

CRECIMIENTO Y UTILIZACION DEL ALIMENTO DE LA TRUCHA ARCO IRIS EN COSTA RICA, EN REGIMEN DE CULTIVO INTENSIVO

Jorge Günther Nonell

Ana Virginia Muñoz Elizondo

Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Heredia

(Recibido: marzo 25, 1993 / Aceptado: setiembre 15, 1993)

RESUMEN

Se analizan el crecimiento y la utilización del alimento de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) bajo condiciones de cultivo intensivo (promedio de 5 cultivos) en la estación de Río Macho, Orosí, Costa Rica, utilizando una dieta formulada con ingredientes locales y se registran las variaciones mensuales de oxígeno disuelto, temperatura y caudal en la quebrada Jucó que alimenta la estación. Los resultados son comparables con los mejores obtenidos en cultivo industrial de truchas en países templados, aunque en Costa Rica pueden mantenerse durante todo el año, independientemente de la estación. Se obtienen expresiones matemáticas para los parámetros analizados y se presenta gráficamente la ración alimenticia diaria recomendada para truchas entre 5 y 200 gramos y temperaturas entre 8 y 20 °C.

ABSTRACT

Growth and feed utilization parameters of intensive commercial rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) culture in Río Macho, Orosí, Costa Rica, are presented (average of 5 culture periods), together with the monthly variations in dissolved oxygen, temperature and water flow in the Jucó spring passing by the station. An artificial diet with locally available ingredients was formulated and used. The performances obtained were comparable to the best results reported for industrial trout culture in temperate countries, and could be maintained all the year in Costa Rica. Regression equations are obtained for the growth and feed utilization parameters analyzed. The recommended daily feed rations are presented graphically in % of body weight for trout between 5 and 200 grams and for temperatures between 8 and 20 °C.

INTRODUCCION

La trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*, Gall y Crandell 1992, antes de 1988: *Salmo gairdneri*), originaria de la vertiente del Pacífico de Norteamérica, ha sido introducida a todos los continentes del mundo con excepción de la Antártida (MacCrimmon 1971, Hershberger 1992), tanto para la pesca deportiva, como, sobre todo en las últimas décadas, para cultivo intensivo comercial (Hershberger 1992). En Costa Rica las primeras introducciones de trucha arco iris se realizaron en 1927 y posteriormente en 1954 (MacCrimmon 1971). Desde 1960 hasta 1981 el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) desarrolló un programa de siembra en numerosos ríos de montaña (Phillips 1984, Rodríguez 1990, Leininger 1986). En algunos de ellos, la trucha se ha convertido en un codiciado pez para la pesca deportiva (Leininger 1988, Rodríguez 1990, Anónimo 1990), aunque se reporta un fuerte descenso de sus poblaciones en la última década (Doyle y Phillips 1984, Leininger 1988). La ecología de la trucha arco iris en Costa Rica ha sido estudiada en aspectos de hábitos alimenticios, crecimiento y reproducción (Campbell 1973, Irwin 1983, Smith 1983, Phillips 1984).

A nivel mundial, el cultivo de la trucha ocupa el sexto lugar entre las especies piscícolas con una producción de 213.000 toneladas métricas en 1987 (Nash 1990), de las cuales unas 130.000 se producen en la Comunidad Económica Europea (Shaw y Gabbott 1992). En Latinoamérica, en concordancia con el pobre desarrollo de la acuicul-

tura (menos del 1% de la producción mundial, FAO 1989), la producción es modesta. Colombia, México, Perú y Venezuela reportaron en 1985 producciones anuales entre 300 y 400 t, Argentina (FAO 1984) 250 t, Costa Rica y Ecuador de 25 y 30 t, respectivamente (FAO 1986). La trucha también ha sido introducida en Venezuela (1986: 406 t), Panamá (1987: 35 t) y Bolivia (1985: 160 t) (Saint-Paul, 1992, FAO 1984). En Chile, sin embargo, el incremento de la producción en los últimos años ha sido espectacular, pasando de 619 t en 1985 a 8.393 t en 1991 (Boeuf y Medina 1990, Anónimo 1992), en su mayoría cultivadas en jaulas marinas.

En Costa Rica el cultivo de la trucha se inicia desde 1970 con apoyo del MAG, que en sus estaciones de Fraijanes y actualmente de Ojo de Agua incuban huevos importados y vende los alevines a pequeños productores. Las estimaciones sobre la producción de trucha en Costa Rica son muy variables, oscilando entre 10 t (comunicación personal H. Rümmelein 1989) a 80 t anuales (FAO 1984). El Ministerio de Agricultura reporta para 1986 y 1988 25 y 30 t, respectivamente (Porrás y Gutiérrez 1990). Los productores costarricenses de trucha son definidos por el MAG como «semi-comerciales» con una producción promedio de menos de 2 t anuales. Algunos están asociados en cooperativas. El sistema de producción es generalmente semiintensivo, en estanques de tierra y con alimentación irregular de granulosos de cerdo o tilapia. En el Plan Nacional de Acuicultura 1990, el MAG utiliza parámetros de cultivo semiintensivo: tiempo de cosecha para tamaño porción (250 g) de 10 a 11 meses, alimento para tilapia con 28% proteína, alimentación adicional con insectos mediante fuentes de luz, factor de conversión 2,3, mortalidad 35%, densidad de siembra 20 truchas/m² (Porrás y Gutiérrez 1990). La recomendación de un cultivo semiintensivo se debió probablemente a que no se producía en Costa Rica ningún alimento granulado adecuado para trucha. Muchos truchicultores tuvieron serios problemas de mortalidad y bajo crecimiento, probablemente debido a deficiencias nutritivas.

Aunque desde 1990 ya se ofrecen comercialmente dietas para trucha, hasta la fecha no se ha publicado en Costa Rica ningún estudio analizando la capacidad de crecimiento y de utilización de

alimento de la trucha con dietas completas. La finalidad de la presente investigación es la de lograr datos biológicos de referencia para el cultivo intensivo, utilizando una dieta completa formulada con ingredientes localmente disponibles y fabricada en el país.

METODOS

Estación experimental. La estación truchícola de Río Macho (Convenio Universidad Nacional-Instituto Costarricense de Electricidad), se encuentra a 1.600 m de altura sobre el nivel del mar, a unos 500 m al oeste del Embalse El Llano, al sur de Orosi. Una pequeña represa de cemento en la quebrada Jucó, afluente del Río Grande de Orosi, suministra el agua a 3 tanques de cemento de 3 x 12 m y 1 m de profundidad, conectados en paralelo.

Factores físico-químicos. Todos los miércoles, entre 9 y 10 a.m., se midieron la temperatura y el oxígeno disuelto del agua en el canal de entrada, así como el caudal total de la quebrada. Este último se obtuvo midiendo la altura que alcanzaba el agua en un corte de 1 m de ancho y 15 cm de profundidad practicado en la corona de la represa según la fórmula (Jens 1983):

$$\text{Caudal} = 2,525 * b * h^{(3/2)}$$

donde b: altura que alcanza el agua en el corte
h: ancho del corte

Animales. Entre febrero 1990 y diciembre 1991 se realizaron 5 ensayos de cultivo intensivo con alevines comprados en la Estación de Ojo de Agua del Ministerio de Agricultura y Ganadería. El cuadro 1 indica las fechas de compra así como el número y peso promedio de los alevines.

Sistema de cultivo intensivo. Cada ensayo se dividió en 3 etapas, iniciación, engorde y almacenamiento para venta, de aproximadamente 3 meses cada una. En la etapa de iniciación los alevines se mantuvieron en un área de 3 x 3 x 0,8 m situada al extremo de uno de los tanques y separada del resto por una malla de 1 mm. Para la etapa de engorde se pasaban los alevines al otro lado de la malla (zona de 3 x 9 m) o bien a otro tanque de 3 x 12 m, hasta alcanzar el tamaño comercial de 200 a 250 g peso

Cuadro 1.

Datos iniciales de los alevines comprados y sobrevivencia en las 3 etapas del cultivo

Cultivo	1	2	3	4	5	
Fecha compra	30-1-90	19-6-90	24-10-90	13-2-91	24-4-91	
Número inicial	2.866	1.146	1.036	2.200	1.900	
Peso inicial	0,42	0,8	6,8	0,386	1,51	
Sobrevivencia						Promedio
Precría	87,2	96,1	96,9	79,1	81,9	88,2
Engorde	86,0	79,7	96,5	69,8	74,3	81,3
Ventas	74,4	63,9	76,0	65,7	66,4	69,3

promedio. Luego las truchas se transferían a un tanque de 3 x 12 metros, donde se mantenían para la venta. En cada traslado todas las truchas se contaban individualmente. Se llevó un control exacto de las truchas vendidas, de forma que se pudieron establecer también las pérdidas en la etapa de venta. Un grupo de unas 80 truchas del primer cultivo se mantuvo por separado por más de 2 años, pesándose periódicamente muestras de 15 a 20 peces.

Dieta. Con base en los requerimientos nutricionales de la trucha arco iris (Tacon 1987, Lovell 1989) se formuló una dieta completa (ver cuadro 2) suplementada con la mezcla vitamínica Vitamelk (cuadro 3) de la empresa Colborn Dawes. La dieta se fabricó para la etapa de iniciación en el laboratorio de la Universidad Nacional con diámetro de gránulo de 1 a 3 mm, y para las etapas de engorde y venta con gránulos de 4 mm en una empresa nacional.

Alimentación. La ración de alimento diaria se

Cuadro 2.

Composición de ingredientes y análisis proximal de la dieta

Ingredientes		Composición proximal	
Harina pescado	34,65	Proteína	41,5
Harina soya	19,2	Lípido	13,7
Harina sangre	10	Carbohidrato	26,3
Harina carne hueso	5	Fibra	7,7
Harina trigo	10	Ceniza	11,0
Harina maíz	10		
Aceite soya	9,95	Energía bruta	4.900 cal/g
Sal	0,5		
Premezcla vit.	0,5		
BHT	0,2		

Premezcla de vitaminas y minerales VITAMELK A de COLBORN DAWES, al 0,5% en iniciación y al 0,25% en engorde.

Cuadro 3.

Composición de la premezcla de vitaminas y minerales VITAMELK A de la casa ROCHE S. A.

Sustancia	Cantidad	Unidad
Vitamina A	8.000.000	UI
Vitamina D3	1.600.000	UI
Vitamina E	30.000	UI
Vitamina K3	5.000	mg
Tiamina B1	10.000	mg
Riboflavina B2	20.000	mg
Niacina B3	100.000	mg
Pantotenato	40.000	mg
Piridoxina B6	10.000	mg
Biotina B8	200	mg
Ac. fólico	3.000	mg
Vitamina B12	20	mg
Vitamina C	300.000	mg
Colina	300.000	mg
Manganeso	40.000	mg
Hierro	40.000	mg
Zinc	50.000	mg
Cobre	5.000	mg
Yodo	1.000	mg
Selenio	100	mg
Cobalto	100	mg

Vehículo CaCO₃. Cantidades por dosis de 2,3 kg

calculó con base en el peso promedio de la muestra semanal o quincenal (ver abajo), siguiendo un modelo de ración metabólica, comenzando con una ración de 16,5 g/kg^{0,8}/día y reduciéndola progresivamente cada vez que el muestreo arrojaba un factor de conversión mayor de 1,2, hasta aproximadamente 14 g/kg^{0,8}/día al final de la fase de engorde. Los peces se alimentaron inicialmente 8 veces diarias, disminuyendo gradualmente hasta 3 veces diarias en la etapa de venta.

Venta. Durante la etapa de venta se escogían semanalmente los peces necesarios para abastecer determinados clientes a un ritmo promedio de 25 kg por semana. Los peces se seleccionaban para 2 tipos de cliente: peces tamaño plato (250-300 g

eviscerado) para restaurantes y peces mayores (300-500 g) para clientes individuales. El resto de los peces se siguió alimentando con aproximadamente un 1,5% de su biomasa durante toda la etapa de venta.

Toma de datos. En los 2 primeros cultivos semanalmente y en los 3 últimos, quincenalmente, se pesaron de forma individual muestras de 50 a 100 individuos. En la etapa de iniciación la muestra se tomaba directamente con un pascón grande, atrayendo los alevines con un poco de alimento. En la etapa de engorde se reunían primero las truchas con un chinchorro de 5 metros en un espacio reducido, tomando luego la muestra con un pascón. El muestreo se realizaba por la mañana, con los peces en ayunas.

Con los pesos individuales se determinaron el peso promedio, pesos mínimo y máximo, coeficiente de variación y coeficiente de asimetría.

Datos secundarios. Con base en los datos de peso obtenidos y la cantidad de alimento (peso seco) suministrado se calcularon los siguientes parámetros:

$$\text{Tasa específica de crecimiento} \\ \text{TEC} = (\ln Pf - \ln Pi) * 100/d \quad (1)$$

$$\text{Coeficiente de crecimiento G} \\ G = ((Pf)^{1/3} - (Pi)^{1/3})/d \quad (2)$$

$$\text{Coeficiente termounitario de crecimiento CTC} \\ \text{CTC} = G / t \quad (3)$$

$$\text{Factor de conversión base húmeda} \\ \text{FC} = \text{Alimento entregado (seco)} / (Pf - Pi) \quad (4)$$

$$\text{Tasa de eficiencia proteica} \\ \text{TEP} = (Pf - Pi) / \text{Proteína entregada} \quad (5)$$

$$\text{Sobrevivencia} \\ S = (Nf/Ni) * 100 \quad (6)$$

donde P: peso fresco, N: número de peces, d: número de días del período, i,f: inicial y final, t: temperatura en °C

Análisis estadístico. Dado que los 5 cultivos se

realizaron en condiciones similares, los datos se trataron en conjunto y se analizaron con técnicas estadísticas de regresión del paquete Statgraphics 4.0. Como los pesos iniciales de los 5 ensayos eran bastante diferentes, se ajustó el tiempo de inicio de los diversos cultivos para homogeneizar los datos: el cultivo 5 se retrasó 1 semana y el cultivo 3, 5 semanas con respecto al inicio común de los cultivos 1, 2 y 4.

RESULTADOS

Factores físico-químicos

Precipitación

La figura 1A presenta las medias mensuales de precipitación en el Embalse El Llano durante la década de 1980 a 1990 según datos del Instituto Costarricense de Electricidad. La media anual de precipitación fue de 3.170 mm, distribuida en 2 estaciones: seca, febrero-abril, con promedio de

100 mm mensuales, y lluviosa, junio-octubre, con promedio de 400 mm mensuales. La precipitación mínima mensual de este período correspondió a un mes de abril con solamente 25 mm, la máxima a un mes de agosto con 655 mm. El inicio de la estación lluviosa es relativamente abrupto, con el mes de mayo de transición (300 mm), mientras que la estación seca se introduce gradualmente, con una transición de 3 meses (noviembre, diciembre y enero).

Quebrada Jucó

El caudal de la quebrada (Fig. 1C) refleja la estacionalidad de la precipitación, aunque con aproximadamente 1 mes de retraso. De enero a mayo inclusive, el caudal estuvo por debajo de 20 litros/segundo, con una media mensual mínima en abril de alrededor de 5 l/s. El valor semanal mínimo registrado correspondió al mes de marzo con 1,0 l/s, el máximo registrado al mes de junio con más de 90 l/s. Sin embargo, durante la estación lluviosa

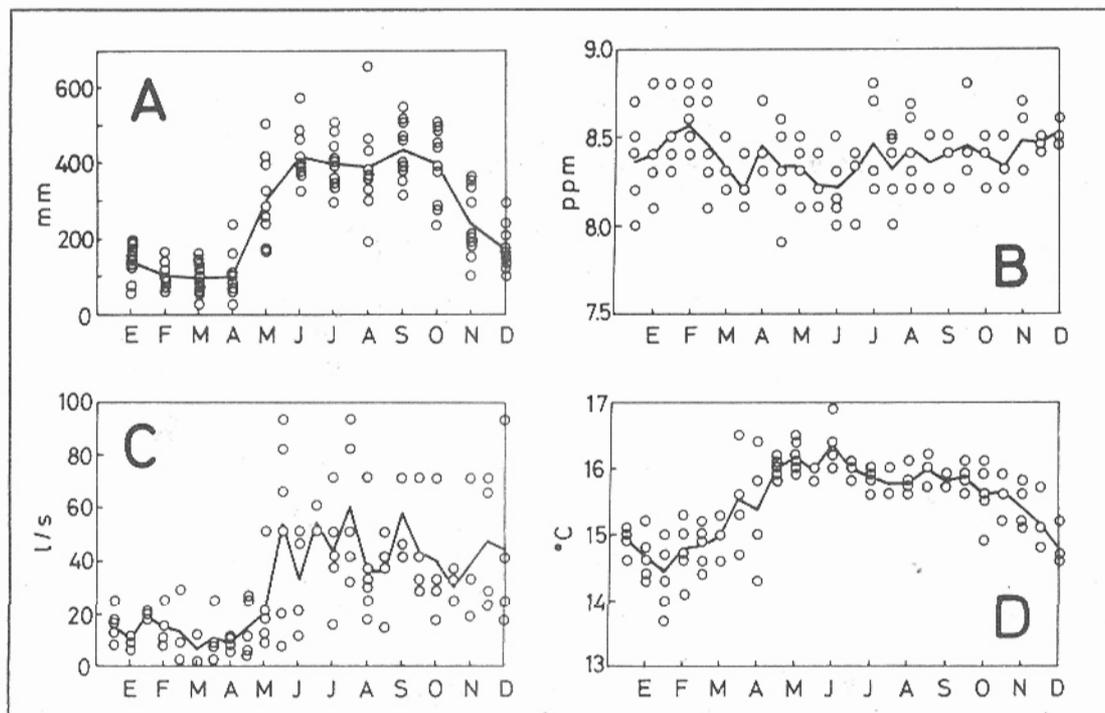


Figura 1. Datos ambientales de la zona de cultivo. A: precipitación, datos mensuales y promedios para el período 1980-1990 en el Embalse El Llano, B: oxígeno disuelto, C: caudal y D: temperatura. La línea une los promedios quincenales de los datos semanales para el período enero 1990-abril 1992.

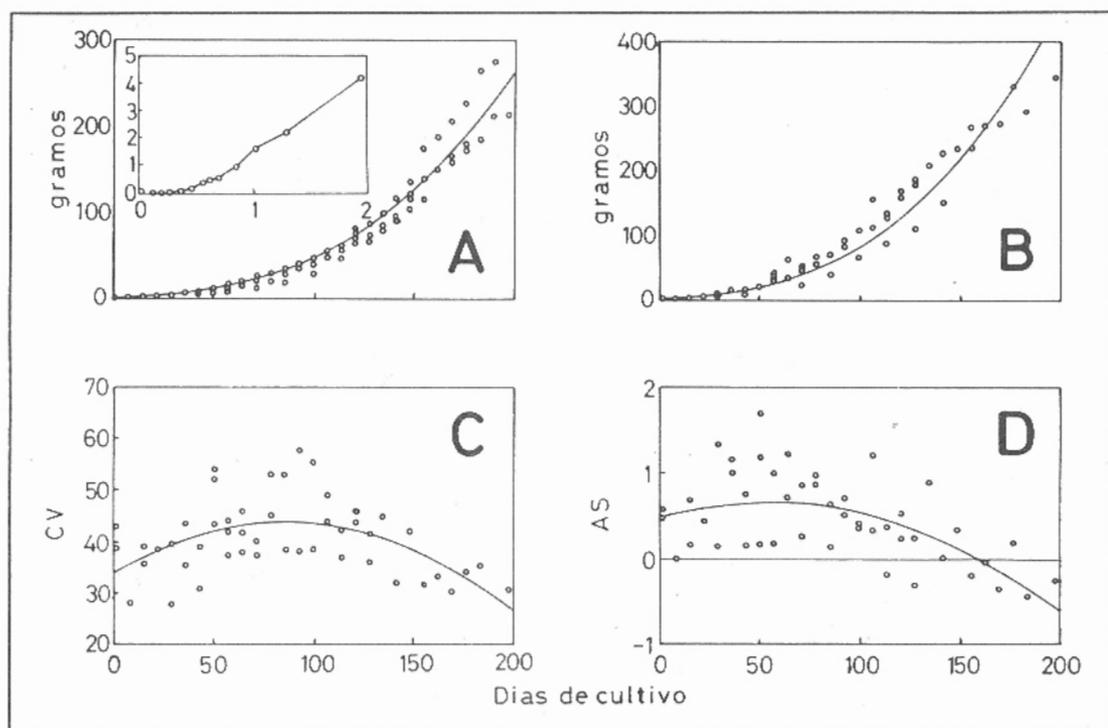


Figura 2. Parámetros de peso y de dispersión de pesos de la trucha en cultivo intensivo. A: peso promedio, B: pesos máximos de las muestras, C: coeficiente de variación, D: coeficiente de asimetría, en función de los días de cultivo. El cuadro interno en A muestra los pesos promedio (en kg) de un grupo de 80 truchas que se mantuvo hasta los 2 años de edad (abscisa). Las curvas en A y B representan las regresiones del cuadro 4. Las curvas en C y D son las funciones cuadráticas de mejor ajuste.

hubo caudales momentáneos mucho mayores, debido a que durante fuertes lluvias el agua rebasaba toda la presa de 3 metros de ancho en varios centímetros.

La temperatura media anual (Fig. 1D) de la quebrada fue de 15,6 °C con un mínimo de 13,7 (febrero) y un máximo registrado de 16,9 (junio). Durante la estación seca la temperatura media mensual oscila entre 14 y 15 °C, durante la estación lluviosa la temperatura se mantuvo alrededor de los 16 °C.

La media anual del oxígeno disuelto en la quebrada Jucó (Fig. 1B) es de 8,4 ppm con una variación pequeña entre 8 y 9 ppm. La variación estacional es apenas reconocible, con valores algo más altos en la estación seca y más bajos en la lluviosa.

Crecimiento

La figura 2 muestra el peso promedio (2A) y el peso máximo de cada muestreo (2B) en función del tiempo de cultivo. En 6 meses de cultivo se alcanzó un peso promedio de 200 g y pesos máximos de más de 300 g. El recuadro de la figura 2A muestra el crecimiento promedio de 80 peces que se mantuvieron por separado por un período de 2 años. El peso promedio final fue superior a los 4 kg, el peso máximo a los 2 años fue de 5,6 kg.

La figura 3 muestra las tasas de crecimiento y los parámetros de utilización del alimento. La tasa de crecimiento específica TEC (Fig. 3A) disminuye desde aproximadamente un 9% peso corporal/día al inicio del cultivo hasta alrededor de un 1% a los 200 días. La relación entre TEC y el tiempo de cultivo se puede representar satisfacto-

riamente por una regresión logarítmica (cuadro 4). Por el contrario, la tasa de crecimiento G no depende del tiempo de cultivo (Fig. 3B). Un análisis de regresión muestra un valor de intercepto (0,276) altamente significativo ($P=0,00001$) mientras que la pendiente no es diferente de 0 ($P=0,98$). Utilizando la tasa de crecimiento de 0,276 para los pesos promedio y asumiendo valores iniciales de peso de 0,69 y 1 g para pesos promedio y máximo, respectivamente, se calcularon las funciones incluidas en el cuadro 4 y graficadas en la figura 2 (2A y 2B), que expresan los pesos promedio y máximo en función del tiempo de cultivo. La tasa de crecimiento G para los pesos máximos es de 0,335.

Variabilidad

Las figuras 2C y 2D muestran los coeficientes de variación y de asimetría durante el crecimiento de las truchas. Aunque la dispersión es muy alta puede reconocerse en ambos casos un incremento inicial a valores máximos entre los 40 y 80

días de cultivo, seguido de una disminución progresiva durante el resto del período. Las curvas representan las funciones cuadráticas de mejor ajuste.

Utilización del alimento

Las figuras 3C y 3D muestran los valores acumulados del factor de conversión (FC) y de la tasa de eficiencia proteica (TEP) a lo largo del cultivo. Las curvas representan las funciones de mejor ajuste incluidas en el cuadro 4. El factor de conversión acumulado tiende a subir durante el cultivo, especialmente en los primeros días, y puede estimarse a los 6 meses de cultivo en aproximadamente 1,25. La tasa de eficiencia proteica disminuye durante el cultivo, alcanzando a los 180 días un valor de 2,0, aproximadamente.

Sobrevivencia

El cuadro 1 muestra la sobrevivencia durante

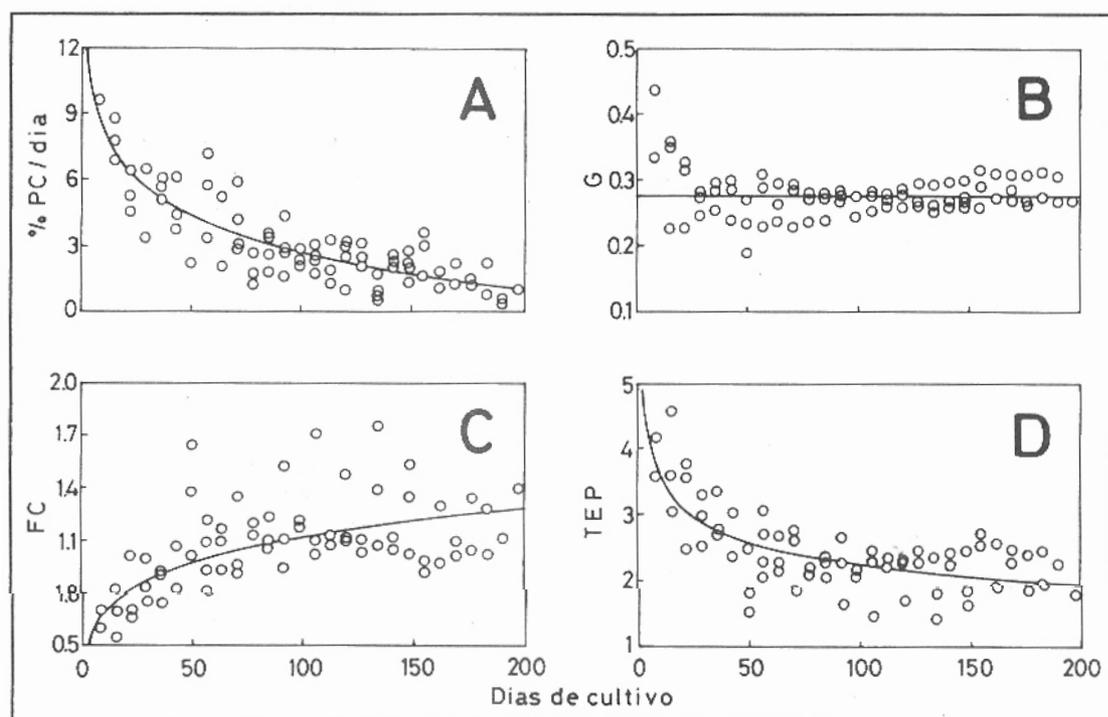


Figura 3. Tasas de crecimiento y de utilización del alimento. A: tasa de crecimiento específico, B: coeficiente de crecimiento G , C: factor de conversión aparente acumulado, D: tasa de eficiencia proteica acumulada. Abscisa: días de cultivo. Las curvas representan las regresiones del cuadro 4.

Cuadro 4.

Expresiones matemáticas para crecimiento y utilización del alimento en cultivo intensivo de trucha

Peso promedio = $(0,69^{(1/3)} + 0,0276 * t)^3$	$r^2 = 0,96$
Peso máximo = $(1,0^{(1/3)} + 0,0335 * t)^3$	$r^2 = 0,93$
Tasa de crecimiento específica	
TEC = $13,73 - 2,40 * \ln(t)$	$r^2 = 0,73$
Factor de conversión acumulado	
FC = $0,44 * t^{0,203}$	$r^2 = 0,45$
Tasa de eficiencia proteica acumulada	
TEP = $5,69 * t^{-0,203}$	$r^2 = 0,45$

las fases de iniciación, engorde y ventas de cada uno de los 5 cultivos y el promedio general. En la fase de iniciación la mortalidad promedio fue de aproximadamente un 12%, de 7% en la fase de engorde y de nuevo un 12% durante la fase de almacenamiento y venta. Se encontró una correlación positiva (0,58) entre la sobrevivencia en el período de iniciación y el tamaño de compra de los alevines, pero no es estadísticamente significativa.

Venta

En promedio las etapas de iniciación y engorde duraron en conjunto 6 meses, la de venta 3,4 meses. Se cosecharon en los 5 ensayos 766,4, 188,3, 213,2, 346,1 y 430 kg, respectivamente,

Cuadro 5.

Resumen de datos de producción

Truchas compradas	9.048
Truchas producidas (-19% mortalidad)	7.329
Período producción promedio	6 meses
Peso promedio 6 meses	200 g
Biomasa fin período producción	1.466 kg
Truchas vendidas	6.263
Biomasa vendida eviscerada	1.944 kg
Biomasa fresca (más 15% vísceras)	2.287 kg
Biomasa adicional en período venta	821 kg

para un total de 1.943,98 kg de trucha eviscerada. En el cuadro 5 se consigna el número y peso total de los peces vendidos. Menos del 0,5% de las truchas compradas no pudo ser vendido por enanismo o deformaciones al final del período de venta. Si se compara con el número y biomasa de los peces al finalizar la etapa de engorde puede constatar-se un aumento adicional de la biomasa de un 56% durante la etapa de venta.

DISCUSION

Factores físico-químicos

Las condiciones físico-químicas de la quebrada Jucó reflejan la estabilidad de los ríos tropicales durante el ciclo anual. La variación de la temperatura promedio de la quebrada Jucó fue de solamente 2,0 °C (mínimo en la estación seca, máximo en la lluviosa), la diferencia máxima detectada en el período de esta investigación fue de 3,2 °C. Estas variaciones son semejantes a lo reportado por Phillips (1984) para los ríos Ciruelas y Sarapiquí, a saber 3,0 y 2,8 °C. La escasa variación del oxígeno disuelto se debe probablemente a la variación de la temperatura. Estas condiciones tan estables permiten cultivar la trucha durante todo el año, al contrario de lo que sucede en climas templados, donde el crecimiento prácticamente se suspende en invierno.

Por otra parte, el caudal de nuestros ríos varía fuertemente en dependencia del régimen de pluviosidad, como ya reporta Phillips (1984). En el caso de la quebrada Jucó, de escasos 2 km de largo, los caudales mínimos encontrados en la estación seca (1,0 l/s) no permiten mantener una producción constante de trucha. También en ríos de mayor caudal será siempre recomendable conocer los caudales mínimos de la estación seca para poder estimar la factibilidad de una explotación comercial.

Mortalidad

La mortalidad total al término del período de producción (6 meses, 19%) es menor que los valores mencionados por Logan y Johnston 1992

para cultivos comerciales (31 vs. 36%). Al igual que lo mencionan otros autores (ver Logan y Johnston 1992) la mortalidad en nuestros ensayos fue mayor en el período de iniciación (12%), que en el de engorde (7%). No tenemos sin embargo una explicación razonable para la alta mortalidad durante el período de venta (12%). Aunque ocasionalmente se encontraron truchas muertas en los tanques por causas desconocidas, su número no puede explicar la alta mortalidad en este período. Hubo indicios de robo (aparición ocasional de anzuelos en los tanques), depredación (visitas de garzas tigre, *Tigrisoma sp.*) y fuga en algunos casos en que los tanques se rebasaron por las crecientes.

No se observaron patologías masivas. En el período de engorde eran frecuentes aletas dorsales necróticas (blancas) en las truchas de mayor tamaño, a la vez que una cierta propensión al desmayo durante la manipulación, ambos indicios probables de una deficiencia de ácido linolénico (Lovell 1989), pero no se observaron efectos ni en el crecimiento ni en la mortalidad. En período de bajo caudal de agua las truchas tendían a cubrirse de hongos (probablemente *Saprolegnia*), que desaparecían de nuevo al aumentar el caudal en la época lluviosa, sin mortalidad aparente.

Crecimiento

Comparar tasas de crecimiento de diversas especies de peces es difícil debido al gran número

de factores que intervienen: temperatura, edad del pez, peso del pez, oxígeno disuelto, etc. La tasa específica de crecimiento (TEC), usada tradicionalmente, tiene el inconveniente de que disminuye rápidamente con el peso del animal, sobre todo en la fase juvenil (Fig. 3A). La tasa de crecimiento G por el contrario, basada en una transformación con la raíz cúbica del peso (Ecuación 4), varía poco con el peso, por lo menos en las etapas juveniles (Fig. 3B). Por esta razón se usa con frecuencia en estudios de larvas de peces (Hogendoorn 1980, Verreth y Den Bieman 1987, Günther y Boza 1991, Günther et al. 1992). Iwama y Tautz (1981) mostraron que G permanece constante durante el cultivo comercial de salmónidos e incluyeron la temperatura en el modelo. Cho (1992) dividió G por la temperatura en grados Celsius y obtuvo un **coeficiente termounitario de crecimiento (CTC)**, que por lo tanto no depende ni de la temperatura ni del peso, por lo que se puede utilizar para comparar crecimientos a diferentes temperaturas.

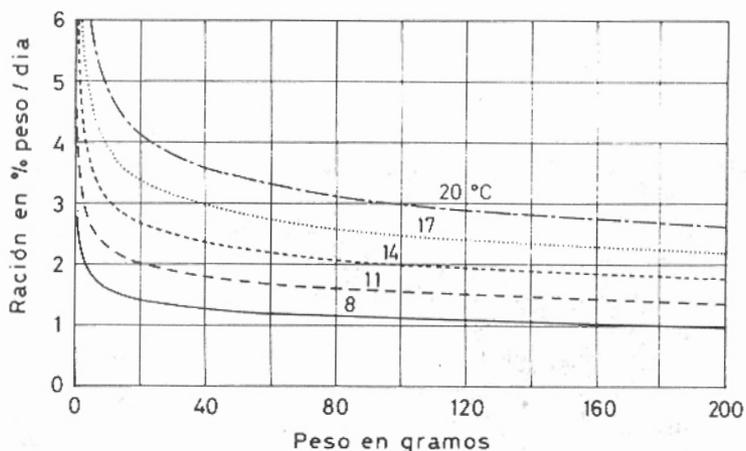
En el cuadro 6 se han compilado los coeficientes termounitarios de crecimiento recalculados de diversas publicaciones recientes sobre cultivo de trucha arco iris. El crecimiento obtenido en este trabajo equivale a los más altos reportados hasta la fecha (Cho 1992, Smith et al. 1988) con la excepción de los logrados con hormona de crecimiento (Agellon et al. 1987). En comparación con otros cultivos comerciales hay que reconocer que nuestros ensayos se efectuaron con densidades finales

Cuadro 6.

Comparación de coeficientes de crecimiento termounitarios en cultivos de trucha arco iris

Autor	Año	CTC*1000	Condiciones
Blanco	1984	0,94-1,37	cultivo industrial temperaturas (7-18 °C)
Cho	1992	1,53-1,74	razas diferentes
Agellon	1987	2,12	con hormona de crecimiento
		1,12	control sin hormona
Smith	1987	1,29-1,7	razas diferentes
Papoutsoglou	1987	1,24-1,65	comercial, densidad: (14-88 kg/m ³)
Este trabajo	1992	1,78	5-15 kg/m ³
Reinitz	1987	1,33	tanques 2.000 l
Alexis et al.	1986	1,33	raceways de cemento

Figura 4. Raciones recomendadas para cultivo intensivo de trucha (en % peso corporal por día), calculadas para 5 temperaturas entre 8 y 20 °C, bajo el supuesto que se utilice una dieta semejante a la de este trabajo.



relativamente bajas (5 a 15 kg/m³), lo que favorece el crecimiento de la trucha (Refstie 1977). Por otra parte, hubo 2 factores que afectaron probablemente al crecimiento y que podrían evitarse en cultivos comerciales: el muestreo frecuente que provoca estrés en los animales y los frecuentes cambios en la calidad del alimento (transición de alimento de laboratorio a alimento comercial, cambios en el alimento comercial) que provocaron en la trucha reacciones pasajeras de rechazo.

Alimento

Aunque la calidad del alimento fabricado en el laboratorio se mantuvo constante en los 5 ensayos, pudo constatar un deterioro progresivo del alimento comercial: la harina de pescado peruana tuvo que ser reemplazada por harina nacional, de menor contenido de proteína y de peor calidad; el aceite de soya fue reemplazado en parte por aceite de palma, sin aviso por parte del fabricante, lo que redujo el aporte de ácido linoleico, nutriente esencial para la trucha; la harina de maíz amarillo dejó de ser molida a grado talco o polvo, como se hacía al inicio; la calidad de la granulación disminuyó notablemente, debido probablemente a la poca disposición por parte del fabricante a cambiar el ajuste de la máquina granuladora; el aporte de harina de sangre fue disminuido sin aviso previo, al disminuir su disponibilidad. Probablemente debido a estos cambios el mejor crecimiento se obtuvo en el primer ensayo y no se pudo repetir en los ensayos posteriores.

Utilización del alimento

El factor de conversión (FC) y la tasa de eficiencia proteica (TEP) son indicadores de la eficiencia en la utilización del alimento en general y de la proteína del alimento, respectivamente. Los valores obtenidos en el presente trabajo (FC de 1,25 y TEP de 1,99) son levemente peores que los que se reportan para cultivo comercial de truchas en general. Smith *et al.* (1988) reportan un FC de 1,1 y una TEP de 2,06, Stevenson (1987) considera un FC de 1,15 como óptimo en cultivos comerciales, Pappoutoglou *et al.* (1987) obtuvieron con bajas densidades (densidad final 5,3 kg/m³) un FC de 1,1 con una TEP de 2,0 con pesos finales de 180 g, Alexis *et al.* (1986) un FC de 1,35 con pesos finales de 77 g. Según Steffens (1987) se puede alcanzar en la producción industrial de trucha una TEP de 2,04. Tal como han reportado otros autores (FC y TEP de 0,8 y de 3,0 con dietas con 45% de proteína en peces jóvenes, Takeuchi *et al.* 1978, citados en Steffens 1987), también en este trabajo es aparente una mejor utilización del alimento en la fase juvenil.

En general se puede concluir que el crecimiento y la sobrevivencia de la trucha arco iris en régimen de cultivo intensivo con dietas formuladas y fabricadas en Costa Rica fueron buenos. Los valores de utilización de alimento y de proteína fueron muy cercanos a los estándares internacionales reportados para cultivos comerciales. Es probable que un manejo mejor pueda lograr todavía mayores

tasas de crecimiento. La utilización alimenticia podrá mejorarse a medida que las dietas fabricadas en Costa Rica alcancen niveles de calidad comparables con los internacionales, tanto en lo referente a la calidad y disponibilidad de los ingredientes como a un proceso de fabricación adecuado para animales acuáticos.

Ración recomendada

Aunque el coeficiente G es muy útil para fines comparativos, el cálculo de raciones usando este coeficiente es engoroso y requiere de una computadora. La práctica de los cultivos comerciales utiliza raciones en % del peso corporal, que se ajustan periódicamente según crecen los peces. Tomando como base el coeficiente termounitario de crecimiento obtenido en este trabajo (CTC:

1,78), así como la variación del factor de conversión (Fig. 3C), se han calculado las raciones a entregar en % del peso corporal/día para varias temperaturas entre 8 y 20 °C. La figura 4 presenta estas raciones gráficamente en dependencia del peso de la trucha desde los 0,5 hasta los 200 gramos de peso.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el apoyo del Programa UNA-LUW-Acuicultura (Universidad Nacional y Universidad Agrícola de Wageningen, Holanda). Agradecemos al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), en cuyas instalaciones se llevó a cabo. Debe mencionarse también la entusiasta participación de Jesús Rivera Coto «Chiuta», encargado de la Estación de Río Macho 1990-1992.

LITERATURA

- Agellon, L. B., D. J. Emery, J. M. Jones, S. L. Davies, A. D. Dingle and T. T. Chen. 1987. Promotion of rapid growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) by a recombinant fish growth hormone. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45:146-151.
- Alexis, M. N., V. Theochari and E. Papapaskeva-Papoutsoglou. 1986. Effect of diet composition and protein level on growth, body composition, haematological characteristics and cost of production of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 58:75-85.
- Anónimo. 1990. Costa Rica: Un país apto para el cultivo de la trucha. *Hacienda*, 1:42-43.
- Anónimo. 1992. Aquaculture in Chile - introduced species set the pace. *Fish Farming International*, nov. 1992, p. 14.
- Blanco Cachafeiro, M. C. 1984. La trucha. Cría industrial. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 239 pp.
- Boeuf, C. and A. Medina. 1990. Chile: The promise and the problems. *World Aquaculture*, 21:14-24.
- Campbell, D. 1973. Ecology of rainbow trout in tropical waters and tropical aquaculture of trout. Associated Colleges of the Midwest, San José, Costa Rica. Mimeografiado, 26 pp.
- Cho, C. Y. 1992. Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. *Aquaculture*, 100:107-123.
- Doyle, J. y P. Phillips. 1984. El impacto humano sobre las poblaciones de truchas en los ríos de Vara Blanca de Heredia. Universidad Nacional, Costa Rica. Mimeografiado, 24 pp.
- FAO. 1984. Informes nacionales sobre el desarrollo de la acuicultura en América Latina. M. Pedini Fernando-Criado, Ed. FAO, Roma, FIR/R294, 137 pp.
- FAO. 1986. Informe de la segunda reunión del grupo de trabajo sobre acuicultura. COPESCAL FIR/F373, 36 pp.
- FAO. 1989. Planning for aquaculture development. FAO, Rome, ADCP/REP/89/33, 68 pp.
- Gall, G. A. E. and P. A. Crandell. 1992. The rainbow trout. *Aquaculture*, 100:1-10.
- Günther, J. and J. Boza Abarca. 1991. Intensive rearing of juveniles of *Cichlasoma managuense* (Günther 1869) in recirculated systems. *UNICIENCIA*, 8:3-10.
- Günther, J., N. Gálvez-Hidalgo, J. Ulloa-Rojas, J. Coppoolse and J. Verreth. 1992. The effect of feeding level on growth and survival of jaguar guapote (*Cichlasoma managuense*) larvae fed *Artemia* nauplii. *Aquaculture*, 107:347-358.
- Hershberger, W. K. 1992. Genetic variability in rainbow trout populations. *Aquaculture*, 100:51-71.
- Hogendoorn, H. 1980. Controlled propagation of the African catfish, *Clarias lazera* (C.&V.). III. Feeding and growth of fry. *Aquaculture*, 21:233-241.

- Irwin, D. 1983. Reproductive biology and population estimates of rainbow trout, *Salmo gairdneri*, in two mountain streams of Costa Rica. Associated Colleges of the Midwest, San José, Costa Rica. Mimeografiado, 14 pp.
- Iwama, G. K. and A. F. Tautz. 1981. A simple growth model for salmonids in hatcheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38:649-656.
- Jens, G. 1983. Así se crían truchas. Ediciones Marzo 80, Barcelona, España, 134 pp.
- Leininger, M. A. 1986. La trucha: un recurso recreativo turístico de Costa Rica. Universidad Nacional, Costa Rica. Mimeografiado, 45 pp.
- Leininger, A. 1988. La trucha: un recurso recreativo de Costa Rica. *Biocenosis*, 5:48-49.
- Logan, S. H. and W. E. Johnston. 1992. Economics of commercial trout production. *Aquaculture*, 100:25-46.
- Lovell, T. 1989. Nutrition and feeding of fish. Van Nostrand Reinhold, New York, 260 pp.
- MacCrimmon, H. R. 1971. World distribution of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 28:663-704.
- Nash, C. E. and C. B. Kensler. 1990. A global overview of aquaculture production in 1987. *World Aquaculture*, 21:104-112.
- Papoutsoglou, S. E., E. Paparaskeva-Papoutsoglou and M. N. Alexis. 1987. Effect of density on growth rate and production of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) over a full rearing period. *Aquaculture*, 66:9-17.
- Phillips, P. 1984. La biología y dinámica poblacional de la trucha Arco Iris (*Salmo gairdneri*) en los ríos Sarapiquí y Ciruelas de Heredia. Universidad Nacional, Costa Rica. Mimeografiado, 29 pp.
- Porras, P. A. y D. Gutiérrez Rodríguez. 1990. Programa Nacional Sectorial de Acuicultura. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica, 65 pp.
- Refstie, T. 1977. Effect of density on growth and survival of rainbow trout. *Aquaculture*, 11:329-334.
- Reinitz, G. 1987. Performance of rainbow trout as affected by amount of dietary protein and feeding rate. *Prog. Fish Culturist*, 49:81-86.
- Rodríguez, C. A. 1990. La trucha. Manjar acuático. Hacienda, 1:39-42.
- Saint-Paul, U. 1992. Status of Aquaculture in Latin America. *J. Appl. Ichthyol.*, 8:21-39.
- Shaw, S. and M. Gabbott. 1992. The development of trout markets and marketing with particular reference to the European experience. *Aquaculture*, 100:11-24.
- Smith, A. 1983. Food habits of rainbow trout, *Salmo gairdneri*, in an exotic environment: two mountain streams of Heredia, Río Ciruelas and Río Sarapiquí. Associated Colleges of the Midwest, San José, Costa Rica. Mimeografiado, 12 pp.
- Smith, R. R., H. L. Kincaid, J. M. Regenstein and G. L. Rumsey. 1988. Growth, carcass composition and taste of rainbow trout of different strains fed diets containing primarily plant or animal protein. *Aquaculture*, 70:309-321.
- Steffens, W. 1987. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Ed. Acribia, Zaragoza, España.
- Stevenson, J. P. 1987. Trout farming manual. Fishing News Books, Farnham, England, 259 pp.
- Tacon, A. G. J. 1987. The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp. A training manual. I. The essential nutrients. FAO, Brasilia, 117 pp.
- Verreth, J. A. J. and H. Den Bieman. 1987. Quantitative feed requirements of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell) larvae fed decapsulated cysts of *Artemia*. I. The effect of temperature and feeding level. *Aquaculture*, 63:251-267.