

INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin — Boletín

Vol. IX, No. 4

**MUSCLE GLYCOGEN AND BLOOD LACTATE IN YELLOWFIN TUNA,
THUNNUS ALBACARES, AND SKIPJACK, *KATSUWONUS PELAMIS*,
FOLLOWING CAPTURE AND TAGGING**

**EL GLICOGENO EN LOS MUSCULOS Y EL LACTATO EN LA
SANGRE DEL ATUN ALETA AMARILLA, *THUNNUS ALBACARES*,
Y DEL BARRILETE, *KATSUWONUS PELAMIS*,
DESPUES DE LA CAPTURA Y DE LA MARCACION**

by — por

IZADORE BARRETT and/y ANNE ROBERTSON CONNOR

La Jolla, California

1964

CONTENTS — INDICE
ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
INTRODUCTION.....	219
ACKNOWLEDGEMENTS.....	220
MATERIALS AND METHODS.....	220
RESULTS AND DISCUSSION.....	223
Yellowfin.....	223
Blood lactate.....	223
Muscle glycogen.....	224
Skipjack.....	225
Blood lactate.....	225
Muscle glycogen.....	227
Blood lactate levels in relation to fish length, and to the simultaneous holding of two species in the live-box.....	228
Mortalities in the live-box.....	228
Fish chased to exhaustion.....	229
SUMMARY AND CONCLUSIONS.....	229
<hr style="width: 50%; margin: 10px auto;"/>	
FIGURES — FIGURAS.....	231
<hr style="width: 50%; margin: 10px auto;"/>	
TABLES — TABLAS.....	233

VERSION EN ESPAÑOL — SPANISH VERSION

	Página
INTRODUCCION.....	253
RECONOCIMIENTO.....	254
MATERIAL Y METODOS.....	254
RESULTADOS Y DISCUSION.....	257
Atún aleta amarilla.....	257
Lactato en la sangre.....	257
Glicógeno en los músculos.....	259
Barrilete.....	261
Lactato en la sangre.....	261
Glicógeno en los músculos.....	262
Los niveles del lactato en la sangre en relación a la longitud de los peces y al retenimiento simultáneo de las dos especies en el vivero.....	264
Mortalidad en el vivero.....	264
Peces perseguidos hasta el agotamiento.....	265
SUMARIO Y CONCLUSIONES.....	265
<hr style="width: 50%; margin: 10px auto;"/>	
LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA.....	267

**MUSCLE GLYCOGEN AND BLOOD LACTATE IN YELLOWFIN TUNA,
THUNNUS ALBACARES, AND SKIPJACK, KATSUWONUS PELAMIS,
FOLLOWING CAPTURE AND TAGGING^{1,2}**

by

Izadore Barrett and Anne Robertson Connor³

INTRODUCTION

Tagging and the recovery of tagged yellowfin (*Thunnus albacares*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*) tunas are important aspects of the investigations conducted by the Inter-American Tropical Tuna Commission in the Eastern Tropical Pacific Ocean. The results of the tagging program provide information on population structures, migrations, mortality rates and growth rates of these two species.

Broadhead (1959) and Schaefer, Chatwin and Broadhead (1961) have suggested that initial mortalities following tagging are extremely high in these fish, especially in the skipjack, which has been noted for its extreme "excitability" (Tester, 1952; Nakamura, 1962; Marr, 1963). Schaefer, Chatwin and Broadhead also indicated that recovery rates of tagged tunas were strongly influenced by sea temperature at the time of tagging. Recovery rates for tunas tagged in colder waters were apparently higher than for those tagged in warmer waters.

Barrett and Connor (1962) have suggested that the difference in tagging mortality between yellowfin and skipjack may be a reflection of the more extreme physiological response of skipjack to the tagging procedure. They also postulated that species differences in the amount of lactate produced might be due to interspecific differences in muscle glycogen content. Muscle glycogen, the main precursor of blood lactate, is probably the immediate source of fuel for muscular contraction at the cellular level in fish (Drummond and Black, 1960).

The present experimental program was undertaken to study the relationship between muscular fatigue and high tagging mortalities in yellowfin and skipjack. The main experimental objectives were:

1. to extend and confirm previous observations on blood lactate accumulation;
2. to study the effect of sea temperature at the time of tagging on the lactate response; and
3. to study the initial levels of muscle glycogen in the two species, and the time course of changes in glycogen levels following handling and tagging.

¹Contribution from the Inter-American Tropical Tuna Commission and Department of Physiology, University of British Columbia, Vancouver, Canada.

²This study was supported in part by a grant-in-aid from the National Research Council of Canada.

³Research Associate, Department of Physiology, University of British Columbia.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Captain John Zuanich and the officers and crew of the M.V. *South Seas* for their considerable interest and assistance in this study. E. L. Diaz, J. Joseph and W. L. Klawe of the Commission staff helped with the experiments aboard the vessel. The analytical work, which was carried out by the authors in the Department of Physiology at the University of British Columbia, Vancouver, Canada, was supported in part by a grant-in-aid (T-7) from the National Research Council of Canada to Dr. Edgar C. Black. We are particularly indebted to Dr. Black for his continued interest and support.

MATERIALS AND METHODS

These experiments were conducted in May and June 1962 aboard a chartered commercial tuna clipper, M.V. *South Seas*, in waters off Baja California, Mexico, between Point Tosco and Cape San Lucas. The yellowfin and skipjack tunas were captured by the live-bait method and tagged, when appropriate, with dart tags. The yellowfin weighed from five to ten pounds; the skipjack from four to eight pounds. In this area during May and June, fish of both species in these size ranges are sexually immature (Orange, 1961). The techniques and the experimental rationale (that of taking samples from untagged and tagged fish of both species at capture and after various periods of holding alive in a live-box aboard the vessel) were unchanged from those reported by Barrett and Connor (1962)⁴. The season of year and the size of fish used were also the same as in the previous experiments; only the water temperatures differed. The study of blood lactate accumulation was extended by taking more samples in the early stages of recovery than had been done previously.

The live-box in which the fish were held following capture and tagging was of the standard type used to hold live bait aboard the vessel. The walls of the box were not lined with polyurethane foam for the present experiments because the previous study showed that this procedure had no particular advantages, and indeed, caused some mortalities. The box was approximately 2.6 m wide, 4.0 m long and 1.6 m deep. It held about 17 kl of sea water, which rose 38 cm into a 114 cm square coaming at the top center of the box. Sea water in the box was exchanged at approximately 2.1 kl/minute. Water temperatures in the live-box were normally between 22° and 23°C, but ranged from 17.3° to 23.1°C. The water temperature in the live-box was always the same as that of the surrounding sea.

Blood samples for lactate analysis were obtained and treated as previously described (Barrett and Connor, 1962). Samples were drawn from six fish of each species immediately after capture, and also immediately after capture and tagging. Average times and standard errors, in seconds, to take these blood samples, from capture to the withdrawal of the syringe from the heart were:

⁴Subsequent references in this report to the *previous study* pertain to that of Barrett and Connor (1962).

	<i>Average time</i>	<i>Standard error</i> ⁵	<i>Range</i>
Yellowfin: untagged	41.2	±7.7	18-71
tagged	33.3	±2.5	25-42
Skipjack: untagged	16.5	±1.1	14-20
tagged	24.5	±2.4	18-33

Blood samples were also taken from 53 untagged and 48 tagged yellowfin, and from 48 untagged and 45 tagged skipjack held in the live-box for periods up to 12 hours. The average time, for both species combined, from hooking in the sea to release in the live-box was 5.9 ± 0.2 seconds (range, 4 to 12 seconds) for the untagged fish, and 11.6 ± 0.2 seconds (range, 8 to 16 seconds) for the tagged fish. Average time to take blood samples from the fish held in the box, for the four categories combined, was 62.8 ± 3.0 seconds (range, 20 to 266 seconds) from entry of the crowder net into the live-box to removal of the syringe from the heart.

Two untagged fish of each species which had been held in the live-box for two hours were sampled after physical exhaustion. Water depth in the live-box was lowered to about one foot and each fish was chased manually until it lay exhausted on its side. The time required to produce exhaustion was recorded, and blood samples were then taken in the usual manner.

As in the previous study, protein-free filtrates from yellowfin blood samples were a pale straw color while those from skipjack were pale green. To test for interference by this green color in the analytical determination of lactate, four yellowfin and four skipjack samples, selected for their low lactate content, were carried at two different dilutions through the entire analytical procedure except for the final addition of the color-developing agent, p-hydroxydiphenyl. There were no differences among the Klett colorimeter readings for any of these samples, using the #66 filter. The green color of the skipjack blood filtrate was apparently sufficiently diluted during the procedure so as not to contribute to the optical density of the final colorimetric test solution.

The precision of the analytical method for lactate was indicated by a standard error of ± 0.5 for the average corrected value (Klett colorimeter reading of the standard minus the readings of the reagent blank) of 152.2 for 38 determinations on the standard solution containing 0.05 milligrams per 100 ml (mg%) lactic acid.

As a general procedure, muscle samples from tunas held alive in a water-filled trough were taken with a cork borer from the epaxial muscles on the left side just below the origin of the dorsal fin. Upon removal, each sample was placed at once in a freezing mixture of dry ice and 95% ethanol. The frozen sample was trimmed of skin, cut to approximately one gram and weighed to the nearest 0.05 g on an assayer's balance. Immediately after weighing, the samples were digested for at least four hours in 60% KOH solution on a boiling water bath. The resultant digests were held frozen until analyzed at U.B.C. during August and September,

⁵All deviations given in this paper represent standard error of the mean.

1962. Glycogen levels in the digests was determined by the anthrone method of Carroll, Longley and Roe (1956) after precipitation and washing in 65% ethyl alcohol. Levels of glycogen were calculated as per cent net weight and are the averages of duplicate, or more, analyses.

Muscle samples were taken from 11 yellowfin and ten skipjack immediately upon capture. This sampling, from capture of the tuna to placement of the sample in the freezing mixture, took from 14 to 18 seconds. Muscle samples were also taken from 30 each untagged and tagged yellowfin, and from 30 untagged and 28 tagged skipjack held alive for periods up to 12 hours in the live-box. The fish to be sampled from the live-box were caught and held in the crowder net singly or in groups up to five. Sampling took about 15 seconds per fish.

As many as thirty fish were held in the live-box at one time, although the usual content at the start of an experiment was about 15 fish. Fish were not fed while in the live-box. For the blood samples, both species were sometimes held simultaneously in the live-box; for the muscle samples, only one species was held at a time. Only one type of sample, either muscle or blood, was taken from an individual fish. The usual time required to put a group of untagged fish into the box was four minutes (range, one to ten minutes); times of holding given for the untagged fish are therefore only approximate. For each tagged fish, the tag number and exact time of entry into the box were noted.

When fish were released into the live-box, they at once began to swim about its circumference. When both species were held simultaneously in the box, the yellowfin seemed to have a slowing effect on the swimming speed of the skipjack (Joseph and Barrett, 1963). There was no difficulty in maintaining either species live in the live-box for 12 hours, which was the time limit set for the experiments.

To portray the changes in lactate and glycogen levels clearly, the data were grouped by appropriate periods of holding for each category, and the average lactate or glycogen level for the number of fish in this time period and category were calculated. Where 't' tests showed no significant differences between average levels in untagged and tagged fish for the same holding period, the data were combined, and new averages struck. Where the levels were significantly different, the averages for untagged and tagged fish were used separately, and are so identified in the Figures. The remaining points in all Figures represent averages for untagged and tagged fish combined. To show clearly the changes in levels of glycogen and lactate during the early recovery period, the holding times were plotted on a logarithmic scale in the Figures.

As in the previous study, certain variables could not be controlled, and must be considered as possible sources of error. They include:

1. the variable amount of exercise before capture of individual fish;
2. the variable nutritional condition before capture of individual fish;
3. the continual swimming of the tunas in the live-box during recovery;
4. the minor variations in water temperature in the live-box;
5. the re-stimulation of fish remaining in the live-box during removal of others for sampling;

6. the variable time required to take blood samples; and
7. the errors involved in the methods of lactate and glycogen determinations, and the error introduced by the method of weighing muscle samples at sea.

Where the probable effects of such variations can be predicted, they have been taken into account in the interpretation of results.

RESULTS AND DISCUSSION

Yellowfin

Blood lactate

Blood lactate levels in yellowfin tuna immediately after capture, and immediately after capture and tagging, are given in Table 1. There was no significant difference between the average lactate levels for the untagged (6.0 mg%) and the tagged fish (5.4 mg%). These levels were considerably lower than those of 22.5 mg% and 15.4 mg% previously reported for similar groups of fish. Two possible reasons for these lower values are an improvement in the blood sampling technique, and the lower water temperature at the time of sampling in the present study. These levels at capture were also generally lower than those of yellowfin seen after two hours recovery in the current experiments (Tables 2 and 3), and than those reported for other species of fish (Black, Robertson and Parker, 1961, table 8).

Inspection of individual values in Table 2, for untagged yellowfin, shows a rapid increase in blood lactate to 42 mg% at 11 minutes, a peak of 97 mg% at 65 minutes, and a subsequent decline to levels of 10-15 mg% after 1-½ hours recovery. Most fish remained at or below this latter level during the rest of the recovery period up to 12 hours. For tagged yellowfin (Table 3), the individual lactate levels rose to 65 mg% within seven minutes, reached a peak of 143 mg% at 55 minutes, dropped to 8 mg% in a single fish after 106 minutes, and remained below 20 mg% in most fish thereafter up to 12 hours. No extremely high (i.e., up to 198 mg%) lactate levels, similar to those seen in 1961, were observed.

The average blood lactates, grouped by periods of holding in the live-box, for untagged and tagged yellowfin are given in Table 4 and plotted in Figure 1. Average lactate levels (Figure 1) in tagged yellowfin rapidly reached a peak level of 67 mg% within the first time period (0-19 minutes) and remained at this level until 40-59 minutes. The average lactate levels in untagged yellowfin were significantly lower (Table 4) than in tagged fish for the first two time periods (0-39 minutes). The peak level of 67 mg% (Figure 1) was attained more slowly in untagged yellowfin, and was not reached until 40-59 minutes recovery. Thereafter, there was no significant difference between the two groups. The blood lactate declined rapidly in both untagged and tagged fish. Average values ranged from 12 to 26 mg% after 100-119 minutes recovery until the end of the experiment at 12 hours. These latter average recovery values were well above the average levels at first capture and may have been the result of increased activity in the live-box.

After about two hours, the established pattern of recovery was interrupted by a slight increase in average lactate levels. This phenomenon of uneven recovery was apparent throughout both this and the previous year's experiments, and was

also apparent in other studies by Black and his associates (especially Black *et al.*, 1962). The secondary rise in lactate may have been due to an increase in activity in the live-box after the initial effects of handling and tagging had diminished; it may also have been due to an improvement in the circulation, after an initial disruption in the transfer of metabolites from muscle to blood.

The average lactates are replotted (solid line) in Figure 2, together with the average yellowfin lactates for 1961 (broken line). The 1961 data have been re-grouped to permit direct comparison with the current data. Inspection of the two lines shows that the average lactate levels up to the peak at 40-59 minutes were lower, and the average recovery levels after 120 minutes were higher, in the current experiments at 22°-23°C than in the 1961 experiments at 26°-29°C. Times required to attain both the peak levels and the minimum levels during recovery were similar in both series of experiments. Low blood lactate levels after exercise at a low temperature have also been reported for *Salvelinus fontinalis* (Wendt, 1964).

Results of current experiments in which fish were chased to exhaustion (see below) indicate that the average lactate levels shown in Table 4 may not be maximal for these fish at these temperatures. The significant difference in lactate levels between untagged and tagged yellowfin during the early stages of recovery (Table 4) suggests that different levels of stimulation may be produced by the different procedures of handling, tagging, and chasing. A similar situation was reported by Black and Barrett (1957) who found lower lactate levels in cutthroat trout which were subjected to routine hatchery handling than in those which were fully exercised. In the 1961 experiments with tunas, these differences were not observed; the stimulation produced by handling alone at the higher temperature seemed to elicit a maximal response.

A great amount of variation was apparent in blood lactate levels among untagged and tagged yellowfin held for the same periods of time; standard errors and coefficients of variation (C) are given in Table 4. No significant correlation was found between mean blood lactate levels and coefficients of variation for either untagged or tagged fish. Blood lactate levels tended to be less variable in tagged than in untagged yellowfin held for the same time, suggesting a response closer to maximal in tagged than in untagged fish. Lactate levels were variable at first capture (C=9%) and highly variable after capture and tagging (C=42%) and after 12 hours recovery, again to a lesser extent in the tagged yellowfin (Table 4). Black *et al.* (1960, figure 2) have presented evidence to show that individual fish may differ in their response to the same amount of stimulation.

Muscle glycogen

Muscle glycogen levels in untagged yellowfin immediately after capture, and after holding in a live-box up to 12 hours are given in Table 5; those for tagged fish held similarly are given in Table 6. The experiments involving tagged yellowfin were conducted at temperatures approximately 2°C higher than those for untagged fish. A high level of variation in muscle glycogen values among individual fish within the same time groups is obvious, especially in the tagged tunas. In spite of this variation, a significant difference in average muscle glycogen levels was observed between untagged and tagged yellowfin at two hours recovery (Table 7,

Figure 1). From an average muscle glycogen level at first capture of 0.60% wet weight, the level dropped to its lowest combined average of 0.48% after 15 minutes of holding. The maximum average value was 0.91% in untagged fish at two hours, at which time the level in tagged fish was significantly lower. The possibility of a relationship between this drop in muscle glycogen level of tagged fish at two hours recovery, and the second increase in blood lactate observed during recovery, but not in the same fish (Figure 1), is noteworthy. From two hours until the end of recovery, the levels for both untagged and tagged yellowfin were the same and some 1-1/3 times greater than that at first capture.

It is possible that the combined average muscle glycogen content during the last six hours of recovery (0.80%) represents the *minimum* level present in unstimulated yellowfin. On this basis, the lower average level of 0.60% recorded at first capture suggests that even in the few seconds taken to capture and sample fish, there was at least a 25% reduction in the average glycogen level, and that at 15 minutes recovery the glycogen loss amounted to at least 40%. Black *et al.* (1962) noted a reduction in glycogen by 50% within two minutes after the commencement of strenuous exercise in rainbow trout at 11.5°C. The rate of utilization of glycogen may possibly have been even more rapid at the higher temperatures prevailing in the current experiments, with the result that the glycogen levels measured in yellowfin after 15 minutes recovery might actually represent the early stages of resynthesis rather than the minimum level.

The muscle glycogen levels reported here are somewhat higher than those recorded in many other fishes (Tomlinson and Geiger, 1962). Some values exceed the maximum level for fish (0.850 mg%) suggested by Drummond and Black (1960), although values higher than this have been noted (Dill, 1921; Tomlinson and Geiger, 1962).

A significant negative correlation ($r = -0.84$, 12 D.F.) was found between mean muscle glycogen levels in untagged and tagged yellowfin and the coefficients of variation (Table 7). This finding is contrary to that predicted by Caillouet (1964), on the basis of a survey of the literature on the subject. Glycogen levels were, on the average, most variable in groups of tunas with diminished muscle glycogen reserves. Apparent differences between untagged and tagged yellowfin in variability of muscle glycogen levels may be accounted for by this correlation.

Inspection of Figure 1 suggests the presence of an inverse relation between muscle glycogen and blood lactate levels. No relation was apparent between variability in muscle glycogen levels and variability in blood lactate levels.

Skipjack

Blood lactate

There was no significant difference between the average blood lactate levels of 13.0 mg% for skipjack immediately after capture, and 10.3 mg% for skipjack immediately after capture and tagging (Table 8). The average levels were about twice those found in similar groups of yellowfin (Table 1), but were within the range of levels reported for unexercised fish of other species (Black, Robertson and Parker, 1961, table 8). The average lactate levels after capture were about the

same in the present study as those reported for similar groups of skipjack in the previous study.

Examination of lactate levels in individual untagged skipjack held in the live box (Table 9) shows a peak level of 286 mg% after 90 minutes holding, although levels of 207 mg% and 196 mg% were attained in single fish at 17 and 27 minutes respectively. Recovery to an average level somewhat higher than that at first capture occurred in most of the fish after about two hours holding although levels below 25 mg% were found in a few untagged skipjack at 60-79 minutes. For individual tagged skipjack held in the live-box (Table 10), a peak lactate level of 273 mg% was attained in one fish at 87 minutes (this level, however, may not be representative because the fish was sampled twice). Other high levels noted were 198 mg% at 18 minutes, 201 mg% at 25 minutes and 221 mg% at 51 minutes. Recovery, at levels higher than those in fish immediately after capture and tagging, occurred in most fish after about 1-½ hours. There were no extremely high lactate levels (exceeding 300 mg%) such as were seen in the previous study.

No significant differences in average lactate levels were observed between the untagged and tagged skipjack at any time period (Table 11). However, any real differences between the two groups may have been obscured by the high degree of variability among individual fish in the same group. (This comment applies to all comparisons made in this paper between untagged and tagged fish). Average levels were calculated on the combined data.

A sharp decrease in the average lactate level in the combined data for untagged and tagged skipjack was apparent within 19 minutes (Table 11, Figure 1). The average levels continued to increase to a peak of 157 mg% at 40-59 minutes. After a drop to an average level of 66 mg% at 60-79 minutes, a second lesser peak was noted at 80-99 minutes, similar to that found during recovery in yellowfin. The average level then dropped to 48 mg% at two hours and was maintained at about 35 mg% from four hours recovery to the end of the experiment.

The 1962 average lactate levels for untagged and tagged skipjack combined (solid line) are compared, in Figure 2, with those for similar groups in the 1961 experiments (broken line), the data for which were edited as discussed in that paper. The pattern of differences between the 1962 (22°-23°C) and the 1961 skipjack data (26°-29°C) was generally similar to that noted above for yellowfin.

As shown in Figure 1, the average peak lactate level in skipjack following capture and/or tagging was more than twice that seen in yellowfin. The average levels seen during recovery were 10-15 mg% higher in the skipjack than in the yellowfin. These differences between the species were similar to those noted in the previous study.

Variation in the levels of lactate accumulation was great among skipjack in the same time group (Table 11). No significant correlation was found between mean blood lactate levels and coefficients of variation for either untagged or tagged skipjack. Variation in the lactate levels appeared to be less in the skipjack than that seen in the yellowfin, suggesting a response closer to maximal in the skipjack than in the yellowfin. The lesser variation in lactate levels in tagged skipjack than in untagged (also noted between tagged and untagged yellowfin) is consistent with

the possibility of a response in tagged fish closer to the maximal. Skipjack lactate levels at first capture were more variable ($C=38\%$) than those of yellowfin at first capture; immediately after capture and tagging, they were also more variable ($C=53\%$) than those of yellowfin treated similarly.

Muscle glycogen

Muscle glycogen levels in untagged skipjack immediately after capture and after holding in a live-box up to 12 hours are given in Table 12; those for tagged skipjack similarly held are given in Table 13. There were no important differences between the temperatures at which the fish in the two groups were held.

The combined average muscle glycogen levels for untagged and tagged skipjack (Table 14, Figure 1) remained at about the same level (0.8-0.9% wet weight) from first capture until after 15 minutes of recovery. Muscle glycogen values found later during recovery indicate that this average level at first capture may have been low (see below). The subsequent drop in average muscle glycogen level to 0.65 mg% at 30 minutes, and to 0.61% at two hours was interrupted by a transient recovery to 0.79% at one hour. After two hours recovery, the muscle glycogen was resynthesized steadily; within six hours, the average levels equalled those at first capture and, at 12 hours, surpassed them by 25%.

The individual glycogen values noted at 12 hours recovery in both untagged and tagged skipjack (Tables 12 and 13) were, almost without exception, markedly higher than those observed at first capture. As noted for yellowfin, the muscle glycogen levels in the latter stages of recovery may have been more representative of levels in unexercised fish. The lower level of muscle glycogen measured at first capture may reflect prior exercise, among other possibilities. If this was the case, then the value recorded after 15 minutes recovery would actually represent a drop in muscle glycogen during this period. Whereas initial recovery occurred after 15 minutes or possibly sooner in the yellowfin, it did not begin until after 30 minutes holding in the skipjack.

The extremely high glycogen values noted in individual skipjack were higher than those found in yellowfin, and likewise higher than those reported for other fish (Tomlinson and Geiger, 1962; Drummond and Black, 1960). Free glucose levels in skipjack muscle have been found to be about 1- $\frac{1}{2}$ times those in yellowfin, and also higher than those recorded in certain other species of fish (T. W. Kwon, personal communication). The higher levels of lactate found during recovery in the skipjack as compared to the yellowfin may have been a reflection of the higher initial levels of its precursor, muscle glycogen, in the skipjack.

A significant negative correlation ($r=-0.78$, 12 D.F.) was found between mean muscle glycogen levels in untagged and tagged skipjack and the coefficients of variation (Table 14), again in contradiction to the prediction of Caillouet (1964). Glycogen levels were, on the average, most variable in groups of skipjack with the lowest muscle glycogen reserves. Apparent differences between untagged and tagged skipjack in variability of muscle glycogen levels may be accounted for by this correlation. The muscle glycogen content of skipjack was, on the average, more variable, level for level, than that of yellowfin.

There was, generally, an inverse relation between average levels of muscle glycogen and blood lactate (Figure 1). No relation was apparent between variability in muscle glycogen levels and variability in blood lactate levels. Caillouet (1964) believes that increased variability of blood lactate levels in fishes after forced exercise may be related to great variability in initial muscle glycogen content. This does not appear to be the case for yellowfin and skipjack tunas (Tables 4, 7, 11 and 14).

Blood lactate levels in relation to fish length, and to the simultaneous holding of two species in the live-box

These experiments were not specifically designed to investigate the relationships between the lactate levels in the blood of tunas and fish length or simultaneous holding of species in the live-box. However, to investigate possible reasons for the great variability in the lactate levels, the few usable data available in respect to these variables were examined.

A direct relation between tag recovery rate and length of tunas at tagging has been reported by Schaefer, Chatwin and Broadhead (1961). To examine this relation in terms of physiological response, total length of each fish was plotted against its lactate level at the period of peak accumulation in the blood, for each species. Both the current and the 1961 data were plotted. No relationship between the two measures was found (figures not shown), but the data are too few to permit a definite conclusion.

The swimming speed of skipjack is reportedly slowed when skipjack and yellowfin are held at the same time in a live-box (Joseph and Barrett, 1963). This observation suggests the possibility of a faster recovery and/or lower lactate levels during recovery in skipjack when they are held with tunas rather than alone. Lactate levels in both species held together or alone were compared for the same recovery periods, using data for both this and the previous experiments (figures not shown). Holding the species together in the live-box had no evident effect, in either species, on the recovery rate or the lactate levels, but the data, again, are too few to permit a definite conclusion.

Mortalities in the live-box

The total numbers of fish in each of the various groups held in the live-box, and the total numbers of fish in each group which died during confinement are given in Table 15. The data are not presented to show rates of mortality, but to show differences among groups. Deaths in the yellowfin were sharply reduced from those observed in 1961; of the 162 held in this experiment, only one tagged fish died. Total skipjack mortalities were about half those recorded in the previous study and, as before, were greater in the tagged than in the untagged fish.

Although the absence of the plastic foam-lined panels (behind which some fish became trapped and died in the 1961 experiments) contributed to these reduced mortalities, other factors must have been operative. There was no great difficulty in maintaining either species in the live-box for the 12-hour limit of the experiments. In fact, three yellowfin were kept alive in the box for 60 hours, and

two skipjack for 18 hours. Further, no hemorrhagic or bruised areas were noted in either species, regardless of the length of time held in the live-box. Although differences in behavior between the two species were apparent, the behavior of the skipjack during handling was not as violent as that seen in the previous experiment.

The mortality, lower in 1962 than in the previous study, may be a reflection of the difference in water temperatures between the two series of experiments. The higher oxygen content of colder waters might reduce the dependence of the fish on anaerobic metabolism, and hence less lactate would be produced, as was, in fact, the case (Figure 2). An additional effect of the lower temperatures would be a slower diffusion rate of lactate from muscle to blood (Johnson, *et al.*, 1945), which would tend to eliminate extreme lactate concentrations in the blood (Tables 2, 3, 9 and 10).

During both these and the previous series of experiments, normal tagging operations were conducted concurrently aboard the vessels (Broadhead, 1959). The percentages of tagged yellowfin recovered per unit of fishing effort were clearly higher for those fish tagged in the colder waters, during the current experiments (B. D. Fink, personal communication). The lower lactate levels, the lower mortalities in the live-box, and the high per cent recovery of tagged fish in the recent experiments thus may be related to the colder water.

Fish chased to exhaustion

There was an increase, with time, in the blood lactate level at exhaustion in both species (Table 16). The yellowfin and skipjack lactate maxima (184 and 321 mg% respectively) were higher than any observed in the holding experiments (Tables 2, 3, 9 and 10). The time required to produce exhaustion was longer for each species in the current cold water experiments than in 1961. Wendt (1964) reported a similar observation for *Salvelinus fontinalis*; fish exercised at 15°C were completely exhausted after 15 minutes while those similarly treated at 5°C were not fully exhausted after 15 minutes. These prolonged times for tunas were still less than those required to produce primary exhaustion in Kamloops trout at 11.5°C (Black, 1957). It appears that colder water temperatures may increase the resistance of fish to fatigue for reasons similar to those which reduced mortality in these experiments (see above).

SUMMARY AND CONCLUSIONS

The general pattern of changes in blood lactate levels in both species following handling and tagging was the same as that reported in the previous study. The peak level of lactate occurred approximately $\frac{3}{4}$ of an hour after a remarkably short period of stimulation (less than 16 seconds); recovery was rapid and paralleled that seen in the previous year. However, the peak lactate levels noted in the current experiments were lower, and the recovery levels were slightly higher, than those in 1961. For the first time a significant difference in lactate level between untagged and tagged fish was observed in yellowfin during the early stages of recovery. These differences in lactate response between the two years are probably associated with the lower temperatures at which the present experiments were conducted. The

lactate response to exercise in tunas was again noted to be more rapid than that reported in Salmonoids (Black, Robertson and Parker, 1961). The greater lactate response in skipjack than in yellowfin, which was noted in the previous experiments, was also confirmed.

As suggested by Barrett and Connor (1962), higher levels of lactate in skipjack were found to be related to higher initial levels of the precursor, muscle glycogen. The initial levels of glycogen in both yellowfin and skipjack were higher than those reported for many other species of fish (Tomlinson and Geiger, 1962). The high glycogen content of tuna muscle may be of significance in relation to the normally high level of activity of these fish, although other sources of energy (e. g., fat) may also be important. Following handling and tagging, the initial levels of glycogen dropped rapidly in both species during the period in which lactate was accumulating in the blood. Resynthesis of glycogen began within at least 15 minutes in yellowfin and 30 minutes in skipjack. At two hours recovery, the glycogen level was significantly higher in untagged than in tagged yellowfin although no differences between untagged and tagged skipjack were noted. Glycogen levels in both species were higher during the latter part of recovery than at initial capture. In contrast, Black *et al.* (1960, 1963) have noted that muscle glycogen was not restored in unfed, immature trout within 24 hours after severe exercise. These new glycogen data corroborate inferences concerning fatigue in tunas previously drawn from lactate data alone.

Several differences which were observed between the results of the present experiments and those of the previous year are attributable to colder water temperatures. These differences include the lower initial levels of lactate; the lower lactate levels following tagging and handling; the lower mortalities in the live-box; and the longer times required to produce exhaustion by chasing. The previous study showed that handling alone was sufficient stimulus to produce a maximum lactate response in both species at the higher temperatures. By comparison, the present experiments indicate that the response of yellowfin to handling and tagging, while submaximal, is nevertheless greater than that due to handling alone. Thus, in yellowfin at least, a high degree of speed and skill in tagging in colder waters may minimize the adverse physiological effects of the procedure, and contribute to increased tag returns.

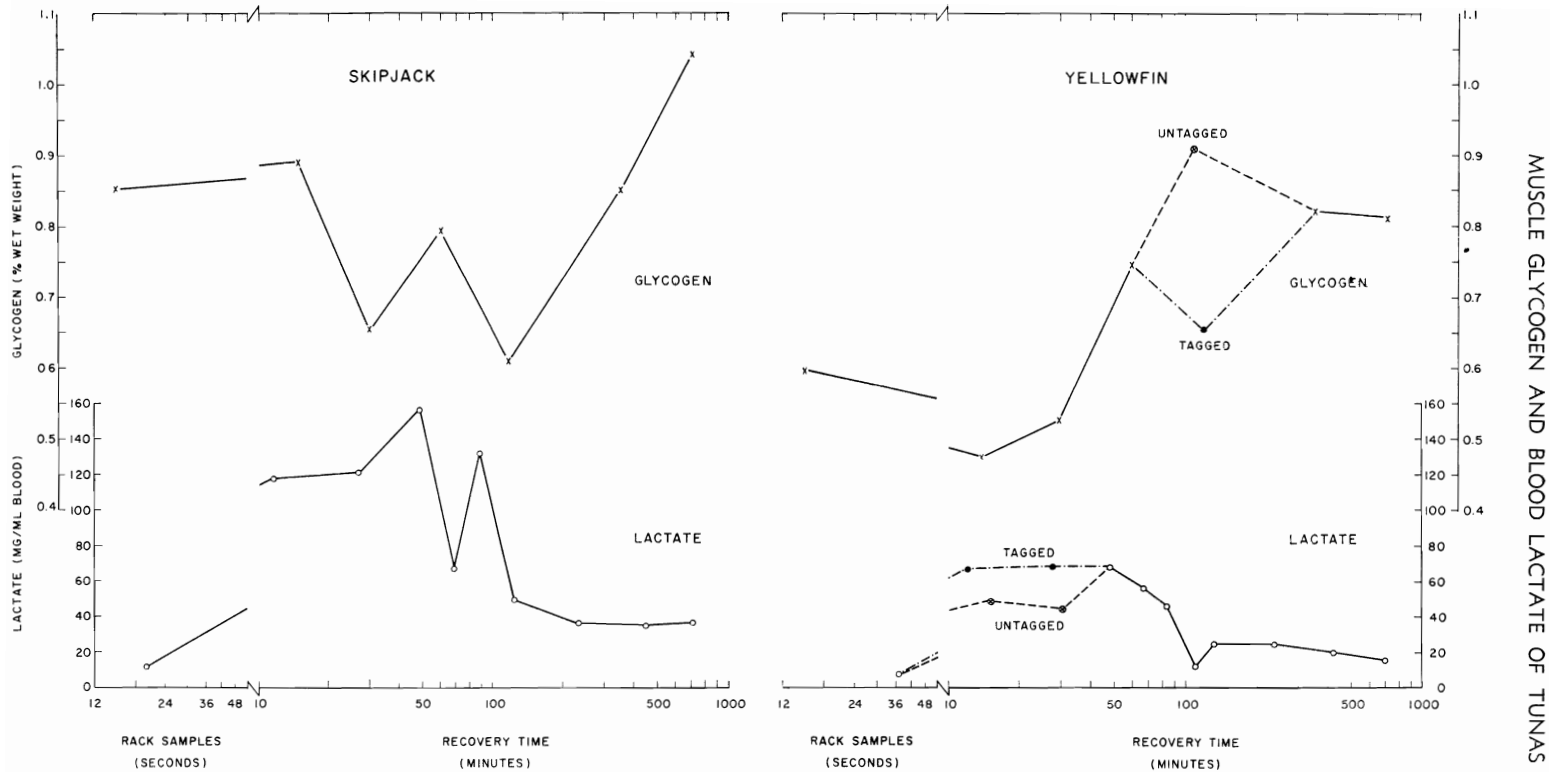


FIGURE 1. Changes in muscle glycogen and blood lactate in yellowfin and skipjack tunas following capture, and tagging.

FIGURA 1. Cambios en el glicógeno muscular y en el lactato de la sangre en los atunes aleta amarilla y barrilete, después de la captura y la marcación.

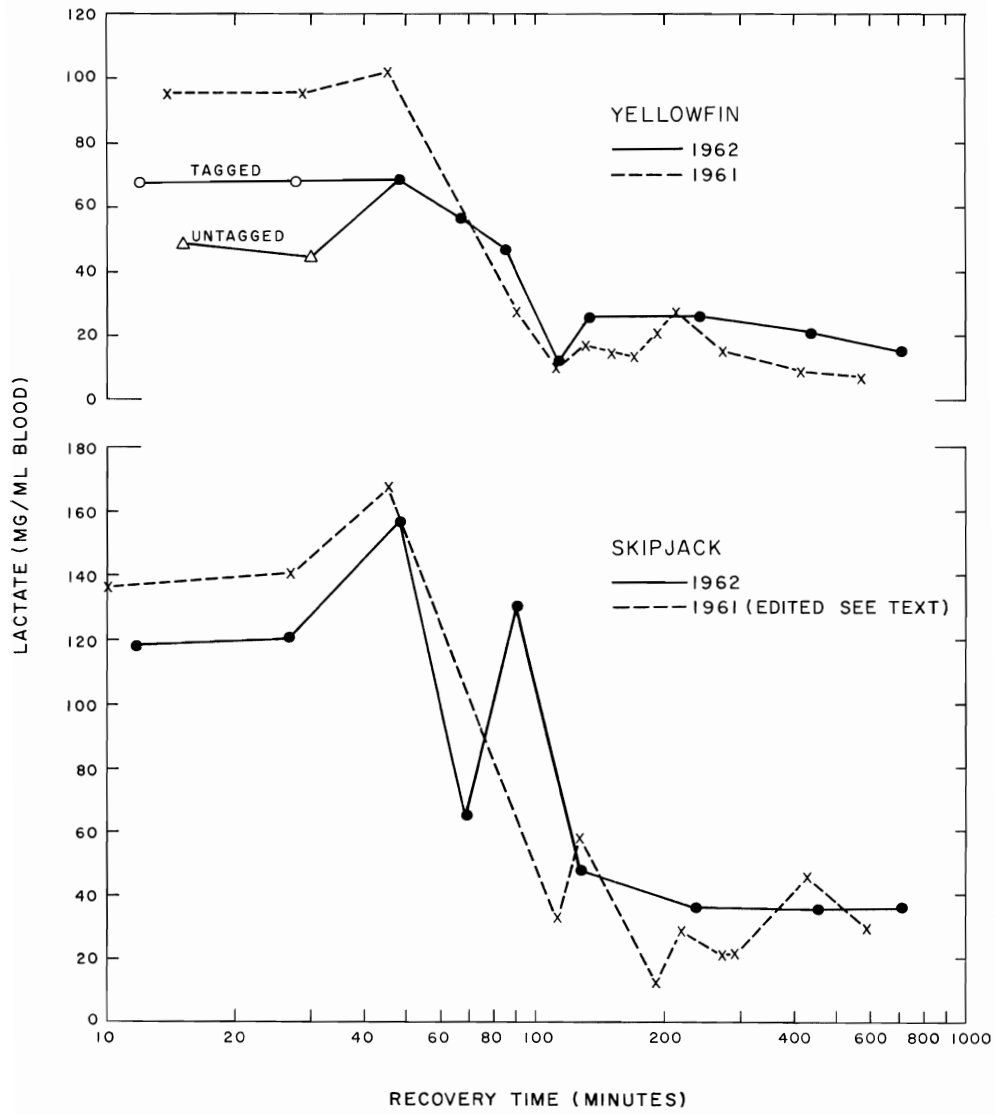


FIGURE 2. Blood lactate in yellowfin and skipjack tunas held in the live-box, 1961 and 1962.

FIGURA 2. El lactato en la sangre de los atunes aleta amarilla y barrilete, retenidos en el vivero (1961 y 1962).

TABLE 1. Blood lactate in yellowfin tuna at capture, and after capture and tagging (water temperature, 23.0°C).

TABLA 1. El lactato en la sangre de los atunes aleta amarilla en el momento de la captura y después de la captura y de la marcación (temperatura del agua, 23.0°C).

At capture			After capture and tagging		
Total length (mm.)	Time (seconds)	Blood lactate (mg.%)	Total length (mm.)	Time (seconds)	Blood lactate (mg.%)
En el momento de la captura			Después de la captura y la marcación		
Longitud total (mm.)	Tiempo (en segundos)	Lactato en la sangre (mg.%)	Longitud total (mm.)	Tiempo (en segundos)	Lactato en la sangre (mg.%)
502-566	18	5.5	524	25	2.7
"	27	5.6	526	30	5.2
"	36	5.7	497	32	9.4
"	44	6.4	555	33	4.4
"	51	6.7	525	37	3.6
"	71	19.7*	502	43	7.1
Average \pm S.E.		6.0 \pm 0.24			5.4 \pm 1.0
Promedio \pm S.E.					

*This value statistically eliminated from average ($> \bar{X} + 2\sigma$)

*Este valor fué estadísticamente eliminado del promedio ($> \bar{X} + 2\sigma$)

TABLE 2. Blood lactate in yellowfin tuna held in live-box after capture.

TABLA 2. El lactato en la sangre de los atunes aleta amarilla mantenidos en el vivero después de la captura.

Time in live-box (minutes)	Water temperature (°C)	Total length (mm.)	Blood lactate (mg.%)	Remarks
Tiempo en el vivero (minutos)	Temperatura del agua (°C)	Longitud total (mm.)	Lactato en la sangre (mg.%)	Comentarios
11	22.8	511	42.4	Held 2 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos
13	22.1-21.7	536	45.0	
17	22.8	469	49.0	
17	22.1-21.7	591	55.1	
19	"	534	52.6	
22	22.8	456	39.9	
25	22.1-21.7	559	49.9	
28	22.8	518	29.0	
30	"	554	49.4	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
31	22.1-21.7	549	29.3	
32	22.8	519	54.4	
32	22.6	481	21.2	
33	22.8	508	56.0	
35	22.6	539	58.6	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
36	22.8	434	65.0	Held 3 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 3 minutos
41	22.8	515	67.4	Damaged eye—Ojo dañado
42	22.6	569	49.4	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
54	22.8	554	14.7	
57	22.6	507	89.6	
62	"	515	81.4	
63	"	519	49.0	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
64	22.8	559	86.0	
65	22.6	484	97.1	Damaged eye—Ojo dañado
73	"	486	23.3	
75	22.8	567	77.6	
76	22.6	496	6.8	
81	"	510	19.1	Struggled in crowder Luchó en la red de agrupamiento
86	22.1-21.7	583	63.4	Violent struggle in crowder Luchó violentemente en la red de agrupamiento
88	"	593	15.2	

Table 2, No. 2

Time in live-box (minutes)	Water temperature (°C)	Total length (mm.)	Blood lactate (mg.%)	Remarks
93	22.6	489	9.1	
112	22.3	543	11.3	
113	22.3	532	13.5	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos
115	"	479	11.2	
120	"	554	26.6	Held 2 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos
130	"	552	8.7	
135	"	528	54.9	Struggled in crowder Luchó en la red de agrupamiento
233	22.8	440	25.3	Held 2 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos
236	22.6	599	33.0	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
237	"	553	14.3	Struggled in crowder Luchó en la red de agrupamiento
241	"	465	10.6	
244	"	472	7.8	
248	"	526	48.8	
252	"	511	38.0	
253	"	551	83.2	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
435	22.8	513	8.0	
450	"	540	13.9	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
458	"	586	30.3	
699	22.7-23.1	532	3.4	
703	"	561	4.7	
715	"	597	21.9	
718	"	497	8.7	
721	"	532	5.8	
728	"	513	8.3	

TABLE 3. Blood lactate in yellowfin tuna held in live-box after capture and tagging.

TABLA 3. El lactato en la sangre de los atunes aleta amarilla mantenidos en el vivero después de la captura y de la marcación.

Time in live-box (minutes)	Water temperature (°C)	Total length (mm.)	Blood lactate (mg.%)	Remarks
Tiempo en el vivero (minutos)	Temperatura del agua (°C)	Longitud total en (mm.)	Lactato en la sangre (mg.%)	Comentarios
7	22.8	468	64.7	
12	"	520	61.8	Damaged eye—Ojo dañado
17	"	455	75.3	
23	"	499	67.2	Held 3 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 3 minutos
24	22.1-21.7	542	71.1	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
25	22.8	458	81.2	
27	"	569	62.2	
27	"	510	85.8	
27	22.6	474	96.2	
28	22.8	500	58.6	
29	22.6	560	47.6	
32	"	472	63.3	
35	"	487	51.5	
44	22.8	530	64.6	
45	22.6	545	44.6	Damaged eye—Ojo dañado
46	22.8	530	77.6	
55	22.6	526	142.8	
61	22.8	515	37.1	
63	22.6	508	32.4	
65	"	489	104.4	
75	"	501	32.3	
80	"	470	96.6	Struggled in crowder Luchó en la red de agrupamiento
80	22.1-21.7	598	28.2	Struggled in crowder Luchó en la red de agrupamiento
84	22.6	518	74.5	
85	22.1-21.7	606	71.2	
90	22.6	450	46.5	
106	22.3	553	7.7	Struggled slightly in crowder Luchó ligeramente en la red de agrupamiento
115	"	620	14.9	
121	"	538	14.0	
137	"	500	31.3	Held 2 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos
139	"	440	35.4	

Table 3, No. 2

Time in live-box (minutes)	Water temperature (°C)	Total length (mm.)	Blood lactate (mg.%)	Remarks
148	"	565	10.4	Held 2 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos
233	22.6	552	13.3	
235	22.6	537	5.8	
238	"	588	9.9	
243	"	546	19.2	
246	"	526	16.0	Struggled in crowder Luchó en la red de agrupamiento
250	"	514	37.5	
424	22.8	514	19.2	Violent struggle in crowder Luchó violentamente en la red de agrupamiento
426	"	541	20.0	
431	"	564	28.8	
435	"	509	31.5	Held 2 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos
443	"	503	12.6	
697	22.7-23.1	543	14.8	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
706	"	521	21.6	Struggled in crowder Luchó en la red de agrupamiento
710	"	524	22.9	Held 2 minutes in crowder; struggled Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos; luchó
716	"	498	8.7	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
719	"	491	48.4	Struggled in crowder Luchó en la red de agrupamiento

TABLE 4. Average blood lactates, by periods of time held in live-box, for untagged and tagged yellowfin, separately and combined.

TABLA 4. Promedio de lactato en la sangre del atún aleta amarilla marcado y sin marcar, separado y combinado, retenido en el vivero, por períodos de tiempo.

Untagged - Sin marcar					Tagged - Marcado					Untagged vs. tagged	Combined Combinado	Combined Combinado
Time period held (minutes)	No. of fish	Aver. lactate (mg.%)	Stand. error	Coef. of var.	Time period held (minutes)	No. of fish	Aver. lactate (mg.%)	Stand. error	Coef. of var.	P	Aver. lactate (mg.%)	Aver. time held (minutes)
Período de tiempo retenidos (minutos)	No. de peces	Prom. de lactato (mg.%)	Error est.	Coef. de var.	Período de tiempo retenidos (minutos)	No. de peces	Prom. de lactato (mg.%)	Error est.	Coef. de var.	P	Prom. de lactato (mg.%)	Prom. de tiempo retenidos (minutos)
11-19	5	48.8	2.1	10%	7-17	3	67.3	3.3	9%	<0.01*	—	—
22-36	10	45.3	4.4	31%	23-35	10	68.5	4.6	21%	<0.005*	—	—
41-57	4	55.3	13.7	50%	44-55	4	82.4	18.4	45%	>0.3	68.8	48
62-76	7	60.2	12.0	53%	61-75	4	51.6	15.3	60%	>0.5	57.0	67
81-93	4	26.7	10.8	80%	80-90	5	63.4	10.6	37%	<0.1; >0.05	47.1	85
112-115	3	12.0	0.6	9%	106-115	2	11.3	2.6	32%	>0.5	11.7	112
120-135	3	30.1	11.0	64%	121-148	4	22.8	5.4	47%	>0.5	25.9	134
233-253	8	32.6	8.2	72%	233-250	6	17.0	4.1	60%	>0.2	26.5	242
435-458	3	17.4	5.5	54%	424-443	5	22.4	3.1	31%	>0.4	20.5	438
699-728	6	8.8	2.5	70%	697-719	5	23.3	6.0	58%	>0.5	15.4	712

*Significant—significante

TABLE 5. Muscle glycogen of yellowfin tuna at capture, and after holding in live-box.

TABLA 5. El glicógeno en los músculos de los atunes aleta amarilla a la captura, y después de haber sido mantenidos en el vivero.

	Time held (minutes) — Tiempo de mantenimiento (minutos)						
	At capture A la captura	13	29	59	121	359	721
Temperature (°C) Temperatura (°C)	20.4	19.8	19.8-19.2	19.8-19.0	19.7-18.8	19.7-18.8	19.7-17.3
Number of samples Número de muestras	11	5	5	5	5	5	5
Length range (mm.) Amplitud de longitudes (mm.)	540-633	536-589	568-598	541-590	508-669	557-629	558-600
Glycogen (% wet weight) Glicógeno (% peso húmedo)	0.388	0.410	0.354	0.558	0.831	0.785	0.594
	0.425	0.423	0.493	0.571	0.889	0.815	0.743
	0.503	0.490	0.496	0.676	0.895	0.876	0.854
	0.533	0.524	0.597	0.802	0.930	0.917	0.857
	0.560	0.750	0.753	0.815	0.998	1.068	0.869
	0.580						
	0.641						
	0.683						
	0.686						
	0.754						
	0.795						

TABLE 6. Muscle glycogen of yellowfin tuna held in live-box after capture and tagging.

TABLA 6. El glicógeno en los músculos de los atunes aleta amarilla mantenidos en el vivero después de la captura y de la marcación.

	Time held (minutes) — Tiempo de mantenimiento (minutos)					
	15	30	60	120	359	719
Temperature (°C) Temperatura (°C)	21.3	21.3	21.3-20.7	21.0	21.0-21.3	21.0-21.3
Number of samples Número de muestras	5	5	5	5	5	5
Length range (mm.) Amplitud de longitudes (mm.)	515-604	436-584	584-599	492-568	442-532	460-537
Glycogen (% wet weight) Glicógeno (% peso húmedo)	0.170	0.109	0.731	0.504	0.488	0.767
	0.355	0.397	0.734	0.634	0.664	0.770
	0.435	0.593	0.785	0.651	0.784	0.820
	0.505	0.708	0.877	0.677	0.835	0.852
	0.713	0.773	0.916	0.792	0.981	0.964

TABLE 7. Average muscle glycogen, by periods of time held in the live box, for untagged and tagged yellowfin, separately and combined.

TABLA 7. Promedio del glicógeno en los músculos del atún aleta amarilla marcado y sin marcar, separado y combinado, retenido en el vivero, por períodos de tiempo.

Untagged - Sin marcar					Tagged - Marcado					Untagged vs tagged Sin marcar vs marcado	Combined Combinado
Time held (minutes)	No. of fish	Aver. glycogen (% wet wt.)	Stand. error	Coef. of var.	Time held (minutes)	No. of fish	Aver. glycogen (% wet wt.)	Stand. error	Coef. of var.	P	Aver. glycogen (% wet wt.)
Tiempo re- tenido (minutos)	No. de peces	Prom. de glicógeno (% p. humedo)	Error est.	Coef. de var.	Tiempo ret. (minutos)	No. de peces	Prom. de glicógeno (% p. humedo)	Error est.	Coef. de var.	P	Promedio de glicógeno (% p. humedo)
At capture	11	0.597	0.039	22%	—	—	—	—	—	—	—
13	5	0.519	0.062	27%	15	5	0.436	0.089	46%	>0.4	0.478
29	5	0.539	0.067	28%	30	5	0.516	0.120	52%	>0.5	0.527
59	5	0.684	0.055	18%	60	5	0.809	0.037	10%	>0.1	0.746
121	5	0.909	0.027	7%	120	5	0.652	0.046	16%	<0.005*	—
359	5	0.892	0.050	12%	359	5	0.750	0.083	25%	>0.1	0.821
721	5	0.783	0.052	15%	719	5	0.835	0.036	10%	>0.4	0.809

*Significant—significante

TABLE 8. Blood lactate in skipjack at capture, and after capture and tagging (water temperature, 23.0°C).

TABLA 8. El lactato en la sangre de los barriletes en el momento de la captura, y después de la captura y de la marcación (temperatura del agua, 23.0°C).

At capture			After capture and tagging		
Total length (mm.)	Time (seconds)	Blood lactate (mg.%)	Total length (mm.)	Time (seconds)	Blood lactate (mg.%)
En el momento de la captura			Después de la captura y la marcación		
Longitud total en (mm.)	Tiempo (en segundos)	Lactato en la sangre (mg.%)	Longitud total en (mm.)	Tiempo (en segundos)	Lactato en la sangre (mg.%)
482-539	14	12.8	537	18	5.4
"	15	7.2	523	20	18.2
"	15	18.6	494	21	15.6
"	15	19.9	485	25	12.4
"	20	8.4	486	30	6.8
"	20	11.4	511	33	3.3
Average \pm S.E.		13.0 \pm 2.1	Average \pm S.E.		10.3 \pm 2.4
Promedio \pm S.E.			Promedio \pm S.E.		

TABLE 9. Blood lactate in skipjack held in live-box after capture.

TABLA 9. El lactato en la sangre de de los barriletes mantenidos en el vivero después de la captura.

Time in live-box (minutes)	Water temperature (°C)	Total length (mm.)	Blood lactate (mg.%)	Remarks
Tiempo en el vivero (minutos)	Temperatura del agua (°C)	Longitud total (mm.)	Lactato en la sangre (mg.%)	Comentarios
4	22.8	459	83.8	
10	"	496	147.7	Held 2 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos
14	22.1-21.7	548	133.5	
17	22.8	496	206.8	Held 2 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos
21	"	462	103.6	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
21	22.1-21.7	498	94.3	
25	"	543	69.0	
26	22.8	452	87.2	Held 3 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 3 minutos
27	"	464	195.4	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
34	"	488	87.6	
35	"	452	93.9	
39	22.6	494	116.2	
41	"	462	165.9	
44	22.8	498	104.8	
45	22.6	495	151.0	Struggled in crowder Luchó en la red de agrupamiento
46	22.8	534	148.0	Violent struggle in cradle Lucha violenta en la cepto
57	22.6	479	184.0	
62	"	504	23.5	
67	"	521	85.7	
67	"	417	194.2	
70	22.8	509	49.4	Violent struggle in cradle Lucha violenta en la cepto
70	22.6	479	23.7	
75	"	524	14.5	
78	"	427	15.6	
87	21.9-20.9	514	134.5	
89	"	457	285.7	
90	22.6	486	109.8	
91	22.1-21.7	546	31.4	
119	22.3	502	23.5	
123	"	524	113.2	

Table 9, No. 2

Time in live-box (minutes)	Water temperature (°C)	Total length (mm.)	Blood lactate (mg.%)	Remarks
128	"	588	65.2	Struggled in crowder Luchó en la red de agrupamiento
130	"	564	48.2	Violent struggle in cradle Lucha violenta en la cepo
136	22.3	509	24.4	
138	"	504	64.4	Held 1 minute in crowder ; struggled Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto ; luchó
141	"	553	28.2	
235	22.8	442	22.3	Violent struggle in cradle Lucha violenta en el cepo
237	"	486	38.9	
241	"	503	21.9	
246	"	485	24.2	
439	"	516	52.3	Violent struggle in cradle Lucha violenta en el cepo
443	"	499	13.0	
446	"	446	62.7	
449	"	502	47.2	
701	22.7-23.1	491	18.8	
704	"	457	49.2	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
713	"	545	66.7	Held 2 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos
723	"	506	47.3	Held 2 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos
729	"	497	55.8	

TABLE 10. Blood lactate in skipjack held in live-box after capture and tagging.

TABLA 10. El lactato en la sangre de barriletes mantenidos en el vivero después de la captura y de la marcación.

Time in live-box (minutes)	Water temperature (°C)	Total length (mm.)	Blood lactate (mg.%)	Remarks
Tiempo en el vivero (minutos)	Temperatura del agua (°C)	Longitud total en (mm.)	Lactato en la sangre (mg.%)	Comentarios
5	22.8	468	58.8	
6	22.1-21.7	531	89.6	
7	22.8	511	86.3	
10	22.1-21.7	534	101.0	
12	22.8	495	125.2	
14	"	439	83.2	
15	22.1-21.7	528	93.6	
18	22.6	497	198.5	Struggled in crowder Luchó en la red de agrupamiento
19	22.8	467	178.2	
21	21.9-20.9	499	101.4	
22	22.8	467	116.0	
23	21.9-20.9	475	154.9	
25	"	537	201.2	
26	"	521	88.8	
28	22.8	531	187.0	
47	22.6	448	186.5	
49	22.8	505	172.2	
49	22.6	464	82.3	
50	22.8	452	165.9	Violent struggle in crowder Luchó violentamente en la red de agrupamiento
51	22.6	528	221.3	
51	"	517	168.8	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
52	"	501	131.6	Held 1 minute in crowder; struggled Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto; luchó
67	22.8	517	72.7	
67	22.6	512	113.8	
82	"	431	132.4	
87	22.1-21.7	504	273.3*	Sampled twice into same syringe Muestreado dos veces en la misma jeringa
97	22.3	447	93.1	Held 2 minutes in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 2 minutos
108	"	576	31.2	
112	"	531	39.5	Violent struggle in crowder Luchó violentamente en la red de agrupamiento

Table 10, No. 2

Time in live-box (minutes)	Water temperature (°C)	Total length (mm.)	Blood lactate (mg.%)	Remarks
119	"	498	39.4	
133	"	493	51.2	
227	22.8	484	11.5	
229	"	455	15.2	
230	"	484	84.8	
237	"	479	81.5	Held 1 minute in crowder Retenido en la red de agrupamiento por 1 minuto
239	22.8	478	44.8	
242	"	457	12.7	
468	"	513	15.8	
470	"	454	26.2	
472	"	456	24.6	
696	22.7-23.1	523	8.4	
708	"	464	27.1	
711	"	547	19.2	
724	"	502	121.2*	
726	"	534	32.9	

*These values were not used for the calculation of the averages in Table 8 (see text).

*Estos valores no se usaron en el cálculo de los promedios en la Tabla 8 (véase el texto).

TABLE 11. Average blood lactates, by periods of time held in live-box, for untagged and tagged skipjack, separately and combined.

TABLA 11. Promedio de lactato en la sangre del barrilete marcado y sin marcar, separado y combinado, retenido en el vivero, por períodos de tiempo.

Untagged — Sin marcar					Tagged — Marcado					Untagged vs tagged Sin marcar vs marcado	Combined Combinado	Combined Combinado
Time period held (minutes)	No. of fish	Aver. lactate (mg.%)	Stand. error	Coef. of var.	Time period held (minutes)	No. of fish	Aver. lactate (mg.%)	Stand. error	Coef. of var.	P	Aver. lactate (mg.%)	Aver. time held (minutes)
Período de tiempo retenidos (minutos)	No. de peces	Prom. de lactato (mg.%)	Error est.	Coef. de var.	Período de tiempo retenidos (minutos)	No. de peces	Prom. de lactato (mg.%)	Error est.	Coef. de var.	P	Prom. de lactato (mg.%)	Prom. de tiempo retenidos (minutos)
4-17	4	129.4	37.4	58%	5-19	9	112.7	14.6	39%	>0.5	117.9	12
21-39	8	105.9	12.8	34%	21-28	6	141.6	17.3	30%	>0.1	121.2	27
41-57	5	150.7	11.7	17%	47-52	7	161.2	15.3	25%	>0.5	156.9	48
62-78	7	58.1	22.8	104%	67	2	93.2	14.5	22%	>0.4	65.9	69
87-91	4	140.3	46.0	66%	82-97	2	112.8	13.9	17%	>0.05	131.2	89
119-141	7	52.4	11.3	57%	108-133	4	40.3	3.6	18%	>0.4	48.0	126
235-246	4	26.8	3.5	26%	227-242	6	41.8	12.8	75%	>0.4	35.8	236
439-449	4	43.8	9.3	42%	468-472	3	22.2	2.6	21%	>0.1	34.5	455
701-729	5	47.6	7.1	33%	696-726	4	21.9	4.6	42%	>0.03	36.2	712

TABLE 12. Muscle glycogen of skipjack at capture, and after holding in live-box.

TABLA 12. El glicógeno en los músculos de los barriletes a la captura y después de haber sido mantenidos en el vivero.

	At capture A la captura	Time held (minutes) — Tiempo de mantenimiento (minutos)					
		15	30	63	120	362	720
Temperature (°C) Temperatura (°C)	21.3	21.1-21.2	21.1-21.2	21.1-21.3	21.5-21.3	21.5-19.4	21.5-19.4
Number of samples Número de muestras	10	5	5	5	5	5	5
Length range (mm.) Amplitud de longitudes (mm.)	424-554	435-459	437-550	436-506	433-511	451-519	434-571
Glycogen (% wet weight) Glicógeno (% peso humedo)	0.647	0.589	0.092	0.105	0.239	0.162	0.696
	0.689	0.777	0.264	0.824	0.293	0.798	0.874
	0.793	0.822	0.461	0.825	0.392	0.914	1.176
	0.794	0.853	0.560	0.846	0.393	1.062	1.234
	0.796	1.030	1.346	0.909	1.136	1.495	1.318
	0.845						
	0.871						
	0.998						
	1.011						
	1.057						

TABLE 13. Muscle glycogen of skipjack held in live-box after capture and tagging.

TABLA 13. El glicógeno en los músculos de los barriletes mantenidos en el vivero después de la captura y de la marcación.

	Time held (minutes) — Tiempo de mantenimiento (minutos)					
	14	30	60	121	360	720
Temperature (°C) Temperatura (°C)	21.2	21.2-21.0	21.2-21.0	20.6-20.9	20.6-20.9	20.6-20.9
Number of samples Número de muestras	5	4	3	5	5	5
Length range (mm.) Amplitud de longitudes (mm.)	425-526	435-464	425-494	527-587	544-580	548-599
Glycogen (% wet weight) Glicógeno (% peso humedo)	0.763	0.474	0.562	0.464	0.150	0.773
	0.881	0.763	1.041	0.475	0.714	1.002
	1.005	0.953	1.238	0.775	1.045	1.065
	1.063	0.961		0.887	1.053	1.107
	1.102			1.032	1.103	1.202

TABLE 14. Average muscle glycogen levels, by periods of time held in the live-box, for untagged and tagged skipjack, separately and combined.

TABLA 14. Niveles del promedio de glicógeno en los músculos del barrilete marcado y sin marcar, separado y combinado, retenidos en el vivero, por períodos de tiempo.

Untagged — Sin marcar					Tagged — Marcado					Untagged vs tagged Sin marcar vs marcado	Combined Combinado
Time held (minutes)	No. of fish	Aver. glycogen (% wet wt.)	Stand. error	Coef. of var.	Time held (minutes)	No. of fish	Aver. glycogen (% wet wt.)	Stand. error	Coef. of var.	P	Aver. glycogen (% wet wt.)
Tiempo de retención (minutos)	No. de peces	Prom. de glicógeno (% p. humedo)	Error est.	Coef. de var.	Tiempo de ret. (minutos)	No. de peces	Prom. de glicógeno (% p. humedo)	Error est.	Coef. de var.	P	Promedio de glicógeno (% p. humedo)
At capture	10	0.850	0.043	16%	—	—	—	—	—		
15	5	0.814	0.072	20%	14	5	0.963	0.062	14%	>0.2	0.888
30	5	0.545	0.216	89%	30	4	0.788	0.114	29%	>0.4	0.653
63	5	0.702	0.149	48%	60	3	0.947	0.200	36%	>0.2	0.794
120	5	0.491	0.164	75%	121	5	0.723	0.113	35%	>0.2	0.609
362	5	0.886	0.216	55%	360	5	0.813	0.179	49%	>0.5	0.850
720	5	1.060	0.118	25%	720	5	1.030	0.072	16%	>0.5	1.045

TABLE 15. Mortalities, before sampling of yellowfin and skipjack tunas held in the live-box.*

TABLA 15. Mortalidad del atún aleta amarilla y del barrilete retenidos en el vivero, antes del muestreo*.

	Number held	Number died before sampling
	Número retenido	Número de muertos antes del muestreo
BLOOD LACTATE		
LACTATO EN LA SANGRE		
Yellowfin : untagged	53	0
Atún aleta amarilla : sin marcar		
: tagged	49	1
: marcado		
Skipjack : untagged	51	3
Barrilete : sin marcar		
: tagged	64	19
: marcado		
MUSCLE GLYCOGEN		
GLICOGENO EN LOS MUSCULOS		
Yellowfin : untagged	30	0
Atún aleta amarilla : sin marcar		
: tagged	30	0
: marcado		
Skipjack : untagged	30	4
Barrilete : sin marcar		
: tagged	28	5
: marcado		

*This is a special case and cannot be taken as true tagging mortality (see text, p. 228).

*Este es un caso especial y no puede considerarse como la verdadera mortalidad por la marcación (véase el texto p. 264).

TABLE 16. Blood lactate in yellowfin and skipjack tunas chased to exhaustion.

TABLA 16. El lactato en la sangre de atunes aleta amarilla y barriletes que fueron perseguidos hasta el agotamiento.

	Fish length (mm)	Time chased (minutes)	Blood lactate mg. %
	Longitud del pez (mm)	Tiempo de la persecución (minutos)	Lactato en la sangre mg. %
Yellowfin:	490	10	38.8
Atún aleta amarilla:	492	21	184.0
Skipjack:	468	14	203.0
Barrilete:	521	18	320.8

**EL GLICOGENO EN LOS MUSCULOS Y EL LACTATO EN LA SANGRE
DEL ATUN ALETA AMARILLA, *THUNNUS ALBACARES*,
Y DEL BARRILETE, *KATSUWONUS PELAMIS*,
DESPUES DE LA CAPTURA Y DE LA MARCACION ^{1, 2}**

por

Izadore Barrett y Anne Robertson Connor³

INTRODUCCION

La marcación del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y del barrilete (*Katsuwonus pelamis*), y el recobro de estos atunes marcados, son aspectos importantes de la investigación que efectúa la Comisión Interamericana del Atún Tropical en el Océano Pacífico Oriental Tropical. Los resultados del programa de marcación proporcionan información sobre la estructura de las poblaciones, migraciones, tasas de mortalidad y tasas de crecimiento de estas dos especies.

Broadhead (1959) y Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961) han sugerido que la mortalidad inicial después de la marcación es extremadamente alta en estos peces, especialmente en el barrilete, que se ha hecho notar por su "excitabilidad" extrema (Tester, 1952; Nakamura, 1962; Marr, 1963). Schaefer, Chatwin y Broadhead también han indicado que las tasas de recobro de los atunes marcados fueron influenciadas fuertemente por la temperatura del mar en el momento de la marcación. Las tasas de recobro de atunes marcados en aguas más frías han sido aparentemente más altas que las que corresponden a los marcados en aguas más cálidas.

Barrett y Connor (1962) han sugerido que la diferencia en la mortalidad por la marcación, entre el atún aleta amarilla y el barrilete, puede ser un reflejo de la reacción fisiológica más extrema, de esta última especie al procedimiento de la marcación. También han postulado la teoría, de que las diferencias de las especies en la cantidad del lactato producido podrían ser debidas a diferencias inter-específicas en el contenido del glicógeno de sus músculos. El glicógeno en los músculos, el precursor principal del lactato en la sangre, es probablemente la fuente inmediata de combustible para la contracción muscular al nivel celular de los peces (Drummond y Black, 1960).

El programa experimental presente fue emprendido para estudiar la relación entre la fatiga muscular y la alta mortalidad causada por la marcación en el atún aleta amarilla y el barrilete. Los objetivos experimentales más importantes fueron:

1. ampliar y confirmar las observaciones previamente hechas en la acumulación del lactato en la sangre;

¹Contribución de la Comisión Interamericana del Atún Tropical y del Departamento de Fisiología de University of British Columbia, Vancouver Canadá.

²Este estudio fue costado en parte, por un subsidio concedido por el National Research Council of Canada.

³Investigadora Asociada del Departamento de Fisiología, University of British Columbia.

2. estudiar el efecto de la temperatura del mar en el momento de la marcación, sobre la reacción del lactato; y
3. estudiar los niveles iniciales del glicógeno en los músculos de las dos especies y el lapso de tiempo para los cambios en los niveles del glicógeno después del manipuleo y la marcación.

RECONOCIMIENTO

Agradecemos al Capitán John Zuanich y a los oficiales y tripulación del M. V. *South Seas* por su considerable interés y ayuda en este estudio. E. L. Díaz, J. Joseph y W. L. Klawe, del personal de la Comisión, colaboraron en los experimentos a bordo del barco. El trabajo analítico realizado por los autores en el Departamento de Fisiología de University of British Columbia, Vancouver, Canadá, fue costado, en parte, por un subsidio (T-7) del National Research Council of Canada al Doctor Edgar C. Black. Estamos particularmente obligados con el Dr. Black por su continuo interés y apoyo.

MATERIAL Y METODOS

Estos experimentos fueron realizados en mayo y junio de 1962, a bordo de un cliper atunero contratado, el M. V. *South Seas*, en aguas frente a Baja California, México, entre Punta Tosco y Cabo San Lucas. El atún aleta amarilla pesó de cinco a diez libras; el barrilete, de cuatro a ocho libras. En esta área, durante mayo y junio, los peces de ambas especies dentro del margen de los tamaños correspondientes a los pesos indicados, no están maduros sexualmente (Orange, 1961). Las técnicas y la tesis experimental (la de tomar muestras de peces marcados y sin marcar de ambas especies, en el momento de la captura y después de varios períodos de retenerlos vivos en viveros a bordo de las embarcaciones) no sufrieron cambios con respecto a lo informado por Barrett y Connor (1962)⁴. La época del año y el tamaño de los peces usados fueron también los mismos que en los experimentos previos; solamente las temperaturas del agua fueron distintas. El estudio de la acumulación de lactato en la sangre fue ampliado tomando mayor número de muestras en los primeros estados de recobro que las que se habían hecho anteriormente.

El vivero en el que los peces fueron mantenidos después de la captura y de la marcación, era del tipo estándar empleado para mantener la carnada viva a bordo del barco. Las paredes de la caja no se forraron con esponja de poliuretano para los experimentos a que este estudio se refiere, porque el estudio anterior demostró que ese procedimiento no tenía ventajas particulares, sino que al contrario, causó alguna mortalidad. La caja era aproximadamente de 2.6 m de ancho por 4.0 m de largo y 1.6 m de alto. Contenía unos 17 kl de agua de mar, que ascendía a 38 cm dentro del brocal de 114 cm cuadrados en el centro de la parte superior de la caja. El agua de mar de la caja era cambiada aproximadamente a razón de 2.1 kl por minuto. Las temperaturas del agua en el vivero estuvieron normalmente entre

⁴Las referencias que se hagan a continuación sobre *el estudio previo* debe entenderse que aluden al estudio efectuado por Barrett y Connor en 1962.

los 22° y 23°C, pero variaron desde 17.3° a 23.1°C. La temperatura del agua en el vivero fue siempre la misma que la del mar alrededor.

Las muestras de sangre para el análisis del lactato fueron obtenidas y tratadas en la forma anteriormente descrita (Barrett y Connor, 1962). Las muestras fueron sacadas de seis ejemplares de cada especie, inmediatamente después de su captura, y también inmediatamente después de la captura y la marcación. El tiempo promedio y los errores estándar, en segundos, para tomar estas muestras de sangre, desde la captura hasta el momento de extraer la jeringa del corazón, fueron los siguientes:

		<u>Tiempo promedio</u>	<u>Error estándar⁵</u>	<u>Amplitud</u>
Atún aleta amarilla:	sin marcar	41.2	±7.7	18-71
	marcado	33.3	±2.5	25-42
Barrilete:	sin marcar	16.5	±1.1	14-20
	marcado	24.5	±2.4	18-33

También se tomaron muestras de sangre de 53 atunes aleta amarilla sin marcar y de 48 marcados; y de 48 barriletes sin marcar y de 45 marcados, mantenidos en el vivero durante períodos hasta de 12 horas. El tiempo promedio, para las dos especies combinadas, desde su enganche en el anzuelo en el mar hasta su liberación en el vivero fue 5.9 ± 0.2 segundos (variación de 4 a 12 segundos) en los peces sin marcar, y 11.6 ± 0.2 segundos (variación de 8 a 16 segundos) en los peces marcados. El tiempo promedio para tomar las muestras de sangre de los peces mantenidos en el vivero, para las cuatro categorías combinadas, fue 62.8 ± 3.0 segundos (variación de 20 a 266 segundos) desde la entrada a la red de agrupamiento dentro del vivero hasta la extracción de la jeringa del corazón.

Dos peces sin marcar de cada especie, que habían sido mantenidos en el vivero durante dos horas, fueron muestreados después de su agotamiento físico. La profundidad del agua en el vivero fue reducida hasta cerca de un pie, y cada pez fue perseguido manualmente hasta que se tendió de lado, exhausto. Se registró el tiempo requerido para producir el agotamiento, y las muestras de sangre fueron tomadas de la manera usual.

Como en el estudio previo, los filtrados libres de proteína de las muestras de sangre del atún aleta amarilla eran de un color paja pálido, mientras que los del barrilete eran verde pálido. Para probar la interferencia por medio de este color verde, en la determinación analítica del lactato, cuatro muestras de atún aleta amarilla y cuatro de barrilete, seleccionadas por su bajo contenido de lactato, fueron procesadas en dos diluciones diferentes durante todo el procedimiento analítico, excluyendo la adición final del agente productor del color, p-hidroxidifenil. No hubo diferencias entre las lecturas del colorímetro de Klett, en ninguna de estas

⁵Todas las desviaciones dadas en este informe representan el error estándar del promedio.

muestras al usar el filtro #66. El color verde del filtrado de la sangre del barrilete aparentemente fue suficientemente diluido durante el procedimiento, a fin de que no contribuyera a la densidad óptica de la solución de la prueba colorimétrica final.

La precisión del método analítico para la determinación del lactato se indicó por un error estándar de ± 0.5 en el valor promedio corregido de 152.2 (lectura en el colorímetro de Klett de la solución estándar, menos las lecturas del reactivo en blanco) correspondiente a 38 determinaciones en la solución estándar que contenía 0.05 miligramos por cada 100 ml (mg %) de ácido láctico.

Como procedimiento general, las muestras musculares de atunes mantenidos vivos en una cubeta llena de agua fueron tomadas con un horador de corchos, de los músculos epaxiales del lado izquierdo, justamente debajo del nacimiento de la aleta dorsal. Una vez extraída, cada muestra fue colocada inmediatamente en una mezcla congeladora de hielo seco y un 95% de etanol. La muestra congelada fue despojada de la piel, cortada aproximadamente al peso de un gramo y pesada en una balanza ensayadora a los 0.05 g más cercanos. Inmediatamente después de pesadas, las muestras fueron digeridas por lo menos durante cuatro horas en una solución de KOH al 60%, en un baño de agua hirviendo. El material digerido resultante fue mantenido durante agosto y septiembre de 1962, congelado hasta su análisis en University of British Columbia. El nivel de glicógeno en este material fue determinado por el método "anthrone" de Carroll, Longley y Roe (1956) después de la precipitación y lavado en alcohol etílico al 65%. El nivel de glicógeno fue calculado como porcentaje del peso húmedo y es el promedio de 2 o más análisis.

Las muestras de los músculos fueron tomadas de 11 atunes aleta amarilla y de diez barriletes, inmediatamente después de la captura. Este muestreo, desde la captura del atún hasta la colocación de la muestra en la mezcla congelada, duró de 14 a 18 segundos. También fueron tomadas muestras de los músculos de 30 atunes aleta amarilla sin marcar y de 30 marcados, y de 30 barriletes sin marcar y de 28 marcados, retenidos vivos durante períodos hasta de 12 horas en el vivero. Los peces del vivero que iban a ser muestreados, eran capturados y retenidos en la red de agrupamiento individualmente o en grupos hasta de cinco. El muestreo tomó unos 15 segundos por pez.

Se retuvieron hasta 30 peces en el vivero a la vez, a pesar de que el contenido usual al comenzar un experimento era de solo unos quince. Los peces no fueron alimentados mientras estuvieron en el vivero. Para las muestras de sangre, ambas especies fueron algunas veces retenidas simultáneamente en el vivero; para las muestras de los músculos, únicamente una especie era retenida a la vez. Solamente un tipo de muestra, ya fuera muscular o sanguínea, fue tomada de cada pescado. El tiempo usualmente requerido para poner a un grupo de peces sin marcar dentro de la caja, fue de cuatro minutos (variando de uno a diez minutos); los períodos de retención dados para los peces sin marcar son, por lo tanto, únicamente aproximados. Para cada pez marcado se anotaba el número de la marca y el tiempo exacto de entrada en el vivero.

Al liberar los peces dentro del vivero comenzaban en seguida a nadar en circunferencia. Cuando ambas especies eran mantenidas simultáneamente en la caja, el atún aleta amarilla parecía producir un efecto retardatorio en la velocidad natatoria del barrilete (Joseph y Barrett, 1963). No hubo dificultad en mantener viva cualquiera de las especies en la caja del vivero durante 12 horas, que fue el límite de tiempo establecido para los experimentos.

Para representar claramente los cambios en los niveles del lactato y del glicógeno, los datos fueron agrupados por períodos apropiados de retenimiento para cada categoría, y calculado el nivel promedio del lactato o del glicógeno correspondiente al número de peces en este período de tiempo y categoría. Cuando las pruebas 't' no mostraban diferencias significativas entre los niveles promedio en los peces marcados y sin marcar, para el mismo período de retenimiento en el vivero, los datos eran combinados y se sacaban nuevos promedios. En donde los niveles eran significativamente diferentes, los promedios correspondientes a los peces marcados y sin marcar eran usados separadamente, y así han sido identificados en las Figuras. Los puntos restantes en todas las Figuras representan los promedios combinados correspondientes a los peces marcados y sin marcar. Para mostrar claramente los cambios en los niveles del glicógeno y del lactato durante el período al comienzo del recobro, los períodos de retenimiento fueron graficados sobre una escala logarítmica en las Figuras.

Como en el estudio efectuado anteriormente, ciertas variables no pudieron ser controladas y deben considerarse como posibles fuentes de error. Estas incluyen:

1. la cantidad variable de ejercicio antes de la captura de cada pez;
2. la condición nutricional variable antes de la captura de cada pez;
3. la natación continua de los atunes en el vivero durante el recobro;
4. las variaciones menores en la temperatura del agua en el vivero;
5. la reestimulación de los peces que permanecen en el vivero durante la remoción de los que se utilizan para el muestreo;
6. el tiempo variable requerido para tomar las muestras de sangre; y
7. los errores comprendidos en los métodos de las determinaciones del lactato y del glicógeno, y el error introducido por el método de pesar a bordo las muestras de los músculos.

Cuando se pueden predecir los efectos probables de tales variaciones, han sido tomados en cuenta, para la interpretación de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSION

Atun aleta amarilla

Lactato en la sangre

En la Tabla 1 se indican los niveles del lactato en la sangre del atún aleta amarilla, inmediatamente después de la captura e inmediatamente después de la captura y la marcación. No hubo diferencia significativa entre los niveles promedio de lactato correspondientes a los peces no marcados (6.0 mg %) y los niveles promedio de lactato correspondientes a los peces marcados (5.4 mg %). Estos

niveles fueron considerablemente más bajos que los de 22.5 mg % y 15.4 mg % previamente registrados en grupos similares de peces. Dos causas posibles de estos valores más bajos, son un mejoramiento en la técnica para muestrear la sangre y la temperatura más baja del agua al efectuarse el muestreo en el presente estudio. Estos niveles en el momento de la captura fueron también generalmente más bajos que los del atún aleta amarilla observados después de dos horas de recobro en los experimentos corrientes (Tablas 2 y 3), y que los registrados en otras especies de peces (Black, Robertson y Parker, 1961, tabla 8).

La observación de los valores individuales en la Tabla 2, correspondientes a atunes aleta amarilla sin marcar, muestra un aumento rápido en el lactato en la sangre, hasta de 42 mg %, a los 11 minutos; un máximo de 97 mg % a los 65 minutos; y una declinación subsecuente a niveles de 10 a 15 mg % después de hora y media del recobro. La mayoría de los peces se mantuvo a este último nivel o debajo, durante el resto del período de recobro hasta las 12 horas. Con respecto al atún aleta amarilla marcado (Tabla 3), el nivel individual del lactato subió a 65 mg % dentro de siete minutos; alcanzó un máximo de 143 mg % a los 55 minutos; declinó a 8 mg % en un solo pez después de 106 minutos; y permaneció debajo de 20 mg % en casi todos, de allí en adelante hasta las 12 horas. No se observaron niveles de lactato extremadamente altos (esto es, hasta 198 mg %) similares a los registrados en 1961.

El promedio de lactato en la sangre del atún aleta amarilla marcado y sin marcar, agrupado por períodos de retenimiento en el vivero, se indica en la Tabla 4 y ha sido graficado en la Figura 1. El nivel promedio de lactato (Figura 1) en el atún aleta amarilla marcado, alcanzó rápidamente un nivel máximo de 67 mg % dentro del primer período de tiempo (0-19 minutos) y se mantuvo a este nivel hasta los 40 y 59 minutos. El nivel promedio de lactato en el atún aleta amarilla sin marcar fue significativamente más bajo (Tabla 4) que en los peces marcados durante los dos primeros períodos de tiempo (0-39 minutos). El nivel máximo de 67 mg % (Figura 1) fue alcanzado más lentamente en el atún aleta amarilla sin marcar, y no se alcanzó hasta los 40 y 59 minutos del recobro. De allí en adelante no hubo diferencia significativa entre los dos grupos. El lactato sanguíneo declinó rápidamente tanto en los peces marcados como sin marcar. Los valores promedio variaron de 12 a 26 mg % después de un período de recobro de 100 a 119 minutos hasta el final del experimento a las 12 horas. Este último valor promedio de recobro estuvo muy por encima del nivel promedio registrado en la primera captura, y puede haber sido el resultado del aumento de la actividad en el vivero.

Después de unas dos horas, la pauta de recobro establecida fue interrumpida por un ligero incremento en el nivel promedio del lactato. Este fenómeno de recobro desigual fue aparente durante los experimentos tanto del año anterior como de éste, y también en otros estudios realizados por Black y sus colegas (especialmente Black *et al*, 1962). El ascenso secundario en el lactato puede haberse debido a un aumento en la actividad dentro del vivero después de que los efectos iniciales producidos por el manipuleo y la marcación habían disminuido; también puede haberse debido a una mejoría en la circulación, después de una interrupción inicial en la transferencia de metabolitos del músculo a la sangre.

El promedio del lactato ha sido regraficado (línea continua) en la Figura 2, junto con el promedio del lactato en el atún aleta amarilla correspondiente a 1961 (línea a guiones). Los datos de 1961 han sido reagrupados para permitir la comparación directa con los datos corrientes. La observación de los dos líneas muestra que el nivel promedio del lactato, hasta el máximo de 40 a 59 minutos, fue más bajo, y que el nivel promedio de recobro después de 120 minutos, fue más alto en los experimentos corrientes a temperaturas de 22° a 23°C, que en los experimentos de 1961 de 26° a 29°C. El tiempo requerido para obtener tanto el nivel máximo como el nivel mínimo durante el recobro, fue similar en ambas series de experimentos. También se ha notado referente a *Salvelinus fontinalis* (Wendt, 1964), los niveles bajos del lactato en la sangre después del estímulo a una temperatura baja.

Los resultados de los experimentos corrientes en que los peces fueron perseguidos hasta el agotamiento (véase más adelante) indican que el nivel promedio del lactato mostrado en la Tabla 4 puede no ser el máximo para peces a esas temperaturas. La diferencia significativa en el nivel del lactato, entre el atún aleta amarilla marcado y sin marcar, durante los primeros estados del recobro (Tabla 4), sugiere que los diferentes niveles de estimulación pueden ser producidos por los diferentes procedimientos de manipuleo, marcación y persecución. Una situación similar fue informada por Black y Barrett (1957), quienes encontraron niveles más bajos de lactato en la trucha "cutthroat" sometida al manipuleo rutinario del criadero, que en los peces que habían sido estimulados completamente. En los experimentos con atunes, en 1961, no se observaron estas diferencias; la estimulación producida solamente por el manipuleo, a la temperatura más alta, pareció suscitar una reacción máxima.

Un gran margen de variación se manifestó en los niveles del lactato sanguíneo entre los atunes aleta amarilla marcados y sin marcar que habían sido retenidos en los viveros durante los mismos períodos de tiempo; los errores estándar y los coeficientes de variación (C) se dan en la Tabla 4. No se encontró una correlación significativa entre los niveles medios del lactato sanguíneo y los coeficientes de variación correspondientes tanto a los peces marcados como a los sin marcar. Los niveles del lactato sanguíneo se inclinaron a ser menos variables en el atún aleta amarilla marcado que en el sin marcar, retenidos durante el mismo tiempo en el vivero, lo que sugiere una reacción más cercana al máximo en los peces marcados que en los sin marcar. Los niveles del lactato fueron variables a la primera captura (C = 9%) y altamente variables después de la captura y la marcación (C = 42%) y después de 12 horas de recobro, nuevamente en un grado menor en los atunes aleta amarilla marcados (Tabla 4). Black *et al* (1960, figura 2) han presentado evidencias, para demostrar que los peces individualmente pueden diferir en sus reacciones a la misma capacidad de estimulación.

Glicógeno en los músculos

Los niveles de glicógeno en los músculos del atún aleta amarilla sin marcar, inmediatamente después de la captura, y después de ser retenidos en el vivero hasta 12 horas, aparecen en la Tabla 5; los correspondientes a los peces marcados, mantenidos de modo similar, se dan en la Tabla 6. Los experimentos relativos al

atún aleta amarilla marcado fueron efectuados a temperaturas aproximadamente 2°C más altas que los experimentos con peces no marcados. Es evidente, un alto nivel de variación en los valores del glicógeno muscular entre los peces individuales dentro de los grupos retenidos el mismo tiempo, especialmente en los atunes marcados. A pesar de esta variación, se observó una diferencia significativa en los niveles promedio del glicógeno muscular entre el atún aleta amarilla marcado y sin marcar, a las dos horas del recobro (Tabla 7, Figura 1). De un nivel promedio de glicógeno muscular, a la primera captura, de 0.60% de peso húmedo, el nivel descendió a su promedio combinado más bajo de 0.48% después de 15 minutos de retenimiento. El valor promedio máximo fue de 0.91% en peces sin marcar, a las dos horas y en ese mismo tiempo el nivel en peces marcados fue significativamente más bajo. La posibilidad de una relación entre este descenso en el nivel del glicógeno en los músculos de los peces marcados, a las dos horas del recobro, y el segundo aumento en el lactato sanguíneo, observado durante el recobro, pero no en los mismos peces (Figura 1) es digna de atención. Desde dos horas hasta el final del recobro, los niveles, tanto en el atún aleta amarilla marcado como en el sin marcar, fueron los mismos y como $1\frac{1}{3}$ veces mayores que a la primera captura.

Es posible que el contenido del promedio combinado del glicógeno en los músculos durante las seis últimas horas del recobro (0.80%) represente el nivel *mínimo* que se encuentra en el atún aleta amarilla que no se ha estimulado. Sobre esta base, el nivel promedio más bajo de 0.60% registrado a la primera captura sugiere que, aun en los pocos segundos que se toman para capturar y muestrear el pez, hubo por lo menos una reducción de un 25% en el nivel promedio del glicógeno; y que a los 15 minutos de recobro, la pérdida de glicógeno llegó por lo menos al 40%. Black *et al* (1962) observaron una reducción en el glicógeno del 50% dentro de los dos minutos posteriores al comienzo del ejercicio enérgico en la trucha arco-iris, a 11.5°C. La tasa de utilización de glicógeno posiblemente ha sido aún más rápida a las temperaturas más elevadas prevalecientes en los experimentos corrientes, con el resultado de que los niveles de glicógeno medidos en el atún aleta amarilla después de 15 minutos de recobro podrían representar actualmente, más bien los primeros estados de la resíntesis que el nivel mínimo.

Los niveles del glicógeno muscular que se dan en el presente estudio, son algo más altos que los registrados en muchos otros peces (Tomlinson y Geiger, 1962). Algunos valores exceden el nivel máximo para los peces (0.850 mg %) sugerido por Drummond y Black (1960), a pesar de que han sido observados valores más altos que este (Dill, 1921; Tomlinson y Geiger, 1962).

Una correlación significativamente negativa ($r = -0.84$, 12 G.L.) fue encontrada entre los niveles medios del glicógeno muscular de los atunes aleta amarilla marcados y no marcados y los coeficientes de variación (Tabla 7). Este hallazgo es contrario al pronosticado por Caillouet (1964) basado en un examen de la literatura sobre la materia. Los niveles del glicógeno fueron, en promedio, muy variables en los grupos de atunes con reservas de glicógeno muscular disminuídas. Las diferencias aparentes entre el atún aleta amarilla marcado y sin marcar, en la variabilidad de los niveles del glicógeno muscular, pueden tomarse en cuenta por esta correlación.

La observación de la Figura 1 sugiere la existencia de una relación inversa entre los niveles del glicógeno muscular y las del lactato en la sangre. No hubo una relación aparente entre la variabilidad de los niveles del glicógeno muscular y la variabilidad en los niveles de lactato en la sangre.

Barrilete

Lactato en la sangre

No hubo diferencia significativa entre el promedio de los niveles del lactato en la sangre, que fue de 13.0 mg % en el barrilete, inmediatamente después de la captura, y el de 10.3 mg % en la misma especie, inmediatamente después de la captura y la marcación (Tabla 8). Los niveles promedio fueron más o menos dos veces los observados en grupos similares de atún aleta amarilla (Tabla 1), pero se encontraban dentro del margen de niveles registrados para los peces no estimulados de otras especies (Black, Robertson y Parker, 1961, tabla 8). Los niveles promedio del lactato después de la captura, fueron en el presente estudio más o menos los mismos que los anotados en grupos similares de barriletes en el estudio anterior.

El examen de los niveles del lactato en barriletes individuales sin marcar retenidos en el vivero (Tabla 9), indica un nivel máximo de 286 mg % después de 90 minutos de retenimiento, aun cuando se alcanzaron en peces individuales niveles de 207 y 196 mg % a los 17 y 27 minutos, respectivamente. El recobro a un nivel promedio algo más alto que el de la primera captura apareció, en la mayoría de los peces, después de unas dos horas de retenimiento, a pesar de que se encontraron niveles menores de 25 mg % en unos pocos barriletes sin marcar a los 60-79 minutos. Con respecto a barriletes individuales marcados que se mantuvieron en el vivero (Tabla 10) fue alcanzado un nivel máximo de lactato de 273 mg % en un pez a los 87 minutos (este nivel, sin embargo, puede no ser representativo, debido a que el ejemplar fue muestreado dos veces). Otros niveles altos anotados, fueron de 198 mg % a los 18 minutos, de 201 mg % a los 25 minutos y 221 mg % a los 51 minutos. El recobro, a niveles más altos que los registrados en peces inmediatamente después de la captura y la marcación ocurrió en la mayoría de los peces después de más o menos hora y media. No hubo niveles de lactato extremadamente altos (de más de 300 mg %) como los encontrados en el estudio anterior.

No fueron observadas en ningún momento diferencias significativas en los niveles promedio del lactato entre los peces marcados y sin marcar (Tabla 11). Sin embargo, pueden haber sido oscurecidas algunas diferencias reales entre los dos grupos, debido al alto grado de variabilidad entre los peces individuales en el mismo grupo. (Este comentario es aplicado a todas las comparaciones hechas en el presente trabajo entre los peces marcados y sin marcar). Los niveles promedio fueron calculados de los datos combinados.

Fue aparente una disminución pronunciada en el nivel promedio del lactato dentro de los 19 minutos, en los datos combinados correspondientes a barriletes marcados y sin marcar (Tabla 11, Figura 1). Los niveles promedio continuaron en aumento hasta un máximo de 157 mg % a los 40-59 minutos. Después de un descenso a un nivel promedio de 66 mg %, a los 60-79 minutos, se observó

un segundo máximo menor a los 80-99 minutos, similar al encontrado durante el recobro en el atún aleta amarilla. El nivel promedio cayó entonces a 48 mg % a las dos horas, y fue mantenido a unos 35 mg % desde las cuatro horas del recobro hasta el final del experimento.

Los niveles promedio del lactato en 1962, correspondientes a barriletes marcados y sin marcar, combinados (línea continua) son comparados en la Figura 2 con los correspondientes a grupos similares en los experimentos de 1961 (línea a guiones) cuyos datos fueron editados según se discutió en aquel estudio. La pauta de las diferencias entre los datos de 1962 (22°-23°C) y los datos del barrilete de 1961 (26°-29°C) fue generalmente similar a la observada anteriormente para el atún aleta amarilla.

Como lo indica la Figura 1, el promedio máximo del nivel de lactato en el barrilete, después de la captura y/o la marcación, fue más de dos veces el observado en el atún aleta amarilla. Los niveles promedio percibidos durante el recobro fueron de 10 a 15 mg % más altos en el barrilete que en el atún aleta amarilla. Estas diferencias entre las especies fueron similares a las observadas en el estudio anterior.

La variación en los niveles de la acumulación del lactato fue grande, entre los barriletes del grupo simultáneo (Tabla 11). No se encontró una correlación significativa entre los niveles medios del lactato en la sangre y los coeficientes de variación correspondientes tanto a los barriletes marcados como sin marcar. La variación en los niveles del lactato parece ser menor en el barrilete que la observada en el atún aleta amarilla, lo que sugiere una reacción más cercana al máximo en el barrilete que en el atún aleta amarilla. La variación menor en los niveles del lactato en el barrilete marcado que en el sin marcar (notada también entre el atún aleta amarilla marcado y no marcado), es compatible con la posibilidad de una reacción más cercana al máximo en los peces marcados. Los niveles del lactato en el barrilete a la primera captura, fueron más variables ($C = 38\%$) que los del atún aleta amarilla a la primera captura; inmediatamente después de la captura y la marcación, fueron también más variables ($C = 53\%$) que los del atún aleta amarilla tratado similarmente.

Glicógeno en los músculos

Los niveles del glicógeno en los músculos del barrilete sin marcar, inmediatamente después de la captura y después de retenerlo en el vivero hasta 12 horas, se indican en la Tabla 12; los correspondientes al barrilete marcado, mantenido en forma similar, se indican en la Tabla 13. No hubo diferencias importantes entre las temperaturas a las cuáles fueron retenidos los peces de los dos grupos.

Los niveles promedio combinados del glicógeno muscular del barrilete marcado y sin marcar (Tabla 14, Figura 1) mantuvieron más o menos el mismo valor (0.8-0.9% peso húmedo) desde la primera captura hasta después de los 15 minutos del recobro. Los valores del glicógeno muscular, encontrados después durante el recobro, indican que este nivel promedio a la primera captura puede haber sido bajo (véase más adelante). La caída subsiguiente, en el nivel promedio del glicógeno muscular, hasta 0.65 mg % a los 30 minutos, y hasta 0.61% a las dos horas,

fue interrumpida por un recobro transitorio llegando a 0.79% en una hora. Después de dos horas de recobro, el glicógeno en los músculos fue resintetizado constantemente; dentro de las seis horas, los niveles promedio igualaron a los de la primera captura y, a las 12 horas, los sobrepasaron en un 25%.

Los valores individuales del glicógeno observados a las 12 horas del recobro, tanto en los barriletes marcados como sin marcar, (Tablas 12 y 13) fueron, casi sin excepción, notoriamente más altos que los observados a la primera captura. Como se notó respecto al atún aleta amarilla, los niveles del glicógeno muscular, en los últimos estados del recobro, pueden haber sido más representativos de los niveles de peces no estimulados. Un nivel más bajo de glicógeno en los músculos, medido a la primera captura, puede reflejar una estimulación previa, entre otras posibilidades. Si éste fuera el caso, entonces el valor registrado después de los 15 minutos del recobro, representaría realmente un descenso en el glicógeno muscular durante ese período. Siendo así que el recobro inicial ocurrió después de 15 minutos, o posiblemente más pronto en el atún aleta amarilla; no comenzó hasta después de los 30 minutos de retenimiento en el barrilete.

Los valores extremadamente altos del glicógeno, observados en barriletes individuales fueron más elevados que los encontrados en el atún aleta amarilla, y también más altos que los registrados en otros peces (Tomlinson y Geiger, 1962; Drummond y Black, 1960). Los niveles de glucosa libre, en los músculos del barrilete se han encontrado que son como 1-½ veces los niveles hallados en el atún aleta amarilla, y también más altos que los registrados en ciertas especies de otros peces (T. W. Kwon, comunicación personal). Los altos niveles de lactato encontrados durante el recobro en el barrilete, comparados con los del atún aleta amarilla, pueden haber sido en el barrilete, un reflejo de niveles iniciales más altos de su precursor, el glicógeno muscular.

Una correlación negativa significativa ($r = -0.78$, 12 G.L.) fue hallada entre los niveles medios del glicógeno muscular de barriletes marcados y sin marcar y los coeficientes de variación (Tabla 14), nuevamente en contradicción a la predicción de Caillouet (1964). Los niveles del glicógeno fueron, en promedio, sumamente variables en los grupos de barriletes con reservas de glicógeno más bajas. Las diferencias aparentes entre los barriletes marcados y sin marcar, en la variabilidad de los niveles del glicógeno muscular, pueden ser tomadas en cuenta para esta correlación. El contenido de glicógeno en los músculos del barrilete fue, en promedio, más variable nivel por nivel, que el del atún aleta amarilla.

Hubo generalmente una relación inversa entre los niveles promedio del glicógeno en los músculos y los del lactato en la sangre (Figura 1). No hubo relación aparente, entre la variabilidad de los niveles del glicógeno muscular y la variabilidad en los niveles del lactato en la sangre. Caillouet (1964) cree que el aumento en la variabilidad de los niveles del lactato en la sangre de los peces, después de la estimulación forzada, puede estar relacionada a la gran variabilidad en el contenido inicial del glicógeno muscular. Este no parece ser el caso en los atunes aleta amarilla y barrilete (Tablas 4, 7, 11 y 14).

Los niveles del lactato en la sangre en relación a la longitud de los peces y al retenimiento simultáneo de las dos especies en el vivero.

Estos experimentos no fueron específicamente proyectados para investigar las relaciones entre los niveles del lactato en la sangre de los atunes y la longitud de los peces, o entre dichos niveles y el retenimiento simultáneo de las especies en el vivero. Sin embargo, para investigar las posibles razones de la gran variabilidad en los niveles del lactato, fueron examinados los pocos datos utilizables de que se disponía respecto a esas variables.

Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961) han informado sobre una relación directa entre la tasa de los recobros de marcas y la longitud de los atunes en la marcación. Para examinar esta relación en términos de una reacción fisiológica, la longitud total de cada pez fue graficada contra su nivel de lactato en el período de acumulación máxima en la sangre, para cada especie. Fueron graficados tanto los datos corrientes como los del año 1961. No se encontró relación alguna entre las dos medidas (no se muestran los gráficos) pero los datos son demasiado pocos para permitir una conclusión definitiva.

Se ha informado que la velocidad natatoria del barrilete y del atún aleta amarilla disminuye cuando se retienen simultáneamente en un vivero (Joseph y Barrett, 1963). Esta observación sugiere la posibilidad de un recobro más rápido y/o niveles más bajos de lactato en el barrilete durante el recobro cuando éste es retenido con otros atunes, en vez de que cuando se le mantiene solo. Los niveles del lactato en ambas especies, mantenidas juntas o separadas, fueron comparados durante los mismo períodos de recobro, para lo que se usaron tanto estos datos como los de experimentos anteriores (no se presentan los gráficos). El retenimiento de las especies juntas en el vivero, no tuvo un efecto evidente en ninguna de ellas, en la tasa del recobro o en los niveles del lactato, pero los datos otra vez son muy pocos, para permitir una conclusión definitiva.

Mortalidad en el vivero

En la Tabla 15, se indican las cantidades totales de peces en cada uno de los diversos grupos retenidos en el vivero, así como las cantidades totales de los peces que murieron en cada grupo, durante el confinamiento. Los datos no se presentan para mostrar las tasas de mortalidad, sino para indicar las diferencias entre los grupos. Las muestras en el atún aleta amarilla fueron agudamente reducidas en comparación de las observadas en 1961; de los 162 mantenidos en este experimento, solamente murió un pez marcado. El total de la mortalidad en el barrilete fue como la mitad de la mortalidad registrada en el estudio anterior y, como entonces, fue mayor en los peces marcados que en los sin marcar.

A pesar de que la ausencia de los paneles forrados con esponja plástica en el vivero (detrás de los cuáles algunos peces quedaron atrapados y murieron en los experimentos de 1961), contribuyó a reducir la mortalidad, deben haber obrado otros factores. No hubo gran dificultad en el mantenimiento de cualquiera de las especies en el vivero durante el límite de 12 horas de los experimentos. En realidad, tres atunes aleta amarilla fueron mantenidos vivos en la caja durante 60 horas, y dos barriletes durante 18 horas. Más aún, no se notaron áreas de hemorragia o

magulladas en ninguna de las dos especies, a pesar del largo tiempo del retenimiento en el vivero. Aun cuando se hicieron evidentes diferencias en el comportamiento entre las dos especies, el comportamiento del barrilete durante el manipuleo no fue tan violento como el que se vió en el experimento anterior.

La mortalidad, más baja en 1962 que en el estudio previo, puede ser un reflejo de la diferencia en la temperatura del agua, entre una y otra serie de experimentos. El contenido de oxígeno más alto en las aguas más frías puede reducir la dependencia de los peces sobre el metabolismo anaeróbico, y por lo tanto, disminuye la producción del lactato, como fue en realidad el caso (Figura 2). Un efecto adicional de las temperaturas más bajas sería una tasa de difusión más lenta del lactato de los músculos a la sangre (Johnson *et al*, 1945), lo que tiende a eliminar las concentraciones extremadas del lactato en la sangre (Tablas 2, 3, 9 y 10).

Durante las dos, ésta y la serie previa de experimentos, se efectuaron concurrentemente operaciones normales de marcación a bordo de los barcos (Broadhead, 1959). Los porcentajes en el recobro de atunes aleta amarilla marcados, por unidad de esfuerzo de pesca, se manifestaron claramente más altos en los peces marcados en aguas más frías durante los experimentos corrientes (B. D. Fink, comunicación personal). Los niveles de lactato más bajos, la mortalidad más baja en el vivero, y el alto porcentaje del recobro de peces marcados en los experimentos recientes, puede estar todo ello relacionado a las aguas más frías.

Peces perseguidos hasta el agotamiento

En ambas especies, con el tiempo, hubo un aumento hasta el agotamiento en el nivel del lactato en la sangre (Tabla 16). El máximo de lactato en el atún aleta amarilla y el barrilete (184 y 321 mg %, respectivamente) fue más alto que cualquiera de los observados en los experimentos del mantenimiento en el vivero (Tablas 2, 3, 9 y 10). En los experimentos corrientes de agua fría, el tiempo requerido para producir el agotamiento de cada especie, fue más prolongado que en 1961. Wendt (1964) anotó una observación similar para *Salvelinus fontinalis*; que los peces estimulados a 15°C estaban completamente exhaustos después de 15 minutos, mientras que los tratados similarmente a 5°C, no se encontraban completamente exhaustos después de 15 minutos. Estos períodos prolongados para los atunes fueron aún menores que los requeridos para producir el agotamiento primario en la trucha "Kamloops" a 11.5°C (Black, 1957). Parece que las temperaturas de las aguas más frías pueden aumentar la resistencia de los peces a la fatiga por razones similares a las que redujeron la mortalidad en estos experimentos (véase lo citado anteriormente).

SUMARIO Y CONCLUSIONES

La pauta general de los cambios en los niveles del lactato en la sangre de las dos especies, después del manipuleo y la marcación, fue la misma que la referida en el estudio previo. El nivel máximo del lactato ocurrió aproximadamente tres cuartos de hora después de un período notoriamente corto de estímulo (menos de 16 segundos); el recobro fue rápido y paralelo al observado el año anterior. Sin embargo, los niveles máximos del lactato anotados en los experimentos corrientes

fueron más bajos, y los niveles de recobro ligeramente más altos que los de 1961. Por primera vez fue observada, durante los primeros estados del recobro en el atún aleta amarilla, una diferencia significativa en el nivel del lactato entre los peces marcados y sin marcar. Estas diferencias en la reacción del lactato entre los dos años, están probablemente asociadas con las temperaturas bajas a las que los experimentos del presente estudio fueron conducidos. La reacción del lactato al estímulo en los atunes, se observó de nuevo, que es más rápida que la notificada en los Salmonoides (Black, Robertson y Parker, 1961). También se confirmó la mayor reacción del lactato en el barrilete, que en el atún aleta amarilla, reacción que fue observada en los experimentos anteriores.

Como lo sugirieron Barrett y Connor (1962), se encontró que los niveles más altos de lactato, en el barrilete, están relacionados con los niveles iniciales más altos de su precursor, el glicógeno muscular. Los niveles iniciales del glicógeno, tanto en el atún aleta amarilla como en el barrilete, fueron más altos que los observados en muchas otras especies de peces (Tomlinson y Geiger, 1962). El alto contenido del glicógeno en los músculos del atún puede ser significativo en relación al alto nivel normal de actividad en estos peces, siendo también importantes otras fuentes de energía (e.d. la grasa). Después del manipuleo y de la marcación, los niveles iniciales del glicógeno descendieron rápidamente en ambas especies durante el período en que el lactato se acumulaba en la sangre. La resíntesis del glicógeno comenzó por lo menos dentro de los 15 minutos del recobro en el atún aleta amarilla, y en los 30 minutos en el barrilete. A las dos horas del recobro, el nivel del glicógeno fue significativamente más alto en el atún aleta amarilla sin marcar, que en el marcado, a pesar de que no se notaron diferencias entre el barrilete marcado y sin marcar. Los niveles del glicógeno en ambas especies fueron más altos durante la última parte del recobro que en la captura inicial. En contraste, Black *et al.* (1960, 1962), observaron que el glicógeno muscular no fue restaurado en truchas sin alimentar e inmaduras, sino dentro de las 24 horas siguientes a una fuerte estimulación. Estos nuevos datos sobre el glicógeno corroboran las causas concernientes a la fatiga que se habían deducido previamente en los atunes, de los datos referentes al lactato únicamente.

Varias diferencias que fueron observadas entre los resultados de los experimentos correspondientes al presente estudio y los efectuados el año anterior, son atribuibles a las temperaturas más frías del agua. Se incluyen en estas diferencias, los niveles iniciales más bajos del lactato; los niveles más bajos del lactato después de la marcación y el manipuleo; las cifras de mortalidad más bajas en el vivero y los períodos más largos requeridos para producir el agotamiento por persecución. El estudio anterior, demostró que el manipuleo por sí solo, fue suficiente estímulo para producir una máxima reacción a las temperaturas más altas, del lactato en ambas especies. En comparación, los experimentos del presente estudio indican que la reacción del atún aleta amarilla al manipuleo y la marcación aunque llega a un grado submáximo, es sin embargo mayor que la debida al manipuleo solamente, por lo que, en el atún aleta amarilla al menos, un alto grado de prontitud y pericia en la marcación en aguas más frías puede aminorar los efectos fisiológicos adversos del procedimiento y contribuir al incremento de la recuperación de marcas.

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

- Barrett, I. and A. R. Connor
 1962 Blood lactate in yellowfin tuna, *Neothunnus macropterus*, and skipjack, *Katsuwonus pelamis*, following capture and tagging.
 Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 6(6):231-280 (English and Spanish).
- Black, E. C.
 1957 Alterations in the blood level of lactic acid in certain salmonoid fishes following muscular activity. I. Kamloops trout, *Salmo gairdneri*.
 J. Fish. Res. Bd. Canada, 14(2):117-134.
- Black, E. C. and I. Barrett
 1957 Increase in levels of lactic acid in the blood of cutthroat and steelhead trout following handling and live transportation.
 Can. Fish Culturist, No. 20, p. 13-24.
- Black, E. C., A. C. Robertson, A. R. Hanslip and W-G. Chiu
 1960 Alterations in glycogen, glucose and lactate in rainbow and Kamloops trout, *Salmo gairdneri*, following muscular activity.
 J. Fish. Res. Bd. Canada, 17(4):487-500.
- Black, E. C., A. C. Robertson, and R. R. Parker
 1961 Some aspects of carbohydrate metabolism in fish.
in Comparative physiology of carbohydrate metabolism in heterothermic animals. Arthur W. Martin (ed.), University of Washington Press, Seattle. 168 p.
- Black, E. C., A. R. Connor, K-C. Lamb, and W-G. Chiu
 1962 Changes in glycogen, pyruvate and lactate in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) during and following muscular activity.
 J. Fish. Res. Bd. Canada, 19(3):409-436.
- Broadhead, G. C.
 1959 Techniques used in the tagging of yellowfin and skipjack tunas in the Eastern Tropical Pacific Ocean during 1955-1957.
 Proc. Gulf and Carib. Fish. Inst., 11th Ann. Session, Nov. 1958, p. 91-99.
- Caillouet, C. W., Jr.
 1964 Effect of forced activity on blood lactic acid in channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque).
 Ph.D. thesis. Iowa State Univ. of Sci. and Tech., Ames, Iowa.
- Carroll, N. V., R. W. Longley and J. H. Roe
 1956 The determination of glycogen in liver and muscle by use of anthrone reagent.
 J. Biol. Chem., 220:583-593.

- Dill, D. B.
1921 A chemical study of the California sardine (*Sardinia caerulea*).
J. Biol. Chem., **48**:93-103.
- Drummond, G. I. and E. C. Black
1960 Comparative physiology: Fuel of muscle metabolism.
Ann. Rev. Physiol., **22**:169-190.
- Johnson, R. E., H. T. Edwards, D. B. Dill and J. W. Wilson
1945 Blood as a physiochemical system. XIII. The distribution of lactate.
J. Biol. Chem., **157**:461-473.
- Joseph, J. and I. Barrett
1963 Shipboard observations on the schooling behavior of yellowfin tuna and skipjack held in a bait well.
Calif. Fish and Game, **49**(1):55.
- Marr, J. C.
1963 Note on the return rate of tagged skipjack, *Katsuwonus pelamis*, and the effects of handling.
p. 15-16, in North Atlantic Fish Marking Symposium. Spec. Pub. No. 4, I.C.N.A.F., Dartmouth, Canada.
- Nakamura, E. L.
1962 Observations on the behavior of skipjack tuna, *Euthynnus pelamis*, in captivity.
Copeia, 1962(3):499-505.
- Orange, C. J.
1961 Spawning of yellowfin tuna and skipjack in the Eastern Tropical Pacific, as inferred from studies of gonad development.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **5**(6):457-526 (English and Spanish).
- Schaefer, M. B., B. M. Chatwin and G. C. Broadhead
1961 Tagging and recovery of tropical tunas, 1955-1959.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **5**(5):341-456 (English and Spanish).
- Tester, A. L.
1952 Establishing tuna and other pelagic fishes in ponds and tanks.
U.S. Dept. Int., Fish and Wildlife Serv., Spec. Sci. Rept.: Fish., No. 71, 20 p.
- Tomlinson, N. and S. E. Geiger
1962 Glycogen concentration and post mortem loss of adenosine triphosphate in fish and mammalian skeletal muscle. A review.
J. Fish. Res. Bd. Canada, **19**(6):997-1003.
- Wendt, Curt
1964 Influence of low temperature on the blood lactate level in *Salvelinus fontinalis* after exercise.
Inst. Freshwater Res., Rep. No. 45, p. 206-210.