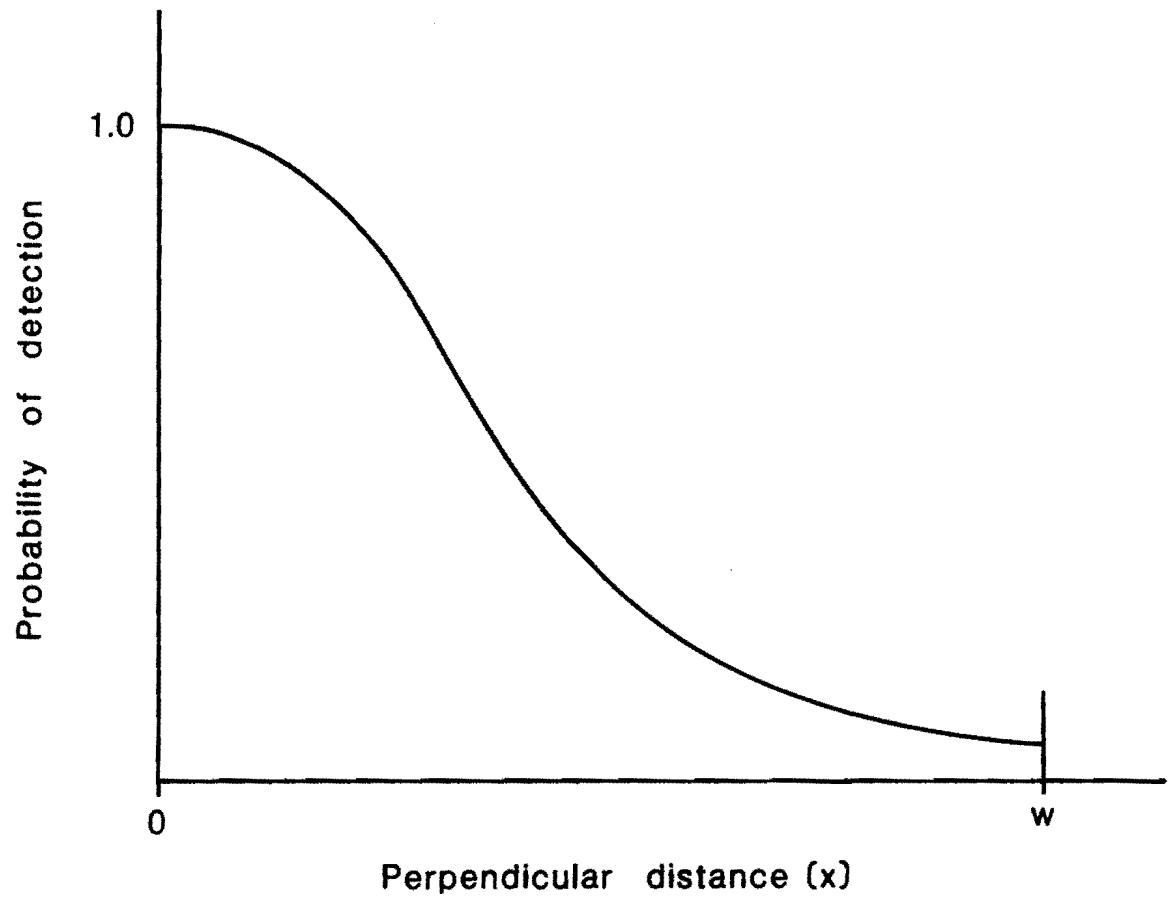
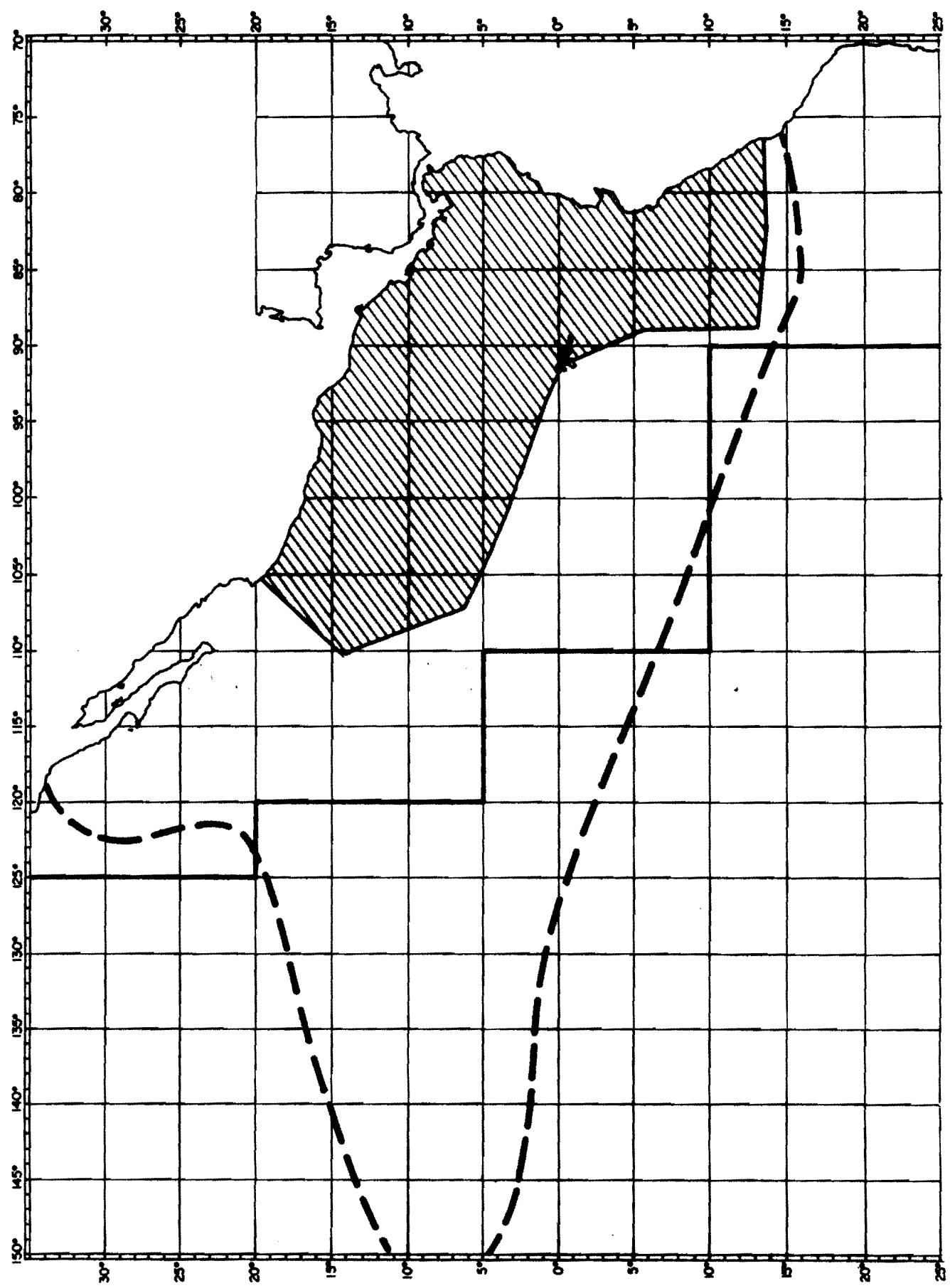


Figure 2

**Figure 3**





ANEXO 4

EXISTENCIAS DE DELFINES EN EL PACIFICO ORIENTAL TROPICAL

Michael D. Scott

Comision Interamericana del Atún Tropical  
La Jolla, California, USA

Analisis preparado para el  
Grupo de Trabajo Atún-Delfín

Managua, Nicaragua  
6 al 10 de Abril de 1981



### INTRODUCCION

La designación de las existencias ("stocks") ha sido un instrumento empleado frecuentemente por la administración de las especies de los mamíferos marinos, pero existen varias definiciones sobre qué constituye una existencia y a menudo son indefinidas. Las existencias pueden definirse de varias maneras, frecuentemente con base a las unidades geográficas (ej. d. ballenas), como poblaciones que regresan anualmente a una zona particular de reproducción, (ej. d. pinípedos), o como poblaciones que tienen una circulación limitada de genes con otras poblaciones. El Grupo de Trabajo sobre Mamíferos Marinos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1978) hizo una distinción entre una población y las existencias:

"El término población se aplica aquí a un grupo de individuos de una especie o de una subespecie que es lo suficientemente independiente reproductivamente de otros subgroupos como para poder mantener su identidad genética. El término existencia que se emplea para una unidad administrativa y comúnmente se define sobre una base geográfica, puede incluir una o más poblaciones o parte de éstas... Sin embargo, las existencias necesariamente no se distinguen genéticamente..."

La designación de las existencias para los fines administrativos puede aplicarse convenientemente en zonas en las que los animales que se encuentran afectados por la mortalidad en la pesca tienen un radio limitado, aunque básicamente no se distinguen genéticamente. Las existencias pueden también aplicarse a casos en los que se pueden definir las poblaciones reproductoras y en esta forma administrarse separadamente. Las existencias de las especies de delfines en el Pacífico oriental tropical (POT) han sido definidas por el National Marine Fisheries Service (NMFS) de los EEUU en el Informe del Grupo de Trabajo sobre la Condición de las Existencias de los Delfines (Smith, 1979) como:

"...la unidad de población que tiene un intercambio genético limitado con unidades adyacentes de la misma especie. Es la unidad básica de población, de interés, en la administración de la especie explotada. Las existencias se diferencian con base (1) a un hiato en la distribución espacial o (2) a diferencias en los caracteres morfológicos que no han de

cambiar con la densidad de la población".

El NMFS ha usado la talla y la forma externa, las pautas de color, las medidas del cráneo y del esqueleto, y la merística, las interrupciones evidentes en la distribución de las especies y las características oceanicas como guía para identificar las existencias. La cantidad de existencias identificadas y sus límites han cambiado frecuentemente, a medida que se obtienen más ejemplares y datos de las observaciones de las especies de delfines incluidas en la pesca con cerco de los atunes. Este estudio examina las existencias propuestas del delfín manchado (Stenella attenuata), el delfín tornillo o churumbel (S. longirostris), el delfín común (Delphinus delphis) y el delfín listado (S. coeruleoalba).

#### Delfín manchado (Stenella attenuata)

En la Figura 1 se presentan las localidades de S. attenuata, observadas a bordo de embarcaciones atuneras en 1974-1980 por técnicos científicos de la CIAT y del NMFS. Se han propuesto tres existencias de S. attenuata en el POT. Se ha reconocido también una existencia hawaiana. Los delfines de esta especie que viven cerca a la costa son más grandes que los de otras existencias (talla promedio de los machos adultos = 227.7 cm [N=32], talla promedio de hembras adultas = 209.2 cm [N=70]; Perrin, 1975a). Son también más robustos y típicamente más manchados que los de las otras existencias. El cráneo y los dientes son más sólidos que los de las otras (véase Tabla 1), lo que aparentemente son adaptaciones relacionadas a la alimentación de presas más grandes. Esta forma se consideraba una especie separada, Stenella graffmani, hasta que una serie adecuada de ejemplares demostró una unión gradual entre las formas costeras y las de alta mar.

El S. attenuata de altura es más pequeño que el costanero (talla promedio de machos adultos = 200.7 cm [N=253], talla promedio de hembras adultas = 187.3 cm [N=555]; Perrin, 1975a). Son más delgados y el cráneo y los dientes son menos macizos que aquellos de los ejemplares costaneros (Perrin, 1975b). La cantidad de manchas varía.

Perrin, (1979) reconoció también provisionalmente una existencia meridional de altura, basado en 131 ejemplares encontrados en un bloque de  $6^{\circ} \times 8^{\circ}$  al sudoeste de las Islas Galápagos. Estos delfines son algo

más pequeños que los animales que se encuentran más al norte (talla promedio de los machos adultos = 186.0 cm [fluctuando de 170 a 204 cm, N=40], talla promedio de hembras adultas = 184.8 cm [fluctuando de 168 a 201 cm, N=91]; Perrin, 1979). Tienen además típicamente menos manchas (basados en el colorido de 11 ejemplares adultos). Los delfines manchados meridionales son similares a los delfines manchados hawaianos y a los delfines manchados que se encuentran lejos mar adentro en el extremo occidental de la distribución en el Pacífico oriental tropical. Perrin ha indicado que puede existir una inclinación este-oeste o una inclinación radial en la pauta de color y en las características del cráneo. Los Grupos de Trabajo sobre la Evaluación de las Existencias (SWFC, 1976) y sobre la Condición de las Existencias de los Delfines (Smith, 1979) han reconocido tentativamente una existencia meridional aislada, aunque se observó que las características modales diferentes de la existencia se debían tal vez a una muestra equivocada o de poca magnitud.

Los datos sobre el movimiento de los animales puede desempeñar un papel importante en la identificación y confirmación de las existencias. Basados en los resultados de un programa de marcado del NMFS, Perrin et al. (1979) han teorizado que el S. attenuata de altura de la región norte se desplaza estacionalmente de 500 a 600 millas náuticas en una dirección este-oeste, mientras que los movimientos de corto plazo son aproximadamente circulares en el radio habitado que tiene de 200 a 300 millas náuticas en diámetro. El desplazamiento predominante este-oeste puede ser el resultado de la orientación de las corrientes oceanicas este-oeste y de las zonas asociadas de divergencia en el POT. Au et al. (1979) han correlacionado la distribución de los delfines con esas características oceanográficas y han conjeturado la existencia de "subpoblaciones" contiguas de delfines que habitan regiones localizadas y que están adaptadas principalmente a las condiciones locales y ambientales de esa región.

Perrin (1969) encontró diferencias en el colorido y las marcas entre los cardúmenes de delfines manchados de la región norte. El examen de seis cardúmenes (magnitud total de la muestra 421 animales) reveló diferencias en las pautas de color de cuatro integrantes - en la formación de la banda de las aletas pectorales, en las bandas (en

subadultos) y en el contraste general (en los adultos) de la capa dorsal a lo largo del margen y la presencia de manchas blancas en el extremo de las mandíbulas en adultos de gran talla. Estos resultados, sin embargo, pueden ser confusos por la posible segregación al agruparse según el sexo y la edad.

Delfín tornillo o churumbel (*Stenella longirostris*)

En la Figura 2 se presentan las localidades de *S. longirostris* observadas por técnicos científicos de la CIAT y del NMFS. Se han reconocido hasta cuatro existencias de *S. longirostris* en el Pacífico oriental tropical. Se ha reconocido también una aparte, el *S. longirostris* hawaiano (considerada una especie aislada, *Stenella roseiventris*). No se tiene mucho conocimiento acerca de la existencia propuesta del *S. longirostris* costarricense, ya que se han registrado datos de solo cinco ejemplares (Perrin, 1975a; 1975b). El *S. longirostris* costarricense parece que es más delgado y largo que las otras formas (dos machos adultos: 181 y 216 cm, tres hembras adultas: fluctuando de 196 a 203 cm; Perrin 1975b). Su color gris es similar al de los delfines *S. longirostris* de la región oriental. El cráneo es más alargado y el hocico junto con las mandíbulas son menos macizos que los de las otras formas (Tabla 2). Como no se pudo separar la existencia fácilmente de la del *S. longirostris* oriental, el Grupo de Trabajo sobre la Evaluación de las Existencias (SWFC, 1976) no reconoció la existencia propuesta como una unidad administrativa aceptable. El Grupo de Trabajo sobre la Condición de las Existencias de los Delfines (Smith, 1979) reconoció, sin embargo, esta existencia.

El *S. longirostris* oriental es delgado y de talla relativamente corta, (talla promedio de machos adultos = 175.3 cm [fluctuando de 161 a 186 cm, N=44], talla promedio de las hembras adultas = 171.0 cm, [fluctuación de 160 a 181 cm, N=75]; Perrin, 1975a). En su mayor parte tienen un color uniformemente gris con cantidades variables de blanco alrededor de la región genital. La cantidad de color blanco en la parte ventral es modalmente diferente al de la forma *S. longirostris* panza blanca. Los machos adultos de la región oriental tienen una quilla postanal más predominante que las otras formas y la aleta dorsal se curva hacia delante, lo que no ocurre con las otras formas. Se han

capturado junto diferentes subcardúmenes de S. longirostris oriental y panza blanca en zonas donde su distribución se traslape. Se ha informado también que existe una mezcla gradual entre las dos formas (Perrin, 1975a). La existencia de S. longirostris oriental se había considerado como una especie aislada, Stenella microps, antes de haber obtenido una gran serie de ejemplares.

El delfín S. longirostris panza blanca es más robusto y en promedio 5 cm más largo que la forma oriental (talla promedio de los machos adultos = 180.2 cm [fluctuando de 170 a 196 cm, N=79], talla promedio de las hembras = 175.9 cm [fluctuando de 161 a 194 cm, N=95], Perrin, 1975a). El color blanco ventral es más extenso que el de la forma oriental, formando una pauta bifida (véase Perrin, 1972, para obtener la descripción de las pautas de color de S. longirostris). La aleta dorsal es triangular y la quilla postanal tiene un tamaño intermedio entre la forma oriental y la hawaiana. Perrin (1979), identificó también una existencia aislada de S. longirostris panza blanca de la región meridional, al sur de la línea ecuatorial (Figura 2). Esta forma de la región meridional parece ser intermedia en talla y en la morfología del cráneo, entre las formas del panza blanca del norte y la hawaiana. El S. longirostris del sur tiene un fuerte color tripartito definido, similar al de la forma hawaiana y mide en promedio de 2 a 3 cm más que el S. longirostris del norte. Todos los ejemplares examinados por Perrin fueron obtenidos en un bloque de 6° al sudoeste de las Islas Galápagos. La existencia de S. longirostris del sur fue reconocida por ambos grupos de trabajo sobre la evaluación de las existencias (SWFC, 1976; Smith, 1979).

#### El delfín común (Delphinus delphis)

La Figura 3 presenta las localidades del delfín común observadas por los técnicos científicos de la CIAT y del NMFS. Se han mencionado cuatro existencias de Delphinus delphis en el Pacífico oriental tropical. Se han reconocido también existencias adyacentes de delfines en la región templada del norte y del sur. Evans (1975) ha diferenciado provisionalmente las existencias de D. delphis usando las medidas de la talla, cráneo, las diferencias en el colorido y las divisiones en la distribución. Desde ese entonces, sin embargo, se han ampliado

considerablemente las observaciones (desde los barcos atuneros) sobre la distribución conocida de estas existencias.

El D. delphis nerítico de Baja California es más grande que otras formas (fluctuando de 186 a 243 cm, N=39, Evans, 1975) y tiene en la aleta pectoral una banda que se extiende hasta la apertura de la boca en lugar del área yugular como en las otras formas. Esta forma tiene además una banda que se prolonga desde el ano hasta la parte toráxica, lo que no es común en otras formas. El hocico es relativamente más largo que en las otras formas (la razón longitud del hocico/ancho zigomático es siempre superior a 1.52 [N=45], en cambio esta razón es siempre inferior en las otras existencias 1.49 [N=33] para la existencia de la región central tropical, [N=9] para la existencia de la región tropical norte). No existe una separación geográfica evidente entre la existencia nerítica de Baja California y aquella de la región tropical del norte (denominada por Evans "hocico corto de Baja California") aunque la forma nerítica de Baja California se encuentra solamente entre el contorno de las 100 brazas y la playa. Basados en esta diferencia, Banks y Brownell (1969) consideraron la forma de hocico largo como una especie separada, Delphinus bairdii. Otros autores, sin embargo, han reconocido solo una especie (von Bree y Purves, 1972; Rice, 1977), ya que la forma de hocico largo se encuentra simpátricamente con formas de hocico corto en los océanos, Atlántico, Mediterráneo, Índico y Pacífico sur. Las formas de hocico corto de California meridional, Baja California y el Pacífico oriental tropical han sido separadas por Evans (en la imprenta) basándose en las características del cráneo, asociadas con la respiración y vocalización. Indicó que las diferencias en la vocalización pueden producir un aislamiento eficaz de las tres existencias. La nerítica de Baja California y la tropical del norte han sido combinadas por el NMFS con fines administrativos debido a la falta de datos.

La existencia de la región central tropical (denominada por Evans "hocico corto del Pacífico oriental tropical") tiene relativamente un hocico corto y se separa de la existencia de la región tropical del norte por un hiato evidente en la distribución. La talla promedio de estos delfines (machos adultos = 208.0 cm [fluctuando de 176 a 230 cm, N=40], las hembras adultas = 196.0 cm [fluctuando de 176 a 210 cm,

N=48]) es superior al promedio de talla de los delfines de las existencias de la región tropical del norte y de la región templada del norte (machos adultos = 187.5 cm [fluctuando de 176 a 200 cm, N=33], las hembras adultas = 178.3 cm [fluctuando de 156 a 190 cm, N=43]). Se ha indicado (Au, 1979) que esta existencia podría considerarse como si fueran dos existencias separadas (una forma oriental y la otra occiden-

poderosas para discriminar entre los modelos basándose en el ajuste de los datos, y aún así, los modelos pueden dar estimaciones muy diferentes de  $f(0)$ . Así que es esencial tener algún criterio en el cual basar la selección de un estimador de  $f(0)$ .

Considerando este problema Burnham *et al.* (1980) indicó los cuatro preceptos siguientes para obtener un estimador útil:

- 1) Modelo Vigoroso (Robust)
- 2) Agrupamiento Vigoroso (Robust)
- 3) Forma Funcional
- 4) Eficacia

Se define un estimador como modelo vigoroso si puede representar una amplia variedad de formas fundamentales de  $f(x)$  e igualmente  $g(x)$ . Se define un estimador como agrupamiento vigoroso si proporciona una estimación de los datos que han sido estratificados con base a algún factor (ej. dado, una variable que afecta la visualización, como es el tiempo) que es igual a una estimación de todos los datos que no están estratificados. En la práctica, el estimador de un modelo vigoroso es esencialmente un agrupamiento vigoroso. Burnham *et al.* (1980) indicó además, que el estimador debe tener una forma funcional que se aleja lentamente del origen (es decir,  $f'(0)=0$ ). Indican que debe emplearse el precepto final que es el estimador más eficaz (varianza mínima).

El modelo vigoroso es el más importante de estos preceptos. Si no se justifica seleccionar una forma específica funcional y si no se pueden emplear los datos para discriminar entre ellos, entonces es razonable y deseable que un estimador pueda representar una amplia variedad de funciones fundamentales. Además, es importante ya que la función ha de cambiar entre los reconocimientos, debido a las diferencias en los observadores, el tiempo y otros factores que a veces no son cuantificables. Si puede seleccionarse la amplitud de las "posibles" formas funcionales y un estimador puede adecuadamen-

la existencia de la parte central tropical, porque no se tenía suficiente evidencia acerca de la separación.

#### ANALISIS

Se están realizando actualmente estudios para examinar los datos del ciclo vital de miles de ejemplares obtenidos por el programa de los observadores del NMFS en barcos atuneros; estos estudios deben ayudar a comprobar y actualizar las conclusiones sobre la variabilidad geográfica y las existencias. Los reconocimientos aéreos fotográficos parecen promisorios en identificar las existencias que se diferencian en talla. Las medidas preliminares según las fotografías aéreas tomadas en la costa meridional de México de cardúmenes de delfines, indican que los delfines S. longirostris de Costa Rica y de la región oriental pueden diferenciarse porque hay unos 20 cm de diferencia en talla entre las dos existencias. Se está explorando la posibilidad de usar las bandas de cromosomas para identificar las existencias (Worthen, 1981). El análisis de la secuencia del DNA ha demostrado que es posible diferenciar las poblaciones de ratones (Avise et al., 1979) y puede servir también para los cetáceos.

La variabilidad significativa entre los cardúmenes de delfines observada por Evans (1975) y Perrin (1969), indica que la circulación de los genes puede limitarse al nivel del cardumen individual, en oposición a agrupaciones más grandes. Los datos de los desplazamientos de los delfines S. longirostris y S. attenuata indican, sin embargo, que la composición del cardumen puede ser dinámica para estas especies (Perrin, et al., 1979). Estos resultados conflictivos pueden ser el resultado artificial del proceso de captura; los cardúmenes individuales pueden separarse o varios cardúmenes pueden agruparse al ser perseguidos por un barco cerquero. Otra posibilidad sería que las grandes agregaciones de delfines pueden estar formadas por varias unidades, provenientes de diferentes reproducciones (Perrin, comunicación personal). Se necesita tener más información sobre el desplazamiento de los delfines y la integración de los cardúmenes, para poder comprender qué es lo que constituye una población reproductora. Los datos sobre el desplazamiento pueden ayudar a determinar los límites de las existencias y si las poblaciones se distribuyen separada o gradualmente. Los estudios a largo

plazo del marcado y de la localización de los delfines pueden determinar si la composición del cardumen es constante o dinámica.

BIBLIOGRAFIA

Au, D.W.K. 1979. Porpoise distribution maps.

Paper no. SOPS/79/14 prepared for the Status of Porpoise Stocks workshop, Southwest Fisheries Center, La Jolla CA. 6 pp.

Au, D.W.K., W.L. Perryman, and W.P. Perrin. 1979. Dolphin distribution and the relationship to environmental features in the eastern tropical Pacific. 59 pp. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-79-43.

Avise, J.C., R.A. Lansman, and R.O. Shade. 1979. The use of restriction endonucleases to measure mitochondrial DNA sequence relatedness in natural populations. I. Population structure and evolution in the genus Peromyscus. Genetics 92:279-295.

Banks, R.C., and R.L. Brownell. 1969. Taxonomy of the common dolphins of the eastern Pacific Ocean. J. Mammal. 50(2):262-271.

van Bree, P.J.H. and P.E. Purves. 1972. Remarks on the validity of Delphinus bairdii (Cetacea, Delphinidae). J. Mammal. 53(2):372-374.

Evans, W.E. 1975. Distribution, differentiation of populations, and other aspects of the natural history of Delphinus delphis Linnaeus in the northeastern Pacific. PhD dissertation. University of California at Los Angeles. 145 pp.

Evans, W.E. In press. Distribution and differentiation of stocks of Delphinus delphis Linnaeus in the northeastern Pacific. In Mammals of the Seas. FAO Fisheries Series.

Perrin, W.F. 1969. Color pattern of the eastern Pacific spotted porpoise Stenella graffmani Lonnberg (Cetacea, Delphinidae). Zoologica 54(4):135-142.

Perrin, W.F. 1972. Color patterns of spinner porpoises (Stenella or S. longirostris) of the eastern Pacific and Hawaii, with comments on delphinid pigmentation. Fish. Bull. 70(3):983-1003.

Perrin, W.F. 1975a. Distribution and differentiation of populations of dolphins of the genus Stenella in the eastern tropical Pacific. J. Fish. Res. Bd. Can. 32(7):1059-1067.

- Perrin, W.F. 1975b. Variation of spotted and spinner porpoise (Genus Stenella) in the eastern tropical Pacific and Hawaii. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. 21:1-206.
- Perrin, W.F. 1979. Taxonomic status of the "south-western stocks" of spinner dolphin Stenella longirostris and spotted dolphin S. attenuata. Rep. Int. whal. Commn 29:175-184.
- Perrin, W.F., Evans, W.E., Holts, D.B. 1979. Movements of pelagic dolphins (Stenella spp.) in the eastern tropical Pacific as indicated by results of tagging, with summary of tagging operations, 1969-76. NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-737. 14 pp.
- Rice, D.W. 1977. A list of the marine mammals of the world. NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-711. 15 pp.
- Smith, T. 1979. Report of the status of porpoise stocks workshop. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-79-41. 120 pp.
- Southwest Fisheries Center. 1976. Report of the workshop on stock assessment of porpoises involved in the eastern Pacific yellowfin tuna fishery. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-76-29.
- Working Party on Marine Mammals, UN Food and Agriculture Organization. 1978. Mammals in the Seas. FAO Fisheries Series No. 5, Volume 1. 264 pp.
- Worthen, G.L. 1981. Preliminary analysis of the potential for stock assessment of Pacific Ocean delphinids by G and C chromosome banding. Southwest Fisheries Center Admin. Rep. No. LJ-81-02C. 99 pp.

TABLA 1. Comparaciones morfométricas entre las existencias de *Stenella attenuata* (de Perrin 1975a).

| Raza      | Machos           | Hembras           | Pautas de color de los adultos  | Esqueleto   |   |                  |
|-----------|------------------|-------------------|---|---|---|------------------|
|           |                  |                   |   | Longitud de la base del condilo de los adultos (mm) | Diametro de los dientes de los adultos (mm) | No. de vertebras |
| Cortezana | 203-257<br>(37)  | 164-227<br>(76)   | Manchas dorsales de tenues a fuertes, pero de medianas a fuertes en la mayoría. Poco contraste dorso-ventral.                                       | 419-460<br>(18)                                     | 3.4-5.7<br>(9)                              | 77-79<br>(9)     |
| De altura | 179-224<br>(332) | 167-206<br>(1042) | Manchas dorsales de tenues a fuertes, pero de medianas a tenues en la mayoría. Lejos mar afuera (>800 km) animales poco manchados.                  | 356-411<br>(68)                                     | 2.7-4.0<br>(65)                             | 77-83<br>(61)    |
| Hawaiana  | 182-202<br>(6)   | 169-203<br>(3)    | Las manchas dorsales y ventrales son tan imperceptibles que no parece que existan. Los adultos parecen neonatos de la raza de altura (Perrin 1970). | 395-440<br>(12)                                     | ---   | 79<br>(2)        |

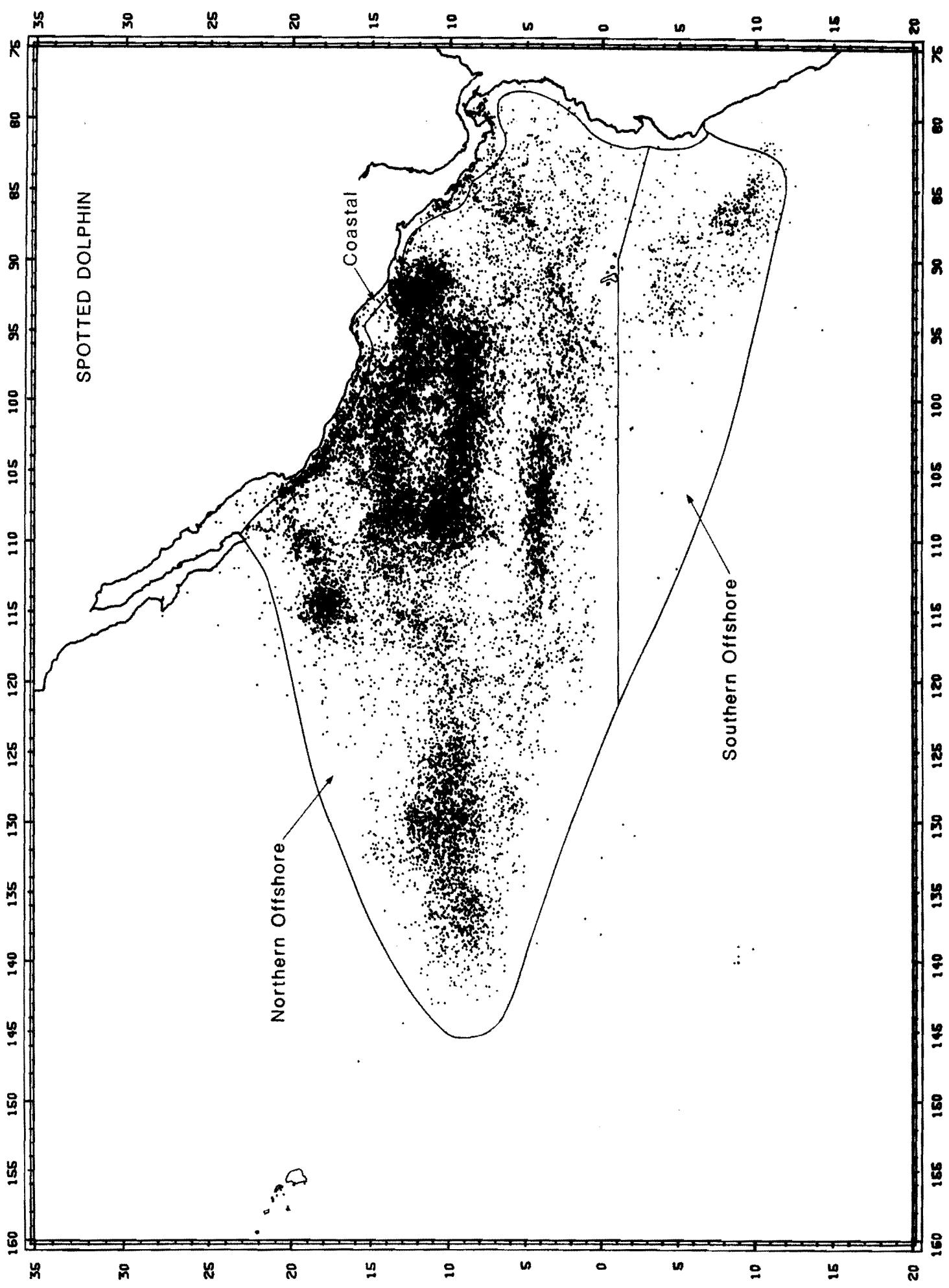
TABLA 2. Comparaciones morfométricas entre las existencias de Stenella longirostris (de Perrin 1975a)

| Raza          | Forma de los<br>machos adultos |                 |                           |                          | Pauta de color<br>(terminología de Perrin 1972b)   | Cráneo                                     |                             |  |
|---------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|--|--|-----------------------------|--|
|               | Longitud adultos<br>(cm)       |                 | Aleta<br>dorsal           | Protuberancia<br>ventral |  | Longitud de la base<br>del condilo<br>(mm) | Ancha<br>zigomatica<br>(mm) |  |
|               | Machos                         | Hembras         |                           |                          |  |  |                             |  |
| Costarricense | 161-216<br>(2)                 | 193-203<br>(3)  | inclinada a<br>triangular | ---                      | Poco conocida, pero similar a la<br>oriental   | 416-437<br>(4)                             | 149-152<br>(4)              |  |
| Oriental      | 161-166<br>(44)                | 160-181<br>(75) | inclinada a<br>triangular | mediana a<br>extrema     | La mancha negra dorsal oscurece la<br>capa y se extiende hasta la parte<br>ventral, dejando áreas claras en<br>la región genital y axilar. Efecto<br>monotono.   | 351-407<br>(26)                            | 139-153<br>(29)             |  |
| Panza blanca  | 170-196<br>(79)                | 161-194<br>(95) | triangular<br>a encorvada | mediana a<br>poca        | La mancha dorsal se extiende hasta<br>la parte ventral solo lateralmente<br>hasta el nivel del ojo y tiene un<br>margen irregular. La capa es apenas<br>visible a través de la parte dorsal.<br>Efecto bifido. | 365-419<br>(13)                            | 145-158<br>(14)             |  |
| Hawaiana      | 165<br>(1)                     | 183-201<br>(2)  | encorvada                 | poca                     | Parte dorsal clara hasta el nivel<br>del ojo, con margen suave. La capa<br>es muy evidente. Efecto tripartito.   | 431-464<br>(10)                            | 159-171<br>(10)             |  |

FIGURAS

- FIGURA 1 Observaciones de Stenella attenuata realizadas por técnicos científicos de la CIAT y del NMFS, a bordo de barcos atuneros en 1974-1980.
- FIGURA 2 Observaciones de Stenella longirostris realizadas por técnicos científicos de la CIAT y del NMFS, a bordo de barcos atuneros en 1974-1980.
- FIGURA 3 Observaciones de Delphinus delphis realizadas por técnicos científicos de la CIAT y del NMFS, a bordo de barcos atuneros en 1974-1980.
- FIGURA 4 Observaciones de Stenella coeruleoalba realizadas por técnicos científicos de la CIAT y del NMFS, a bordo de barcos atuneros en 1974-1980.

Figure 1.



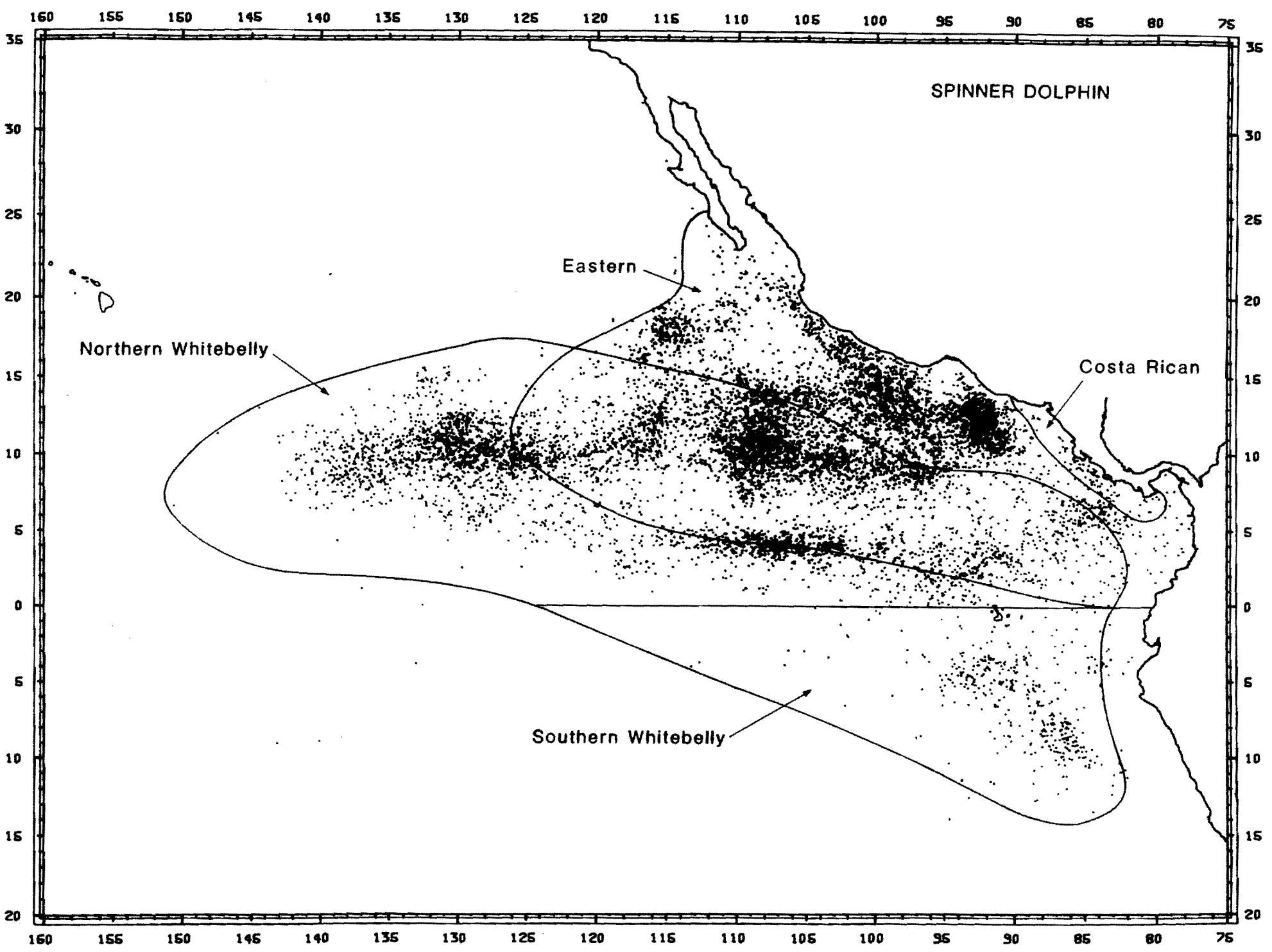


Figure 2.

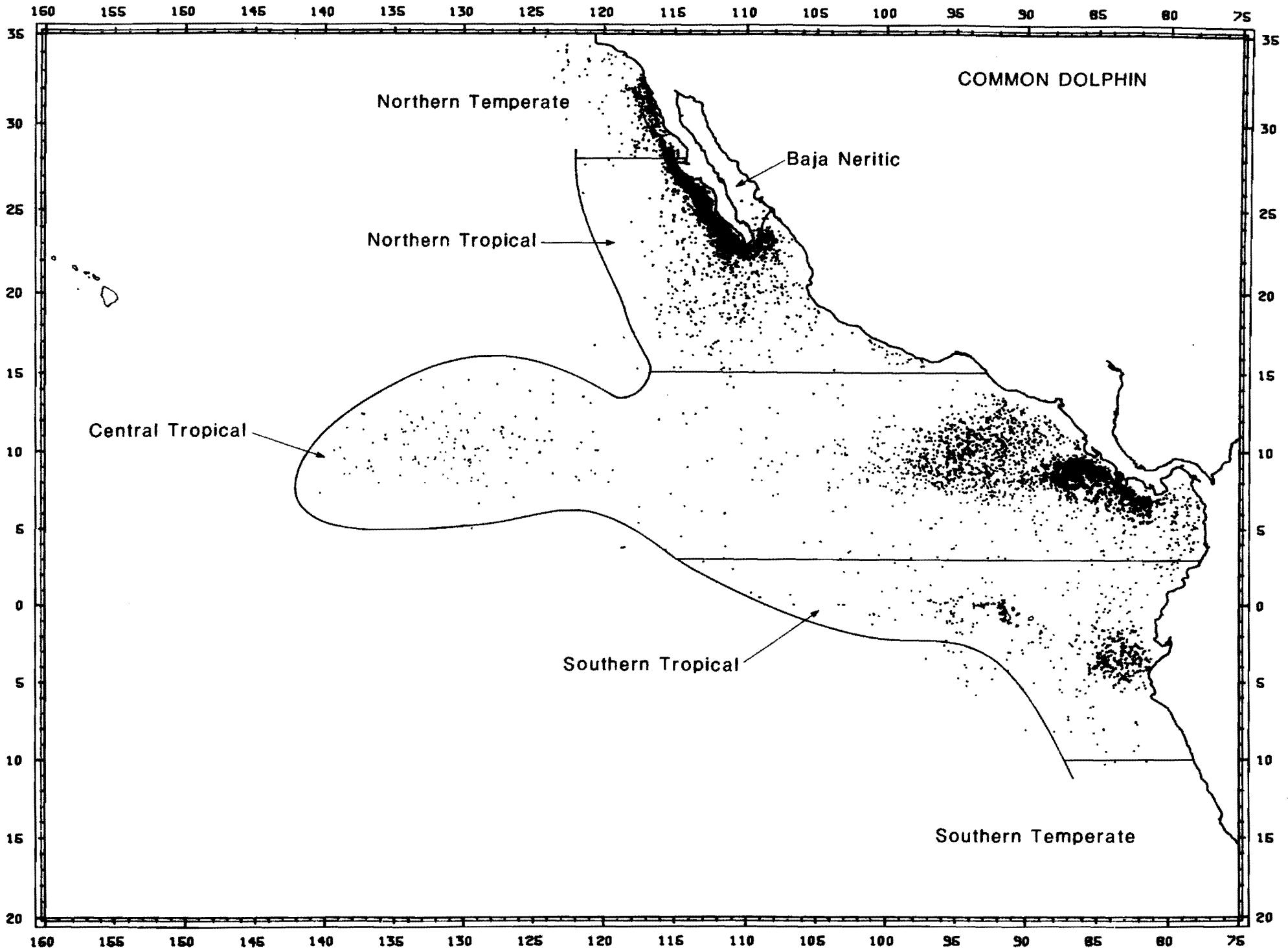


Figure 3.

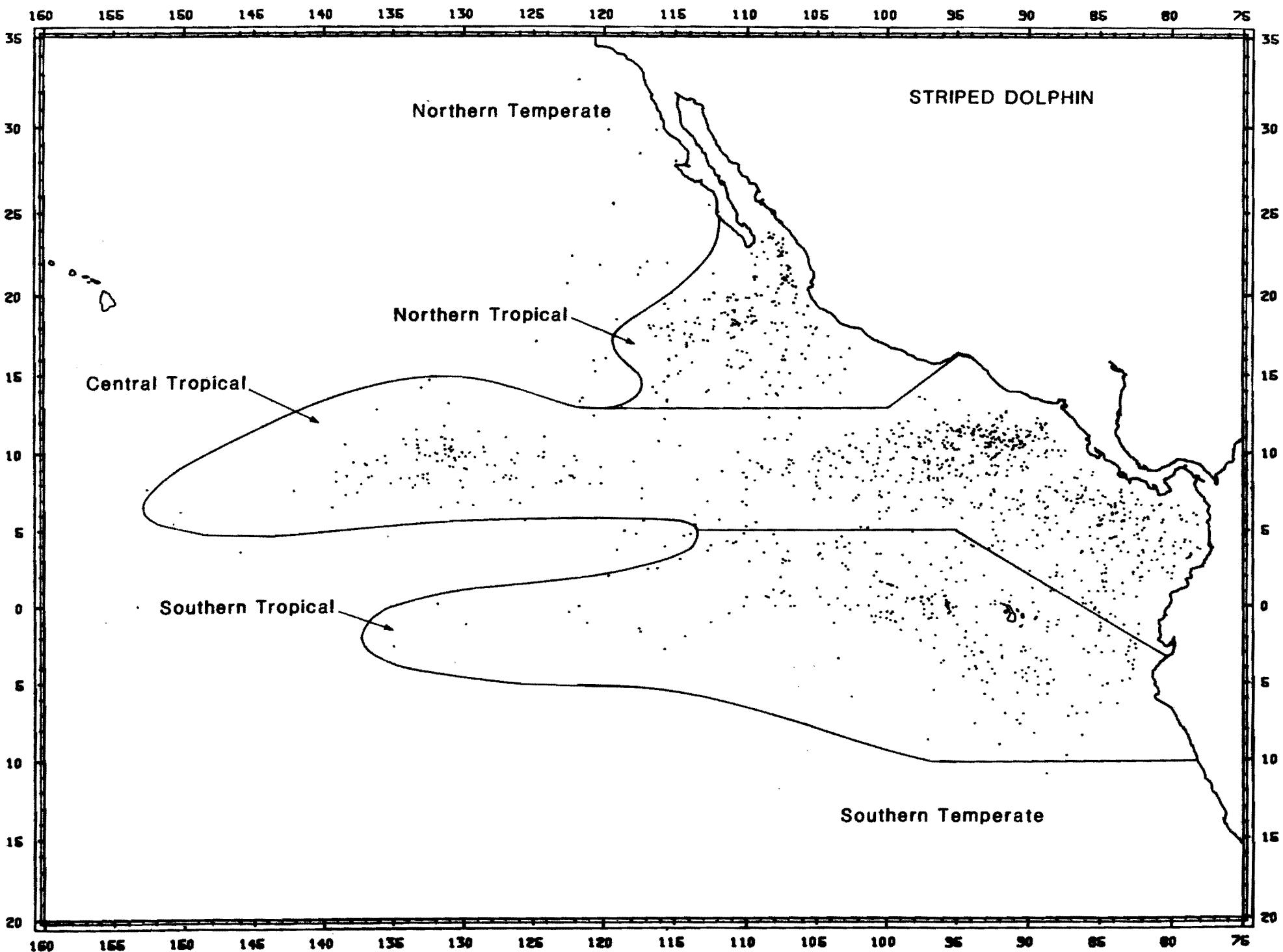


Figure 4.

ANEXO 5

COMENTARIOS SOBRE LA DISTRIBUCION DE STENELLA ATTENUATA, S. LONGIROSTRIS,  
DELPHINUS DELPHIS Y S. COERULEOALBA  
EN EL OCEANO PACIFICO TROPICAL

Franklin G. Alverson

Porpoise Rescue Foundation  
San Diego, California, EEUU

Analisis preparado para el  
Grupo de Trabajo Atún-Delfín

Managua, Nicaragua  
6 al 10 de Abril de 1981



#### INTRODUCCION

La distribución de Stenella attenuata, S. longirostris, S. coeruleoalba y Delphinus delphis, las especies claves incluidas en la pesca con cerco de atunes tropicales en el Pacífico oriental, han sido el tema de varios documentos publicados y sin publicar (Alverson, 1976 a y b; Alverson, 1977 a, b, c, d; Alverson, 1980; Alverson y Broadhead, 1975; Au, 1979a; Au, Perryman y Perrin, 1979; Broadhead, 1976 y 1977; Perrin, 1975 y 1977). Sin excepción, estos papeles fueron producidos por la necesidad de definir la zona habitada por las existencias de cada especie, un factor crítico para estimar la abundancia con miras administrativas. El conocimiento de la distribución de estas especies ha evolucionado con el correr del tiempo y la adquisición de la información de las observaciones. La mejor estimación actual de la distribución de cada especie sigue siendo una interrogante (Alverson, 1976b; Alverson, 1980; Perrin, 1975; Perrin, 1977 y Au, 1977 y 1979).

Desde 1976, el National Marine Fisheries Service (NMFS) ha dividido las zonas de la distribución de cada especie con miras administrativas. Las existencias se definen como una población o unidad que tiene un intercambio genético limitado con unidades adyacentes de la misma especie (Smith, 1979). El número y el límite de las existencias en cada especie han cambiado frecuentemente a medida que se obtienen más datos. La última revisión tuvo lugar en 1979, cuando se definieron 14 existencias tropicales; 3 de S. attenuata, 4 de S. longirostris, 4 de D. delphis y 3 de S. coeruleoalba (Smith, 1979). La distribución de las observaciones de cada especie efectuadas por los observadores del NMFS y de la CIAT, y la distribución de las existencias por especie según han sido descritas por el NMFS, podrán verse en las Figuras 1-4 en un estudio sobre las existencias de delfines preparado por este grupo de trabajo (Scott, Anexo 4 en este informe).

El NMFS ha definido las diferentes existencias basándose en las características de la talla, forma, color y esqueleto (S. attenuata y S. longirostris) y en un hiato en la distribución espacial (D. delphis, exceptuando una existencia nerítica de Baja California, y S. coeruleoalba). A fines de 1980, la CIAT examinó la condición de las existencias de delfines y concluyó que la información actual indicaba dos existencias de S. attenuata, tres de S. longirostris, una de D. delphis -

y una de S. coeruleoalba, en total siete (Anón., 1980a).

En este breve estudio, examinamos el nivel actual de conocimiento que se tiene sobre la distribución de S. attenuata, S. longirostris, D. delphis y S. coeruleoalba como especies y también algunas ideas sobre los problemas que enfrentamos en lo referente al nivel de las existencias.

#### DISTRIBUCION DE LAS ESPECIES

En las Figuras 1 a 5 se presenta la distribución de S. attenuata, S. longirostris, D. delphis y S. coeruleoalba en el Pacífico oriental y se dan algunas explicaciones sobre su distribución general oceanica. En la Figura 6 se presentan las observaciones de los delfines sin identificar, realizadas por el personal a bordo de embarcaciones cerqueras, barcos con curricán y de investigación. Las anotaciones de las existencias que se encuentran al oeste del Pacífico oriental conforme han sido descritas por el NMFS en las Figuras 1-5, no están completas, ni tampoco el límite formado por todas las especies combinadas, Figura 6, pero no se ha tenido suficiente tiempo para adquirir otros datos y graficarlos. Por ejemplo, no se incluyen en las figuras la presencia documentada de S. attenuata, S. longirostris y S. coeruleoalba en las islas principales de la cadena hawaiana, ni la de S. attenuata y S. longirostris a la altura de las Islas Filipinas y el Japón. Además no se incluye la descripción de Morzer-Bruyns (1971) que presenta una distribución en forma de arco de S. longirostris, extendiéndose desde la costa sudamericana hasta los 180° de longitud, al sur de la linea ecuatorial (encontrándose la cuerda del arco a lo largo del ecuador); ni su descripción sobre la distribución transpacífica de S. coeruleoalba.

Es agobiadora la evidencia de la distribución transpacífica de S. attenuata, S. longirostris y S. coeruleoalba en lo que podríamos calificar como aguas transitorias y aguas tropicales. No debe sorprender el observar estas especies en la parte central y occidental, en latitudes mucho más al norte que las del Pacífico oriental. En julio y agosto la isotermia de 24° localizada entre los 140°W y los 140°E, se encuentra hacia el norte aproximadamente desde los 20°N de latitud a los 35°N frente a la costa del Japón, un desplazamiento hacia el norte de unas 900 millas náuticas. No se comprueba una distribución transpacífica en aguas tropicales de D. delphis. Sin embargo, se cree que pueda existir

esta distribución transpacífica en las aguas templadas del norte. Es necesario investigar más este asunto. El examen del diagrama de las observaciones de los delfines sin identificar (Figura 6) solo comprueba el caso de la distribución transpacífica de S. attenuata, S. longirostris y S. coeruleoalba. Las dos primeras son las especies dominantes en el Pacífico oriental y según los escasos datos que se tienen de observaciones obtenidas en el Pacífico occidental, parece que dominan también en esta zona.

Es necesario reconsiderar más o menos la definición actual (véase varios de los estudios citados en este informe) de los límites en el Pacífico oriental de S. attenuata, S. longirostris, D. delphis y S. coeruleoalba, depende de la especie de que se trata. Respecto a S. attenuata, esta definición puede aplicarse a casi todo el perímetro del límite actual. Esto se confirma también para el S. longirostris que se encuentra en la parte oeste y sur de los límites. Además, parece que sea apropiado ajustar los límites en el caso de S. coeruleoalba, al oeste aproximadamente en los  $115^{\circ}$  de longitud y al norte cerca a los  $10^{\circ}\text{N}$  y hacia el oeste en las latitudes de los  $0^{\circ}-5^{\circ}\text{N}$ . Puede que sea además necesario ajustar el extremo sudoeste de la distribución de D. delphis.

#### EXISTENCIAS

Scott (Anexo 4 de este informe) ha examinado el concepto usado para distinguir las existencias de S. attenuata (3), S. longirostris (4), D. delphis (4) y S. coeruleoalba (3) en el Pacífico oriental tropical. El NMFS define las existencias como la unidad poblacional que tiene un intercambio genético limitado con unidades adyacentes de la misma especie (Smith, 1979). Sin embargo, no se define el intercambio genético limitado ni tampoco las unidades. Puede que exista un intercambio genético limitado entre el S. attenuata encontrado en los  $15^{\circ}\text{N}$  y  $105^{\circ}\text{W}$  y el S. attenuata que se localiza a los  $10^{\circ}\text{N}$  y  $140^{\circ}\text{W}$  o aquel encontrado a los  $10^{\circ}\text{S}$  y  $90^{\circ}\text{W}$ . Sin embargo, el intercambio genético debe ser considerable si se avanza (por incrementos de un grado) desde los  $15^{\circ}\text{N}$  y  $105^{\circ}\text{W}$  hasta las dos localidades anteriormente mencionadas.

Smith (1980) declara:

"La evidencia que se tiene hasta ahora es que existe un gradiente

morfológico a través de la zona, es decir, los delfines...S. attenuata que aparecen más cerca de la costa. Este gradiente, que refleja realmente la falta total de movimiento en la zona, no se ubica realmente en el campo de dos existencias separadas, ni una que se mezcla libremente".

Puede que este gradiente razonado por Smith esté más próximo a la verdad, no solo en cuanto a S. attenuata pero también en lo que se refiere a las otras especies. Estamos observando transiciones en el color, talla, forma y características del esqueleto, como también este-oeste, nordeste-sudoeste o cualquier otra, no el final abrupto de una existencia o el comienzo de otra en cualquier latitud, longitud o la combinación de éstas. No ha habido suficiente tiempo como para permitir un examen detallado de todas las existencias incluidas en la pesca, pero un breve examen seleccionado de la literatura nos ha dejado echar una ojeada fascinante a los problemas. Estos se discuten brevemente más adelante.

#### Stenella attenuata

Basados en las diferencias de las pautas de color observadas en cinco (seis?) cardúmenes de delfines, uno (dos?) capturado(s) en la vecindad de los 10°N y 93°W y cuatro capturados en la vecindad de los 7°N y 92°W, Perrin (1969) indicó que los cardúmenes de esta especie pueden formar entidades genéticas. El que los cardúmenes individuales retengan su integridad hasta el punto de que son entidades genéticas, es un concepto interesante. En las aguas del Canal de Puget, existe una prueba cada vez mayor acerca de la estructura complicada de las existencias de orcas (Orcinus orca). Balcomb *et al.* (1980) mencionaron que las ballenas llamadas residentes y transitorias son unidades diferentes reproductoras. Sin embargo, en estas poblaciones, los cardúmenes identificados frecuentemente se entremezclan o se dividen en subgrupos.

Perrin *et al.* (1979) dividieron la raza de altura identificada anteriormente (Perrin, 1975) en dos entidades, la del norte y la del sur, separándolas en la línea ecuatorial. (Después, el Grupo de Trabajo sobre la Condición de las Existencias de los Delfines [Smith, 1979] realizó esta división a 1°S). La decisión de proponer dos existencias de altura se basó en las diferencias modales de color, talla, forma, características del esqueleto y a un hiato a lo largo del ecuador en las

observaciones de S. attenuata. Se ha comentado que los animales del sur se diferencian de los localizados justamente al norte (es decir del ecuador) pero no se define precisamente dónde al norte.

Barham (1976) observó que

"se observaron diferencias de color en los dos cardúmenes observados el 22 de febrero, precisamente al norte del ecuador, aproximadamente a los  $107^{\circ}30'W$ . En estos cardúmenes los animales de talla adulta tenían de regular a pocas manchas y la línea marginal de la pauta de su capa era muy precisa. Se considera que este colorido es más característico del S. attenuata observado anteriormente más lejos al oeste".

Pertenecían estos cardúmenes ( $00^{\circ}52'N$  y  $1^{\circ}18'N$ ) al segmento de la raza del sur?

#### Stenella longirostris

Perrin et al. (1979) dividieron las existencias de S. longirostris panza blanca entre los componentes norte y sur, usando el mismo raciocinio anotado anteriormente para el S. attenuata de altura. Sin embargo, a diferencia de esa especie, la división entre las dos existencias se efectúa en el ecuador.

Con referencia a los reconocimientos de los cruceros realizados a principios de 1979, Au (1979b) indicó:

"Más lejos al oeste a los  $2^{\circ}26'N$ ,  $129^{\circ}41'W$ , se identificó un pequeño cardumen de S. longirostris panza blanca del sur".

Au (1977a) indicó lo siguiente:

"En todos los cardúmenes encontrados que no eran del tipo oriental, algunos individuos tenían una quilla ventral y una banda negra entre la parte lateral oscura y la superficie blanca ventral. Esta banda, cuya prolongación hacia adelante varía, rodea completamente la región anal. Estos ejemplares parecen ser los más grandes en el cardumen".

Los cardúmenes observados abarcaban una extensa zona, es decir,  $3^{\circ}N$   $114^{\circ}W$ ,  $3^{\circ}N$   $112^{\circ}W$ ,  $3^{\circ}S$   $106^{\circ}W$ ,  $5^{\circ}S$   $96^{\circ}W$ ,  $6^{\circ}S$   $85^{\circ}W$ ,  $4^{\circ}N$   $120^{\circ}W$ . Representan estos animales una, dos o más existencias?

Con referencia a S. longirostris, el diario sobre los delfines del Crucero 319 (Au y Perryman, 1978) indica lo siguiente:

"Se observaron tres formas distintas de esta especie. Los animales vistos cerca a los  $18^{\circ}$  y  $19^{\circ}$  de latitud norte eran S. longirostris clásicos de la región oriental (es decir, color gris uniforme, aleta

dorsal triangular o inclinada hacia delante, etc.). ...Tres cardúmenes de S. longirostris vistos cerca a los 11° de latitud norte y 109° de longitud oeste fueron también identificados como de la parte oriental. A diferencia de los cardúmenes vistos a los 18° - 19°N, unos pocos individuos en cada uno de estos cardúmenes tenían parches moteados de color blanco y crema, con márgenes imperceptibles alrededor de la región anal."

Parece que los cuatro cardúmenes vistos al oeste de las Islas Galápagos y los dos al sur y sudeste de estas islas, provenían de "la existencia sudoeste de S. longirostris". "Sudoeste" es sinónimo de la existencia meridional o del sur. Los cuatro cardúmenes vistos al oeste de las Galápagos se encontraban a 1°30'N, 0°25'N, 0°40'N y 0°22'N. Los autores indican además que:

"las fotografías revelaron también, que algunos ejemplares de los cardúmenes vistos a los 3°12'N, 106°32'W parecían provenir de la existencia 'sudoeste'".

Perrin (1977) indicó que:

"Una sola observación (pero muy bien documentada) de la existencia que se encuentra en los 3°52'S, 133°02'W, produjo la evidencia de que es posible que las especies se distribuyan ininterrumpidamente entre el Pacífico oriental y las Marquesas, donde se conoce que han aparecido cardúmenes residentes de S. longirostris (datos actuales y de Norris, et al.). Por otra parte, puede que las observaciones aisladas, separadas por varios centenares de millas de las más cercanas en cualquier dirección (más de 1,000 millas de las observaciones más cercanas hacia el este) representarán el alcance máximo de la población de las Marquesas o con menos probabilidad la población del Océano Pacífico oriental".

Perryman (1977), al informar sobre los resultados del Crucero 214 de delfines, comentó sobre un cardumen observado a los 11°16'N y 147°25'W, en la forma siguiente:

Se observó que algunos individuos en estos cardúmenes de S. longirostris panza blanca tenían una banda oscura entre la parte lateral y vertical".

Sus otras observaciones generales fueron:

Los dos cardúmenes observados en aguas abiertas al sur del ecuador, eran

muy semejantes a la forma hawaiana de S. longirostris. La mayoría poseen una capa dorsal distintiva, una región lateral gris clara y una parte ventral blanca que se prolonga dorsalmente casi hasta alcanzar el nivel del ojo. La aleta dorsal es bien encorvada, pero algunos ejemplares la tenían triangular y poseían pequeñas quillas ventrales. Existía una gran variabilidad en la pauta del colorido en estos cardúmenes. En algunos individuos, la pauta de color tripartita fue menos precisa y parece eran S. longirostris panza blanca."

Se han obtenido mezclas graduales y aparentes en la zona de traslape entre la distribución de S. longirostris panza blanca del norte y el oriental.

#### COMENTARIOS

Evidentemente, queda por hacer una gran cantidad de trabajo en cuanto a la distribución oceanica de las especies, la distribución de las especies en el Pacífico oriental, la distribución de las diferentes "existencias" y el numero actual de las mismas. Debe contestarse la pregunta "Han sido actualmente identificadas las existencias como existencias presentes en el sentido del aislamiento genético o hay en efecto gradientes de transición?" Luego podrá contestarse la pregunta clave administrativa de "cuáles existencias se encuentran afectadas por la mortalidad en la pesca?"

Las numerosas observaciones obtenidas en el Pacífico oriental fuera de los límites establecidos por el Grupo de Trabajo sobre la Condición de las Existencias de los Delfines (Smith, 1979), dictaron la necesidad de volver a analizar las especies y las existencias. Es necesario examinar la suposición implícita de que los animales que se localizan al oeste de los límites exteriores de la pesca no se encuentran afectados por ésta.

El contrato actual concedido por el NMFS a la Universidad de Oklahoma para realizar un análisis sobre la variación geográfica de la talla, forma y esqueleto tanto del S. attenuata como del S. longirostris debe proveer una imagen mejor por zona de la variabilidad y características. Se ha explorado el empleo de las bandas de cromosonas como un elemento factible en la evaluación de las existencias (Worthen, 1981). Desafortunadamente, el pequeño número cultivado de tejido (5)

obtenido en este estudio, no explicó detalladamente el potencial que tiene el empleo de este método.

Los programas actuales de los observadores, realizados por el NMFS y la CIAT ofrecen la posibilidad de recolectar otro material, como son las observaciones sobre las pautas de color, la obtención de otro material óseo para llenar los vacíos en la distribución de las recolecciones actuales y más datos sobre la talla. Estos programas no se han utilizado en toda su capacidad actualmente y es necesario volver a examinar la posibilidad de aumentar al máximo la recolección de los datos para poder explicar las preguntas referentes a las existencias.

El aislamiento genético al nivel del cardumen no parece ser una respuesta razonable. Los resultados obtenidos durante el curso del Cooperative Dedicated Vessel Program (CDVP), DeBeer (1980), indicaron que los cardúmenes se dividen y vuelven a reagruparse en corto tiempo. Sin embargo, las observaciones de Perrin fueron hechas solo tres o cuatro años después de que la flota comenzó a pescar en la zona donde se obtuvieron estas muestras y es posible que sus observaciones se hayan realizado sobre cardúmenes que estaban experimentando su primer lance. Las observaciones durante el CDVP se realizaron unos 12 o 13 años después de que comenzaron los lances en las zonas muestreadas. Las observaciones en otras localidades de cardúmenes de delfines que no han sido pescados, revelan que la composición del cardumen es más bien variable según Wursig y Wursig (1977) y Norris y Dohl (1980).

Un examen más detallado de los factores oceanográficos puede determinar si el uso de un hiato en la distribución de algunas especies es más aparente que real para determinar los límites de las existencias. Vale la pena estudiar las preguntas de porque la separación de las existencias de D. delphis de la región tropical central y sur a los 3°N, la de S. coeruleoalba de la región tropical central y sur a los 5°N entre los 113° y 95°W, que luego se divide diagonalmente a la altura de los 3°S en la costa, la de S. longirostris panza blanca del norte y del sur en la linea ecuatorial y la de las existencias de S. attenuata de altura al norte y sur de 10°S. Se relacionan las primeras, D. delphis y S. coeruleoalba, a la contracorriente? Se relacionan las ultimas, S. attenuata y S. longirostris, a las aguas frías que fluyen fuera de la ramificación occidental de la Corriente del Perú?

El examen de la distribución de la temperatura en la región ecuatorial en los meses de enero-abril, cuando la pesca con cerco se encuentra más activa al sur del ecuador, revela que en muchos años parece no existir una barrera aparente en el movimiento norte-sur de los animales, permitiendo el intercambio genético, es decir, el agua a los  $22^{\circ}\text{C}$  ( $72^{\circ}\text{F}$ ) y más fria en los  $90^{\circ}\text{W}$  (Renner, 1972-1980). Esto ocurrió, por ejemplo, en 1972 (enero-abril), 1973 (enero-abril), 1974 (febrero-marzo), 1975 (enero-abril) y así sucesivamente. Por el contrario, al comienzo más o menos de junio, cada año, la influencia de las aguas frias procedentes de la ramificación de la Corriente del Perú se acentúa aun más. En ese mes en 1970, las aguas de  $72^{\circ}\text{F}$  o más frias se esparcieron tan lejos hacia el oeste hasta llegar a los  $105^{\circ}-110^{\circ}\text{W}$ , en julio la lengua de agua fria se esparció hasta la vecindad de los  $125^{\circ}\text{W}$ , en agosto a los  $134^{\circ}\text{W}$  y en septiembre, la lengua había regresado aproximadamente a los  $120^{\circ}\text{W}$ . Esto en un año en el que las desviaciones de la temperatura de la media a largo plazo fueron más bajas que lo normal. Las desviaciones fueron más bajas que la media a largo plazo hasta diciembre de 1971, y en enero de 1972, empezaron a exceder la media. En los 16 meses consecutivos, comenzando en enero de 1972, el agua de  $72^{\circ}\text{F}$  nunca se esparció al oeste más allá de los  $86^{\circ}\text{W}$  y las condiciones eran ideales para el movimiento norte-sur de los delfines tropicales. Pienso que se puede decir sin peligro que el régimen oceanico en la región ecuatorial ha sido generalmente más calido desde ese tiempo.

En los años sesenta prevalecieron las aguas más frias. La Corriente fria del Perú y su ramificación al oeste, la Corriente Ecuatorial del Sur, no han servido mayormente como barrera de la temperatura en la región ecuatorial en los últimos años. En algunos períodos si, pero no en otros.

Existen muchas interrogantes interesantes que necesitan resolverse. Se necesita gente, tiempo y dinero. Desafortunadamente, parece que el dinero es el factor limitante ahora. Deberíamos colocar al máximo la utilización de los recursos que tenemos y obtener la información necesaria para resolver algunas de estas interrogantes.

BIBLIOGRAFIA

- Anon. 1952-1979. Approximate number of whales, porpoise and seal sightings. NMFS, Honolulu Lab, computer printout, period 5/8/52-6/5/79. 21 pp.
- Anon. 1970-1979. Porpoise sets by one-degree area. IATTC computer printouts.
- Anon. 1974a. M/V Jordan shipboard mammal watch sighting records, Porpoise Cruise 84. NMFS SWFS records.
- Anon. 1974b. Sea Treasure cruise - 10/15/73-2/10/74. Pac. Tuna. Dev. Found. 29 pp.
- Anon. 1976. Observations of porpoise by the Apollo, Mary Elizabeth and Zapata Pathfinder, during the course of a PTDF charter in 1976. LMR files. 3pp.
- Anon. 1977a. Shipboard mammal watch sighting record. NMFS, SWFC, porpoise observer cruise records.
- Anon. 1977b. Tuna purse seine charter to the western Pacific July-November, 1976. Pac. Tuna Dev. Found. 47pp.
- Anon. 1978a. Shipboard mammal watch sighting record. NMFS, SWFC porpoise observer cruise records.
- Anon. 1978b. Townsend Cromwell Cruise 78-04. NMFS, SWFC, Honolulu Lab.
- Anon. 1979a. Shipboard mammal watch sighting record. NMFS, SWFC and IATTC porpoise observer cruise records.
- Anon. 1980a. Tuna-dolphin investigations. IATTC Background Paper No. 6 (38th Meeting of the IATTC), 46 pp.
- Anon. 1980b. Shipboard mammal watch sighting records, NMFS, SWFC and IATTC, porpoise observer cruise records.
- Alverson, F.G. 1976a. Distribution of the common dolphin and distribution of the striped dolphin. Presented at public hearing on proposed 1977 regulations for taking of marine mammals incidental to commercial fishing. Exhibits 34 and 33, respectively.
- Alverson, F.G. 1976b. A chronological review of the distribution of porpoise associated with the tuna fishery in the eastern Pacific. House of Representatives, Committee on Merchant Marine and Fisheries and Wildlife Conservation and the Environment, Serial No. 99-45, pp. 294-313.

- Alverson, F.G. 1977a. Statement on behalf of the American Tunabot Association. House of Representatives, Committee on Merchant Marine and Fisheries, Subcommittee on Fisheries and Wildlife Conservation and the Environment. Serial 95-8, 273-280.
- Alverson, F.G. 1977b. Charts on distribution. House of Representatives, Committee on Merchant Marine and Fisheries, Subcommittee on Fisheries and Wildlife Conservation and the Environment. Serial 95-8, pp. 235-238.
- Alverson, F.G. 1977c. Statement on behalf of the American Tunabot Association. Senate Hearings before Committee on Commerce, Science and Transportation, Serial 95-12, pp. 238-249.
- Alverson, F.G. 1977d. Statement on behalf of the American Tunabot Association. House of Representatives, Committee on Merchant Marine and Fisheries, Serial 95-3, pp. 308-343.
- Alverson, F.G. 1980. Distribution of spotted, spinner, common and striped dolphin stocks in the eastern tropical Pacific Ocean. USTF Tech. Bull. No. 3. 53 pp.
- Alverson, F.G. and G. Broadhead. 1975. Testimony on behalf of the American Tunabot Association, Tuna Research Foundation, Fishermen's Union of the American Pacific and Caribbean Area Affiliated with the Seafarer's International Union, AFL-CIO, Fishermen's Union ILWU. U.S. Dept. of Commerce, informal hearing to consider reissuance of incidental take general permits, Washington, D.C., October 9 and 10, 1975, 67 pp. plus appendices.
- Au, D.W.K. 1976. NOAA ship Townsend Cromwell, Porpoise Cruise 168, January 5 to March 3, 1976. NMFS SWFS, cruise report, 16 pp.
- Au, D.W.K. 1977a. R/V David Starr Jordan, Porpoise Cruise 213, January 4-March 8, 1977. NMFS, SWFC, cruise report, 40 pp.
- Au, D.W.K. 1977b. Review of species/stock boundaries. NMFS, SWFC, 10 pp.
- Au, D.W.K. 1979a. Porpoise distribution maps. NMFS, SWFC, memo Au to G.T. Sakagawa, 6pp.
- Au, D.W.K. 1979b. R/V David Starr Jordan Porpoise Cruise 463 and R/V Townsend Cromwell Porpoise Cruise 464, January 3-March 16, 1979. NMFS, SWFC, cruise report, 24 pp.
- Au, D.W.K. 1980a. Report on cetacean studies conducted from R/V

- Researcher (PC-648). NMFS, SWFC, cruises report, 3 pp. Table 4.
- Au, D.W.K. 1980b. Report on the 1980 porpoise survey cruises R/V David Starr Jordan (cruise 598) and R/V Townsend Cromwell (cruise 599). NMFS, SWFC cruise report. 1/3-3/5/80. pp. 1-4.
- Au, D.K.W. and W.L. Perryman 1978. NOAA ship David Starr Jordan Porpoise Cruise 319, October 3 to November 21, 1977. NMFS, SWFC, cruise report, 42 pp.
- Au, D.K.W., W.L. Perryman and W.F. Perrin 1979. Dolphin distribution and the relationship to environmental features in the eastern tropical Pacific. NMFS, SWFC, Admin. Rept. No. LJ-79-43, 59 pp.
- Au, D.W.K., R. Pitman and S. Sinclair 1980. Cruise NOAA ship Oceanographer, March 21-April 19, 1980. NMFS, SWFC cruise report. 5 pp.
- Balcomb, K.C., J.C. Boran, R.W. Osbourne, and N.J. Haenel 1980. Observations of killer whales (Orcinus orca) in greater Puget Sound, State of Washington. Final report for MMC contract MM1300731-7. NTIS PB80-224 728. 42 pp.
- Barham, E.G. 1976. R/V David Starr Jordan, Porpoise Cruise 169, January 5-March 2, 1976. NMFS, SWFC, cruise report, 38 pp.
- Broadhead, G.C. 1976. Statement at public hearing on proposed 1977 regulations for taking of marine mammals incidental to commercial fishing for yellowfin tuna, plus appendices.
- Broadhead, G.C. 1977. Statement at public hearing on proposed regulations governing the take of marine mammals incidental to commercial fishing operations, population levels and the management of porpoise in the eastern Pacific. MMPAH #1, 1977, 26 pp.
- Burns, F. and D. Souter. 1980. Tuna purse seining cruise report June-August 1980. White Star. Pac. Tuna Dev. Found. 29 pp.
- DeBeer, John. 1980. Cooperative Dedicated Vessel Research Program on the tuna/porpoise problem: overview and final report. Marine Mammal Commission, 38 pp., 5 app.
- Far Seas Fisheries Research Laboratory. 1980. Data records of marine mammal sighting survey conducted by salmon research vessels, 1978 and 1979. Fishery Agency of Japan, FSFRL, 79 pp.
- Lambert, James. 1977a. R/V Oceanographer, Porpoise Cruise 232, March 24 to April 15, 1977. NMFS, SWFC, cruise report, 6 pp.
- Lambert, James. 1977b. R/V Oceanographer, Dome Cruise RP-7-02-77,

- Porpoise Cruise 310, June 27-July 29, 1977. NMFS, SWFC, cruise report, 9 pp.
- Love, C.M. (Editor). 1971. Biological and nutrient chemistry data from principal participating ships, First Survey Cruise, February-March, 1967. NMFS, Eastropac Atlas, Circular 330, Vol. 2, Figures SP1, SW1, 10BP and 10BF.
- Love, C.M. (Editor). 1972. Biological and nutrient chemistry data from principal participating ships, Second Survey Cruise, August-September, 1967. NMFS, Eastropac Atlas, Circular 330, Vol. 6, Figures SP2, SW2, 40BP and 40BF.
- Morzer-Bruyns, W.F.J. 1971. Field guide of whales and dolphins. Amsterdam, 201 pp., 28 plates, 18 charts.
- Norris, K.S. and T.P. Dohl. 1977. The behavior of the Hawaiian spinner porpoise (Stenella longirostris). Univ. Calif. Manuscript. pp. 1-66. Also pub. in the fishery Bulletin, Vol. 77, No. 4, 1980. pp. 821-850.
- Perrin, W.F. 1969. Color pattern of the eastern Pacific spotted porpoise, Stenella graffmani Lonnberg (Cetacea, Delphinidae). Zootaxonomia, Vol. 54, No. 4, pp. 135-149.
- Perrin, W.F. 1975. Distribution and differentiation of populations of dolphins of the genus Stenella in the eastern tropical Pacific. Journal of Fish. Res. Bd., Canada, Vol. 32, No. 7, pp. 1059-1067.
- Perrin, W.F. 1977. Review of stock boundaries. NMFS, SWFC, memo Perrin to J.E. Powers, 19 pp.
- Perrin, W.F., P.A. Sloan and J.R. Henderson. 1979. Taxonomic status of the "Southwestern Stocks" of spinner dolphin Stenella longirostris and spotted dolphin S. attenuata. Rep. Int. Whal. Comm 29, pp. 175-184.
- Perryman, Wayne. 1976. Results of Oceanographer Dome Cruise, Leg 7 (Porpoise Cruise 216). NMFS, SWFC, memo to William Fox, dated September 2, 1976. 5 pp., appendix, 29 pp marine mammal sightings.
- Perryman, Wayne. 1977. NOAA ship Townsend Cromwell, Porpoise Cruise 214, January 6-March 25, 1977. NMFS, SWFC, cruise report, 31 pp.
- Renner, J. (Editor). 1970-1980. Fishing Information. NMFS, SWFC, issued monthly.
- Rice, Dale. 1975. Extract from field notes taken aboard the Russian

- vessel Vnushitel'nyi. NOAA/NMFS, Northwest Fisheries Center.
- Salomons, Robert. 1980. Tuna purse seining cruise report June-September 1980, Island Princess. Pac. Tuna Dev. Found. 48 pp.
- Scott, M.D. 1981. Dolphin stocks in the eastern tropical Pacific. Appendix 4 in this report. 16 pp.
- Smith, T.D. (Editor). 1979. Report on the status of porpoise stocks workshop (August 27-31, 1979). NMFS, SWFC, ADM. Rpt. No. LJ-79-41, 120 pp.
- Smith, T.D. 1980. Testimony at formal hearing re: amendments to incidental taking regime. NOAA, transcript of proceedings, April 1, 1981, pp. 87-282.
- Souter, D. and G. Broadhead, 1978. Purse seine fishing for yellowfin and skipjack in the southern waters of the central and western Pacific, Jeanette C. charter. Pac. Tuna. Dev. Found. Bull. No. 2. 77 pp.
- Souter, D. and R. Salomons. 1980a. Tuna purse seining Island Princess cruise report June-October 1979. Pac. Tuna Dev. Found., 37 pp.
- Souter, D. and R. Salomons. 1980b. Tuna purse seining Jeanette C. cruise report May-September 1979. Pac. Tuna Dev. Found. 31 pp.
- Tafoya, Tim. 1980. School of spotted porpoise observed at 17°S and 95°W. Personal communication. 1 p.
- Worthen, Gary L. 1981. Preliminary analysis of the potential for stock assessment of Pacific Ocean delphinids by G and C chromosome banding. NMFS, SWFC, Admin. Rpt. No. LJ-81-02C, 99 pp.
- Wursig, B. and M. Wursig. 1977. The photographic determination of group size, composition and stability of coastal porpoises (Tursiops truncatus). Amer. Assoc. for the Advanc. of Sci., Vol. 198, No. 4318, Nov. 19, 1977, pp. 755-756.

FIGURAS

FIGURA 1 Algunas observaciones de Stenella attenuata fuera del límite de su distribución, según han sido determinadas por el Grupo de Trabajo sobre la Condición de las Existencias (Smith, 1979). Clave de los símbolos: 70-80 se refiere respectivamente a los zonas de un grado de las que la CIAT tiene anotaciones de los lances sobre delfines en los años de 1970 a 1978. B-Anón., 1978a. C-Anón., 1977a. D-Anón., 1980. G-Salomons, 1980. H-Souter y Salomons, 1980a. J-Souter y Broadhead, 1978. K-Souter y Salomons, 1980b. L-Anón., 1976. M-Burns y Souter, 1980. R-Anón., 1974b. S-Tafoya, 1980. T-Au, 1980b. V-Au, Pitman y Sinclair, 1980. W-Au, 1980a. 3-Rice, 1975. 4-Anón., 1974. 5-Au, 1976. 6-Barham, 1976. 7-Au, 1977a. 8-Perryman, 1977. 9-Perryman, 1976.

FIGURA 2 Observaciones de Stenella longirostris oriental fuera del límite de su distribución, según han sido determinadas por el Grupo de Trabajo sobre la Condición de las Existencias (Smith, 1979). Clave de los símbolos: 70-79 - Zonas de un grado de las que la CIAT tiene anotaciones de los lances sobre delfines. A-Anón., 1977a-observaciones de S. longirostris oriental. B-Anón., 1978a-observaciones de S. longirostris oriental. C-Anón., 1979a-observaciones de S. longirostris oriental. D-Anón., 1980b. T-Au, 1980b.

FIGURA 3 Algunas observaciones de Stenella longirostris panza blanca fuera del límite de su distribución, según han sido determinadas por el Grupo de Trabajo sobre la Condición de las Existencias (Smith, 1979). Clave de los símbolos: 70-79 se refiere respectivamente a las zonas de un grado de las que la CIAT tiene anotaciones de los lances sobre delfines en los años de 1970 a 1979. G-Salomons, 1980. H-Souter y Salomons, 1980a. J-Souter y Salomons, 1978. L-Anón., 1976.

M-Burns y Souter, 1980. N-Anón., 1978b. P-Anón., 1976.  
R-Anón., 1974b. V-Au, Pitman y Sinclair, 1980. W-Anón.,  
1980b. X-Anón., 1977a. Y-Anón., 1978a. Z-Anón., 1979a.  
5-Au, 1976. 6-Barham, 1976. 7-Au, 1977a. 8-Perryman,  
1977. 9-Perryman, 1976. 13-Au, 1979b.

**FIGURA 4** Algunas observaciones de *Delphinus delphis* fuera del límite de su distribución, según han sido determinadas por el Grupo de Trabajo sobre la Condición de las Existencias (Smith, 1979). Clave de los símbolos: A-Anón., 1977a. B-Anón., 1978a. C-Anón., 1979a. D-Anón., 1980b. K-Souter y Salomons, 1980b. Q-Far Sea Fisheries Lab., 1980. 4-Anón., 1974a. 5-Au, 1976. 7-Au, 1977a. 8-Perryman, 1976.

**FIGURA 5** Algunas observaciones de *Stenella coeruleoalba* fuera del límite de su distribución, según han sido determinadas por el Grupo de Trabajo sobre la Condición de las Existencias (Smith, 1979). Clave de los símbolos: A-Anón., 1977a. B-Anón., 1978a. C-Anón., 1979a. D-Anón., 1980b. J-Souter y Salomons, 1978. K-Souter y Salomons, 1980b. T-Au, 1980b. V-Au, Pitman y Sinclair, 1980. 3-Rice, 1975. 4-Anón., 1974a. 7-Au, 1977a. 8-Perryman, 1976. 9-Perryman, 1977. 11-Lambert, 1977b. 13-Au, 1979 (B/I Jordan). 14-Au, 1979 (B/I Cromwell).

**FIGURA 6** Algunas observaciones de delfines sin identificar fuera de los límites de la distribución mixta de *S. attenuata*, *S. longirostris*, *D. delphis* y *S. coeruleoalba*, según han sido determinadas por el Grupo de Trabajo sobre la Condición de las Existencias (Smith, 1979). Clave de los símbolos: G-Salomons, 1980. H-Souter y Salomons, 1980a. J-Souter y Salomons, 1978. K-Souter y Salomons, 1980b. L-Anón., 1976. M-Burns y Souter, 1980. V-Au, Pitman y Sinclair, 1980. N-1952-1959. Y-1960-1969, Anón., 1952-1979. X-1970-1979. [1] - Love, 1971. [2] - Love, 1972. 4-Anón., 1974a. 8-Perryman, 1977. 9-Perryman, 1976. 10-Lambert, 1979a. 11-Lambert, 1979b. 12-Au y Perryman, 1978. 13-Au, 1979 (B/I Jordan).

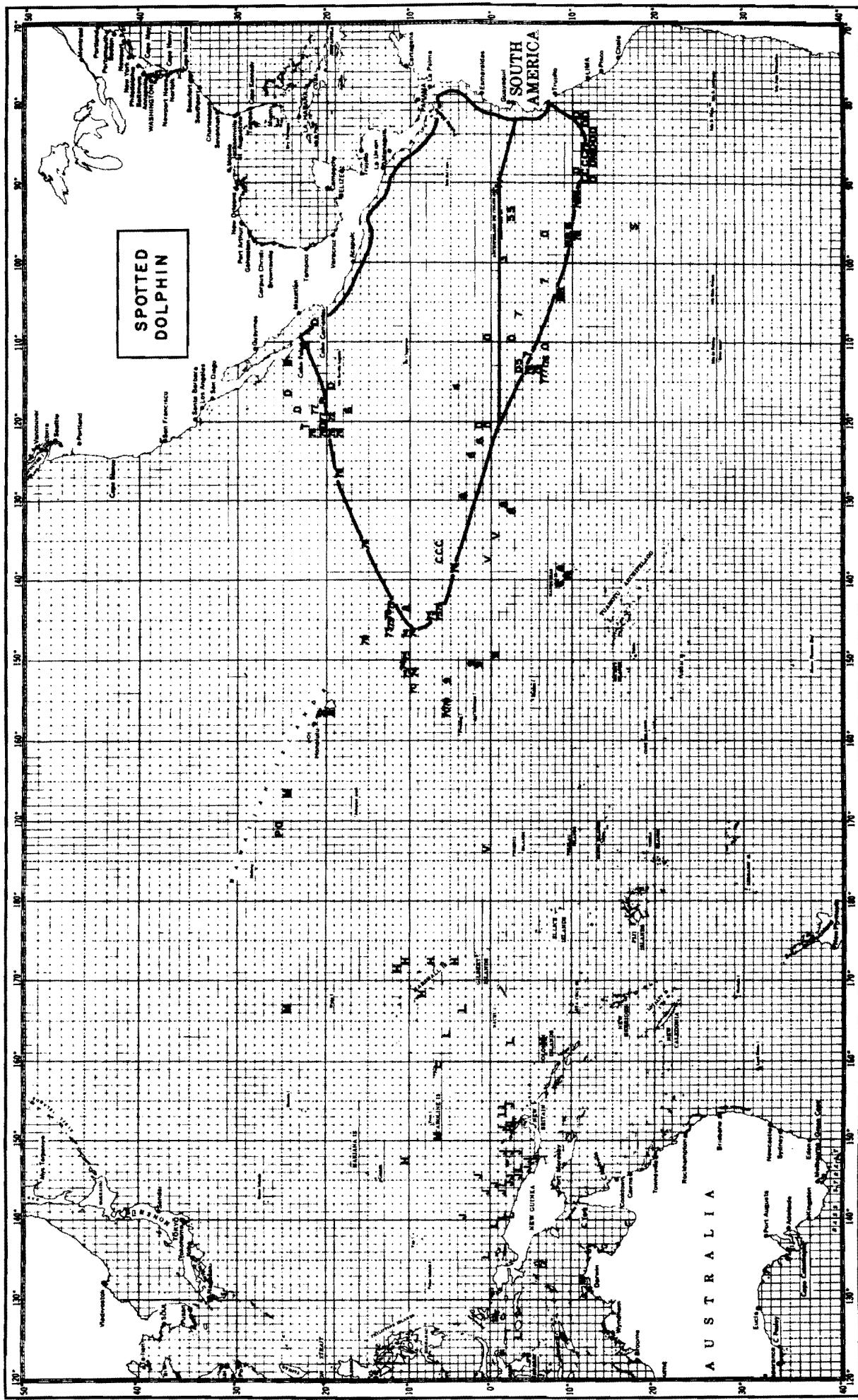
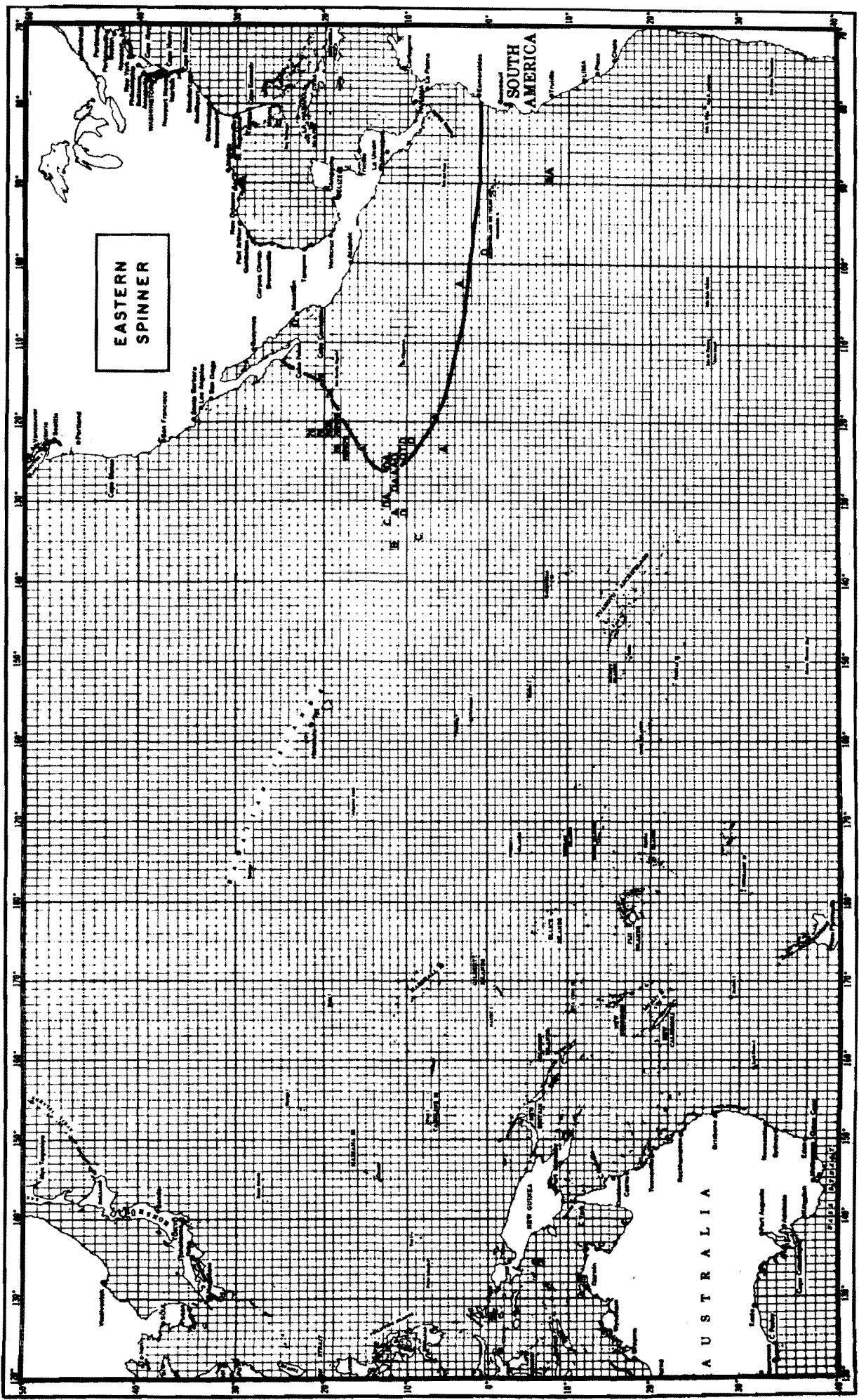


Figure 1

**Figure 2**



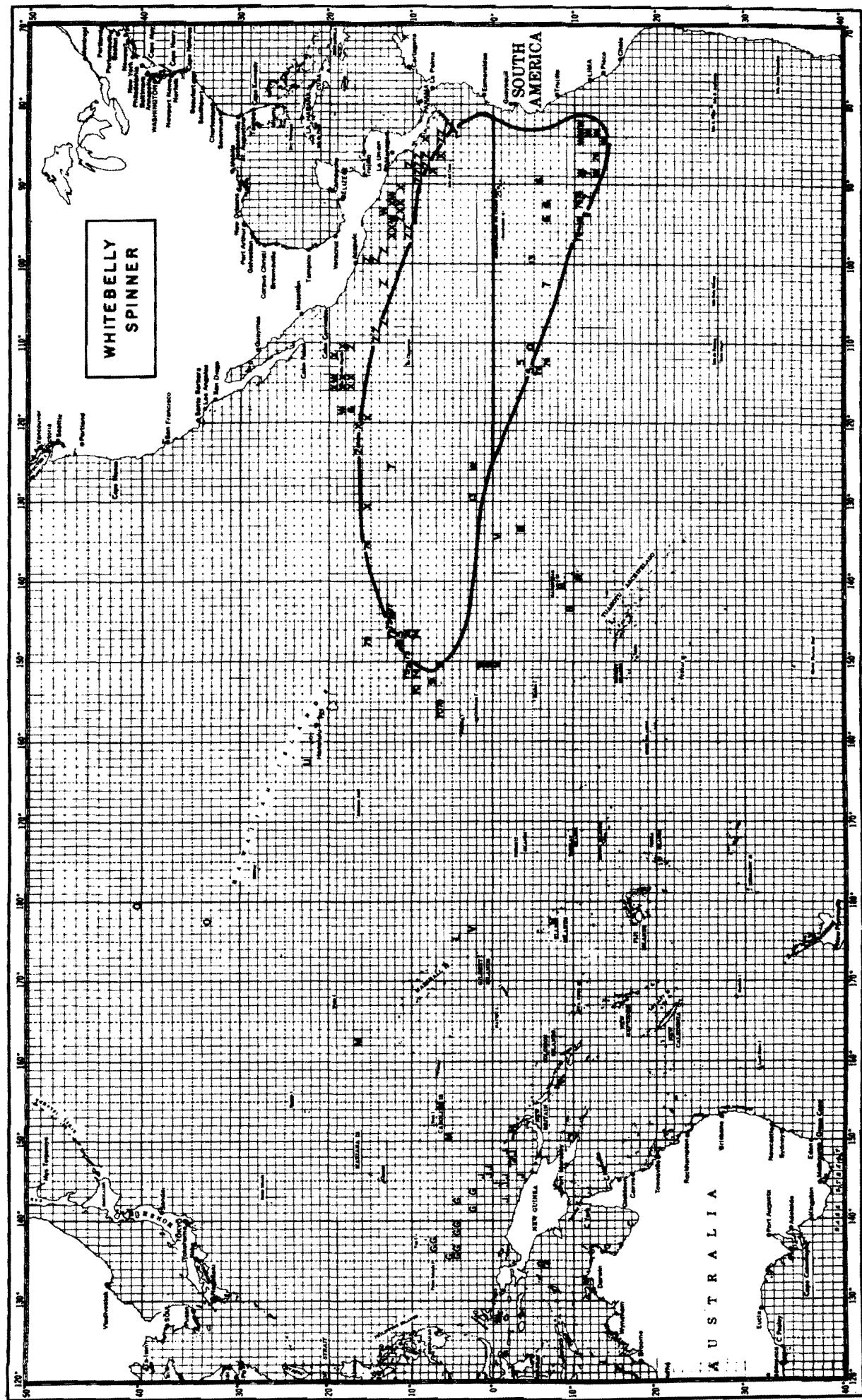


Figure 3

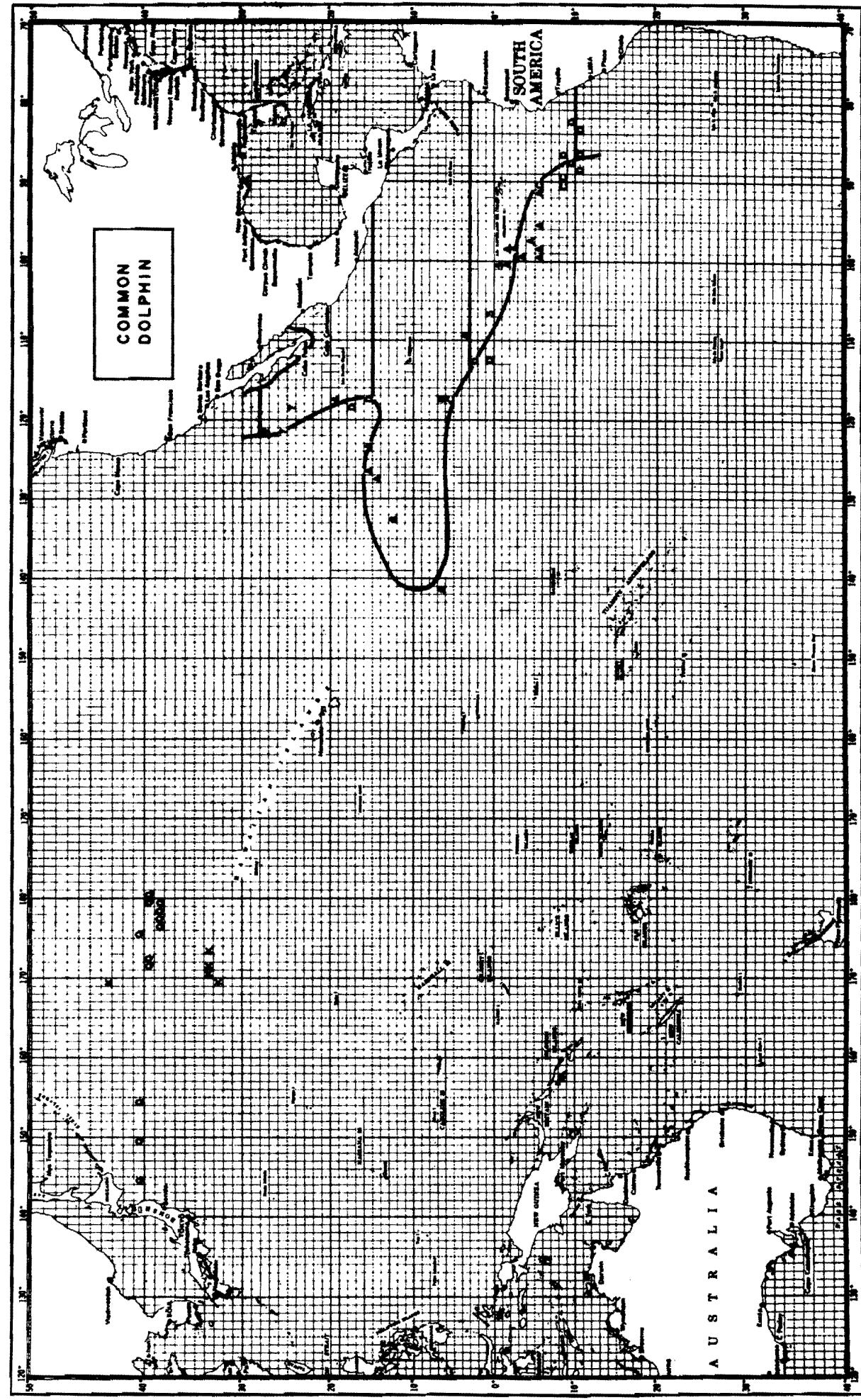


Figure 4

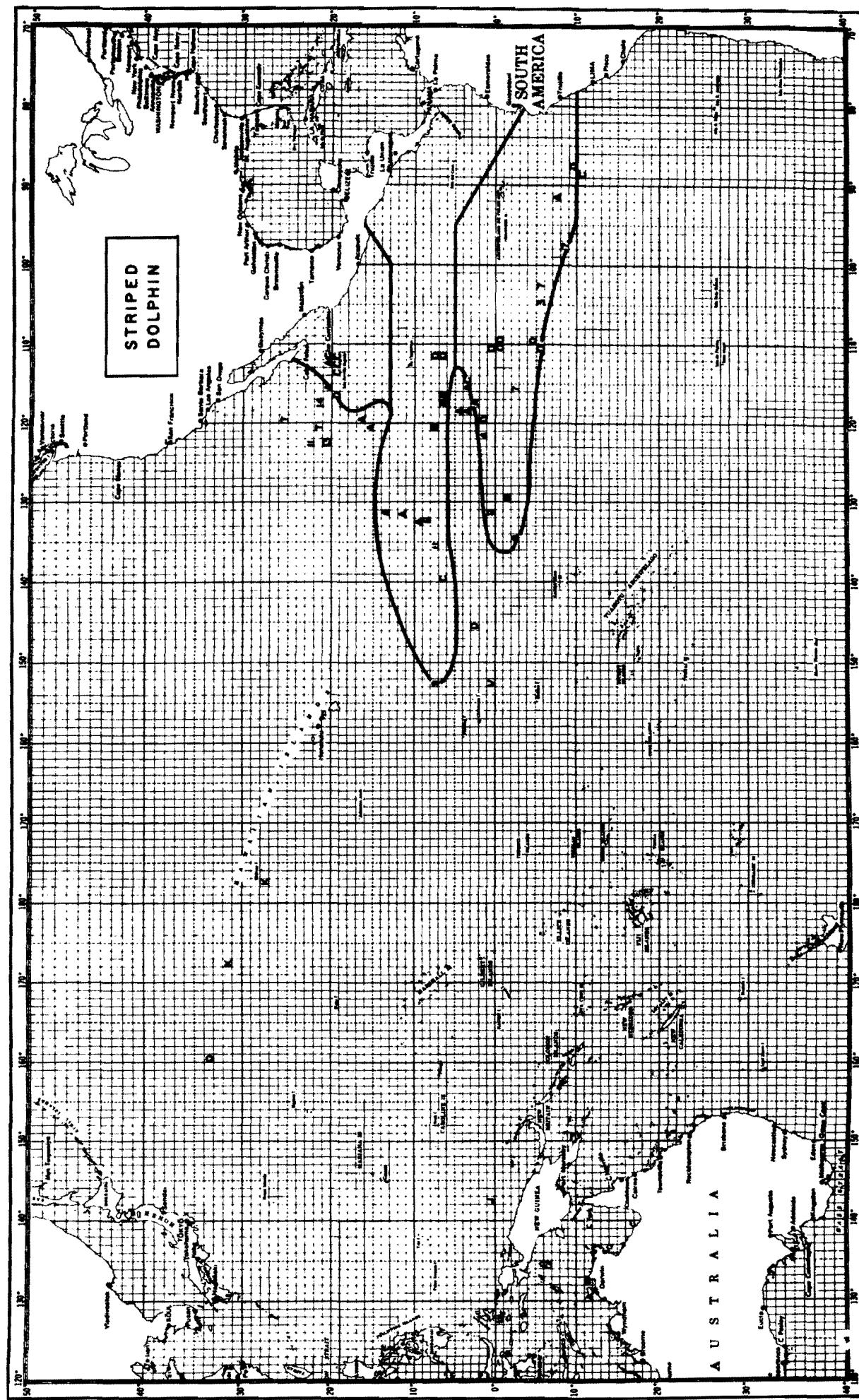
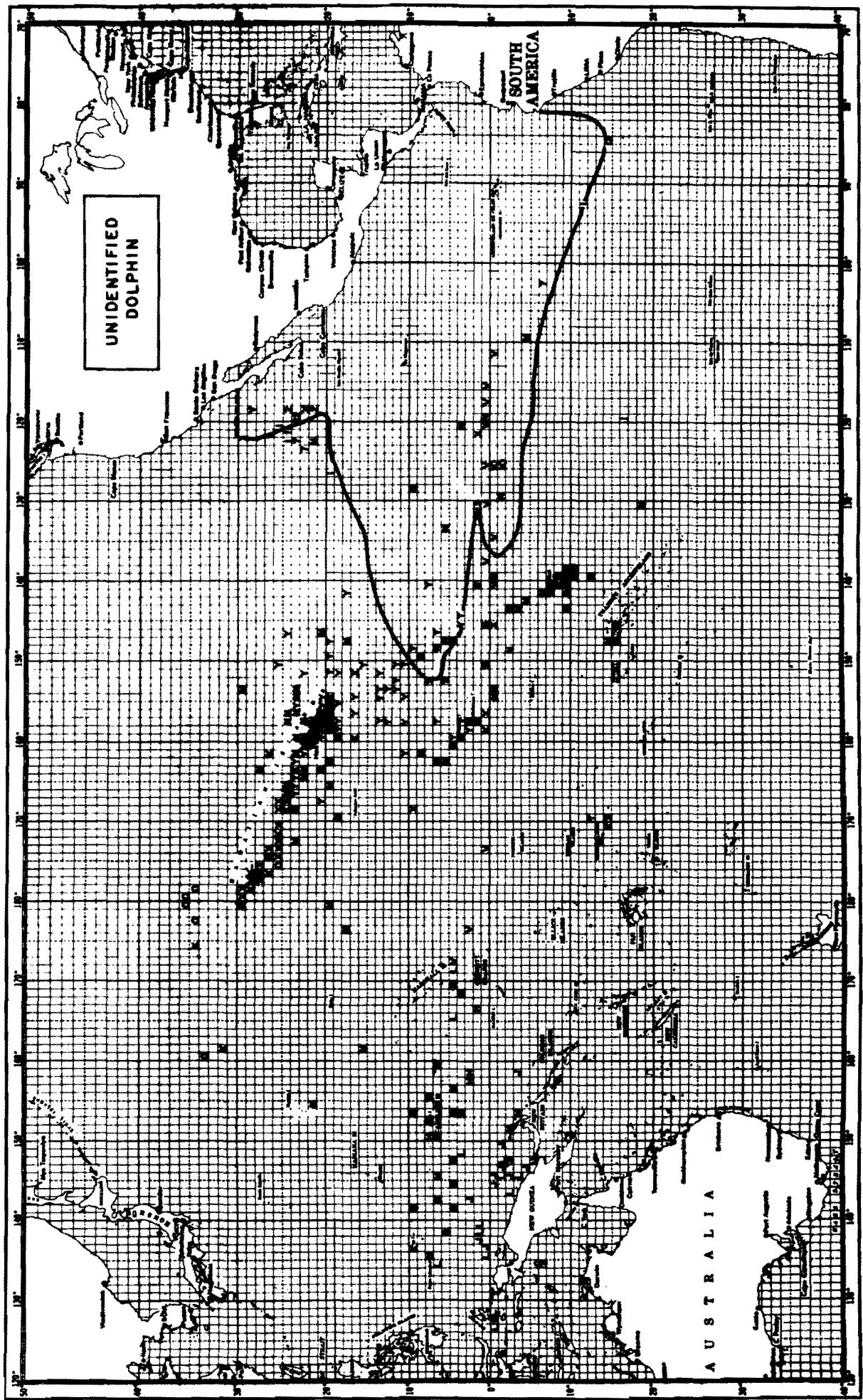


Figure 5

**Figure 6**



ANEXO 6

PARTICIPANTES

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Allen, Robin L.       | Inter-American Tropical Tuna Commission<br>La Jolla, CA 92037, USA   |
| Alverson, Franklin G. | Porpoise Rescue Foundation<br>Living Marine Resources Inc.<br>7169 Construction Court<br>San Diego, CA 92121, USA                |
| Arostegui, José A.    | Instituto de Recursos Naturales y del Ambiente<br>Km 12 1/2 Carretera Norte<br>Managua, Nicaragua                                |
| Beddington, John R.   | International Institute for Environment<br>and Development<br>10 Percy Street, London W1<br>United Kingdom                       |
| Cole, Jon S.          | Inter-American Tropical Tuna Commission<br>La Jolla, CA 92037, USA   |
| Compean, Guillermo    | Instituto Nacional de la Pesca<br>Centro de Investigaciones Pesqueras El Sauzal<br>Apartado Postal 976<br>Ensenada, B.C., México |
| Dorati, Luis A.       | Ministerio de Comercio e Industrias<br>Dirección de Recursos Marinos<br>Apartado 9658<br>Panamá, Republic de Panamá              |
| Fleischer, Luis A.    | Instituto Nacional de la Pesca<br>Departamento de Pesca<br>Alvaro Obregón 269<br>México D.F., México                             |
| Gazol, Juan J.        | Instituto Nicaragüense de la Pesca<br>Apartado Postal 2020<br>Managua, Nicaragua   |
| Justine, Gustavo      | Ministerio de Comercio e Industrias<br>Dirección de Recursos Marinos   |

Apartado 9658  
Panamá, Republic de Panamá  
Hammond, Philip S. Inter-American Tropical Tuna Commission  
La Jolla, CA 92037, USA  
Horwood, Joseph W. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food  
Fisheries Laboratory  
Lowestoft, Suffolk  
United Kingdom  
Holt, Rennie S. U.S. National Marine Fisheries Service  
Southwest Fisheries Center  
8604 La Jolla Shores Drive  
La Jolla, CA 92037, USA  
Laake, Jeffrey L. Inter-American Tropical Tuna Commission  
La Jolla, CA 92037, USA  
Lopez, Milton H. Ministerio de Agricultura y Ganadería  
San José, Costa Rica  
Martinez, Sergio Centro de Investigaciones Pesqueras  
Instituto Nicaragüense de la Pesca  
Apartado Postal 2020  
Managua, Nicaragua  
Perrin, William F. U.S. National Marine Fisheries Service  
Southwest Fisheries Center  
8604 La Jolla Shores Drive  
La Jolla, CA 92037, USA  
and  
International Whaling Commission  
The Red House, Station Road  
Histon, Cambridge CB4 4NP  
United Kingdom  
Sanchez, Jacobo Centro de Investigaciones y Desarrollo Pesquero  
Instituto Nicaragüense de la Pesca  
Km 4 1/2 Carretera Sur  
Managua, Nicaragua  
Scott, Michael D. Inter-American Tropical Tuna Commission  
La Jolla, CA 92037, USA