

Acuicultura Multitrófica Propuesta CORFO Propuesta de Difusión Tecnológica 2018-2021

Difusión de la tecnología de acuicultura integrada en tierra de pequeña escala al sector de pequeñas empresas de la pesca artesanal y comunidades costeras de la octava región, como una herramienta para diversificar sus actividades productivas y de generación de ingresos.

Facultad de Ingeniería UCSC. Departamento de Ingeniería Civil, Laboratorio LHIA
(<http://lhia.ucsc.cl/>)



Cultivo de Truchas en Sistema de Recirculación con agua de Agua de Mar, Biofiltro Pelillo



TALLER N ° 3

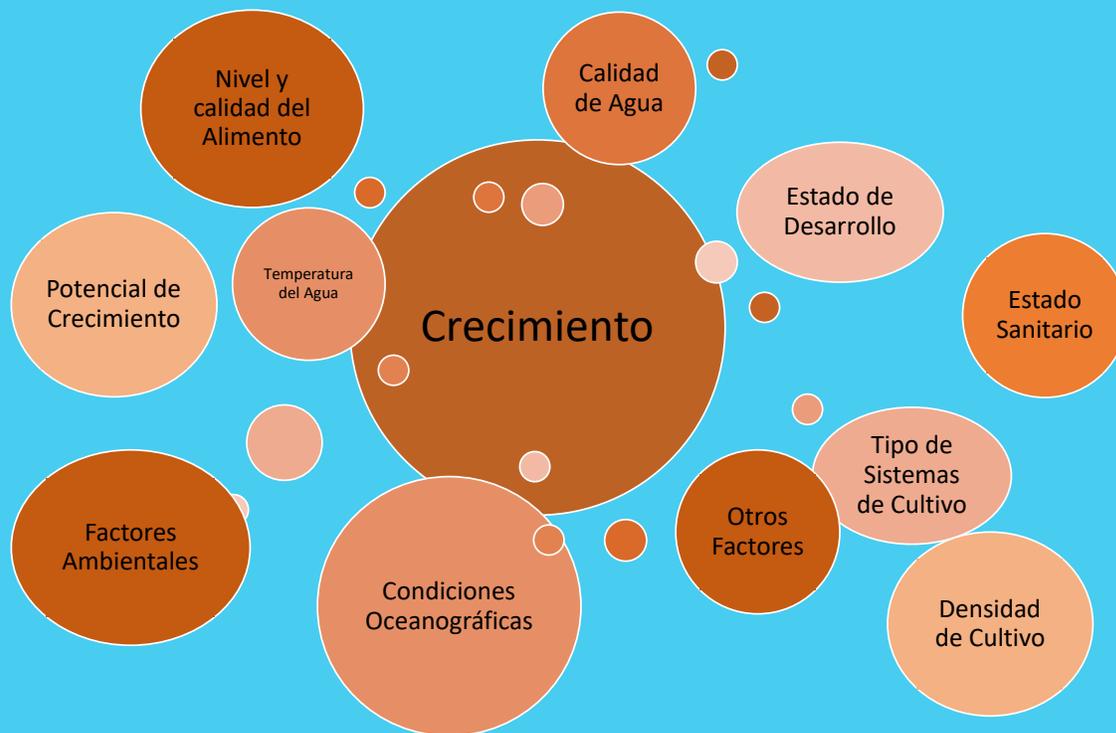
“Dimensionamiento, Instalación y Puesta en Marcha de un Cultivo Integrado de Pequeña Escala”

I. CRECIMIENTO

Definición Crecimiento

- Se suele definir el crecimiento de cualquier sistema biológico como el incremento ordenado de todos los elementos componentes de ese sistema, lo cual implica un aumento de la masa celular que eventualmente conduce a la multiplicación celular.
- En organismos pluricelulares dicha multiplicación se traduce en un aumento del tamaño del individuo, mientras que en unicelulares lo que ocurre es un aumento de la población.
- El crecimiento de un organismo implica un cambio de tamaño en el tiempo. Se puede medir este cambio utilizando como variables, principalmente, a la longitud o al peso. Un individuo obtiene energía del alimento y esa energía puede ser destinada a crecimiento, reproducción o actividad.

Factores que Influyen en el Crecimiento



Crecimiento: Medio Natural v/s Cultivo

Medio Natural

Crecimiento Natural

- Selección Natural
- Enfermedades
- Cambios Climáticos
- Capacidad de carga del medio "fija"



Cultivo

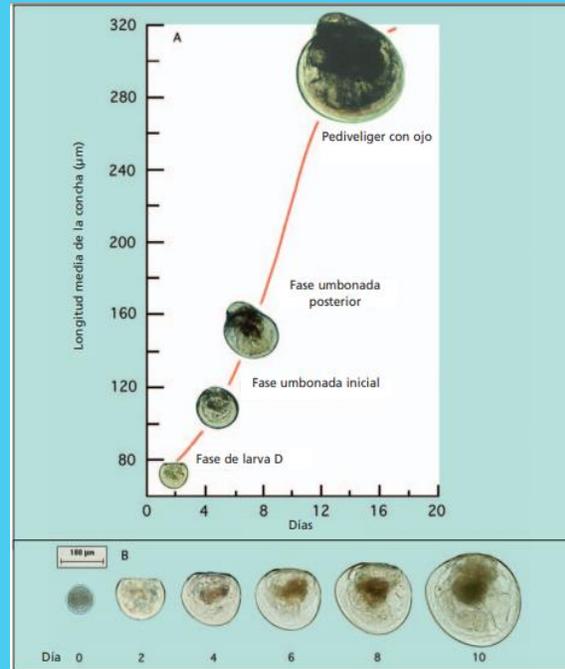
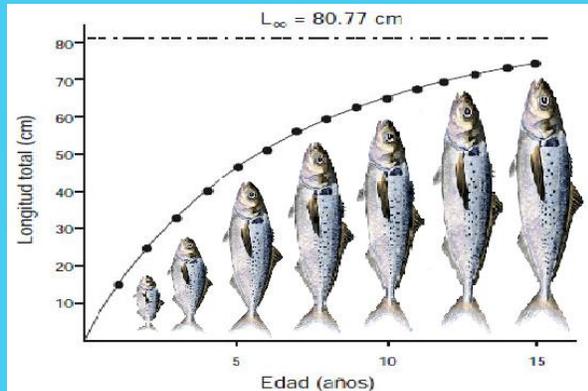


Crecimiento controlado

- Selección artificial de la especie
- Reducción o eliminación del efecto negativo de factores ambientales
- Alimentación artificial o controlada.
- Control y manejo de la capacidad de carga del medio artificial.
- Condiciones ambientales de desarrollo óptimas o más adecuadas.

(-) Biomasa (+)
(+) Tiempo (-)
(?) Costo (?)

Observación Visual del Crecimiento

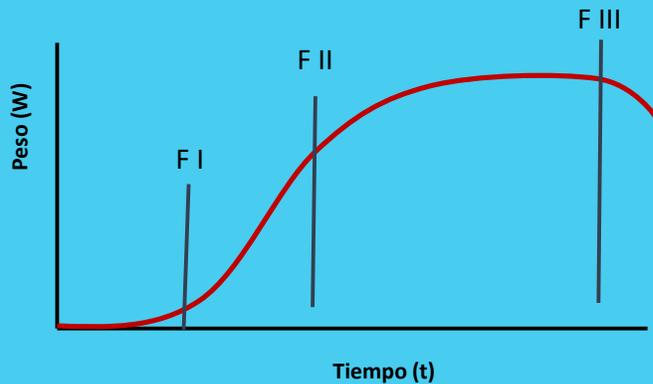


¿De qué depende que el Crecimiento sea Óptimo?



MODELOS DE CRECIMIENTO

Representación Gráfica del Crecimiento



Modelo Logístico

F I: Fase lenta, período inicial de crecimiento lento, en la que los organismos se acomodan a ese ambiente nuevo. La resistencia ambiental puede ser pequeña, pero existen pocos individuos reproductores.

F II: Fase logarítmica, período de crecimiento exponencial rápido, cuando los organismos se han adaptado perfectamente al medio.

F III: Fase de equilibrio o de estabilización gradual, en la que la resistencia ambiental se va manifestando gradualmente, hasta que se mantiene a un nivel de equilibrio.

Crecimiento Lineal

- Corresponde al incremento del peso corporal por unidad de tiempo.
- Siempre va a depender de la temperatura y oxigenación del agua de cultivo.
- Puede ser expresado de la forma:

$$\text{Tasa de Crecimiento (g/día)} = (WF - WI) / T$$

Donde:

Wf es el peso final en g

WI es el peso inicial en g

T corresponde a los días de cultivo que se demora en crecer de WI a WF

Otros Modelos de Crecimiento

➤ Tasa de Crecimiento por Unidad Térmica (CUT)

- Es el aumento en longitud de un individuo por unidad de tiempo (Haskell, 1959).

➤ Tasa Específica de Crecimiento (SGR)

- El crecimiento de los individuos tiene un comportamiento exponencial

➤ Coeficiente de crecimiento térmico (TGC)

- Considera que la temperatura es un factor relevante en el crecimiento (Cho, 1992)

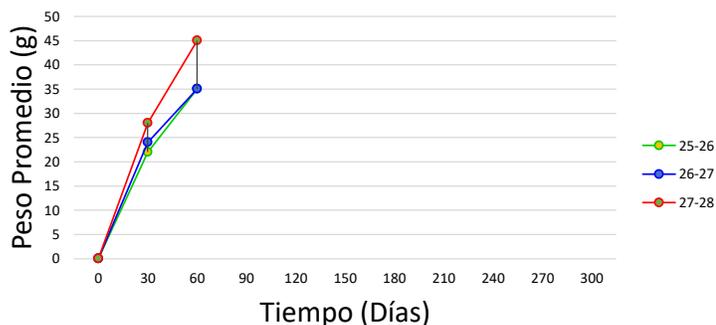
Todos los modelos buscan determinar las tasas de crecimiento para luego ser utilizadas en otras poblaciones

Ejemplo Visual del Crecimiento

Crecimiento de Tilapia a Diferentes Temperaturas

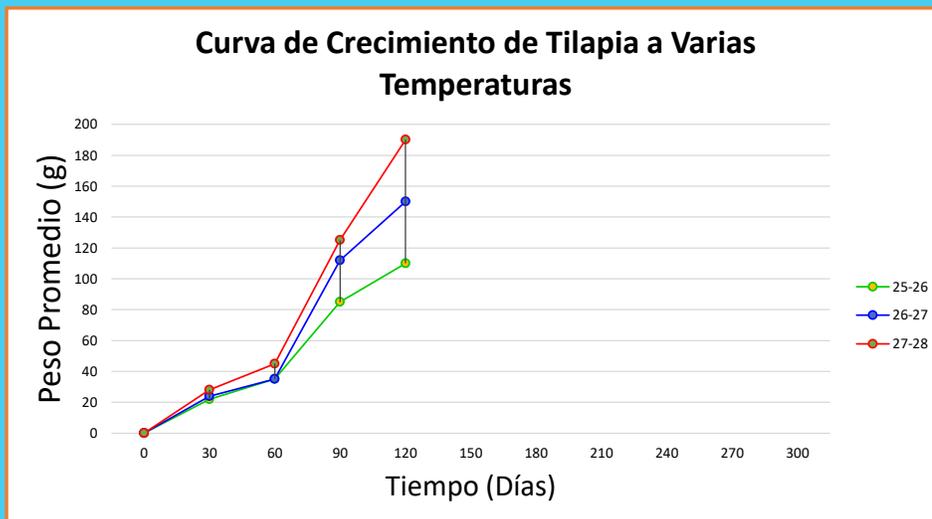
Tiempo (días)	25-26	26-27	27-28
0	0	0	0
30	22	24	28
60	35	35	45
90	61	68	85
120	85	112	125
150	110	150	190
180	150	210	260
210	190	290	360
240	260	370	490
270	350	510	660
300	445	685	890

Curva de Crecimiento de Tilapia a Varias Temperaturas



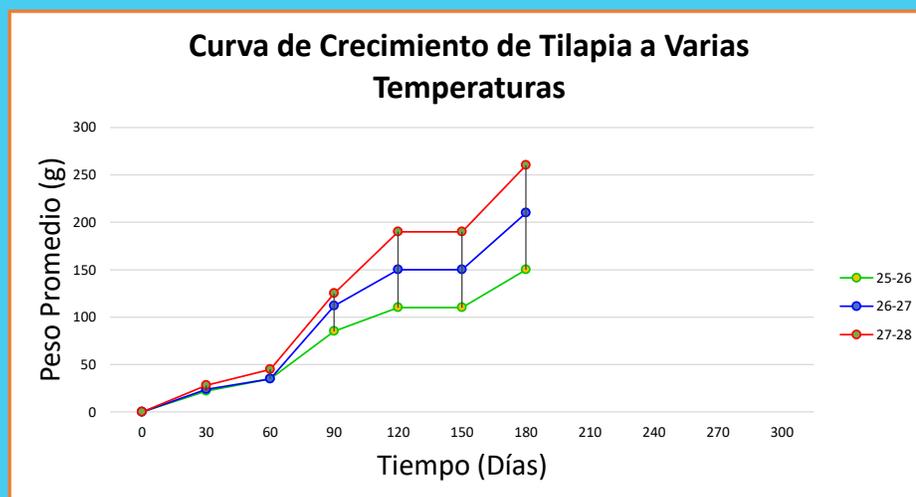
Crecimiento a los 60 días de Cultivo

Ejemplo Visual del Crecimiento



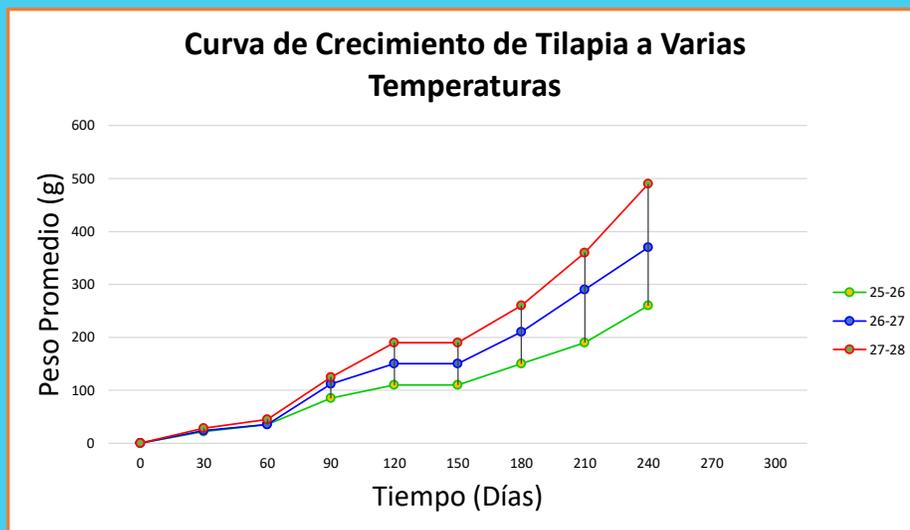
Crecimiento a los 120 días de Cultivo

Ejemplo Visual del Crecimiento



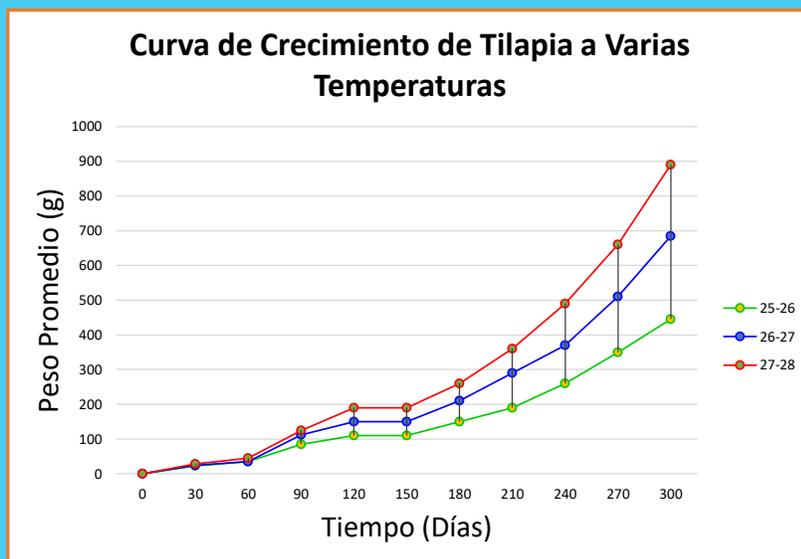
Crecimiento a los 180 días de Cultivo

Ejemplo Visual del Crecimiento



Crecimiento a los 240 días de Cultivo

Ejemplo Visual del Crecimiento



Crecimiento a los 300 días de Cultivo

II. ALIMENTACION

Definición Alimentación

- Corresponde a la ingesta de alimentos por parte de los organismos para conseguir los nutrientes necesarios y así con esto obtener energía y lograr un desarrollo equilibrado.
- El desarrollo de los individuos involucra procesos de crecimiento (peso-longitud) y diferenciación (metamorfosis, madures, otros).
- En acuicultura, la alimentación de los individuos en cultivo, esta en función de la expectativa de crecimiento en un período de tiempo y la capacidad del alimento de suministrar la energía suficiente para lograr este crecimiento.
- La cantidad de alimento puede ser estimada con modelos de crecimiento que representen adecuadamente el crecimiento (CUT, SGR, TGC, %Crecimiento diario.)

Formas de Estimar la Cantidad de Alimento

- Proyección (gruesa): Se utiliza para estimaciones gruesas de alimento, ciclos completos o partes.

$$\text{Cantidad de alimento} = \text{Ganancia en Peso} * \text{FC.}$$

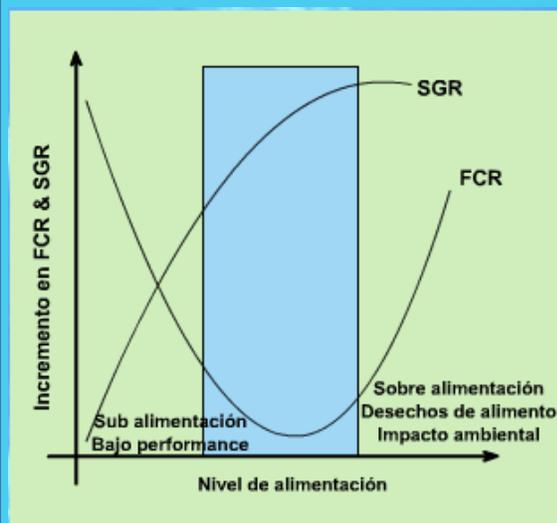
- Consumo diario: Se utiliza para determinar el alimento diario a una población y por lo general se expresa como Porcentaje Peso Cuerpo Día.

$$\%PC = (100 * \text{Ganancia peso/día}) / \text{Biomasa día}$$

¿ Qué es el Factor de Conversión FC?

- El FC o factor de conversión se refiere a cuántos kilos de alimento se necesitan para producir un kilo de salmón. Dicho de otra forma, el FC permite estimar la cantidad de alimento que se ha convertido en carne.
- El factor de conversión del alimento, depende de sus características propias de fabricación y insumos que utiliza (depende del fabricante), y de la forma que este es manejado en los centros de producción.
- El factor de conversión no es homogéneo para un tipo de alimento y varía según los usuarios finales.
- Por lo general la empresas fabricantes, sugieren un rango para este factor, el cual no es absoluto.
- En general, mientras más costosa es la ración, mejor es la calidad de los componentes y, por lo tanto, mejor es el potencial del FCR .
- Un buen FCR debería estar en el rango de 1.10 a 1.20.
- Cabe destacar que el promedio de la industria chilena está en los valores de 1.2 a 1.3.
- Una variable que influye en el FCR es el crecimiento.

¿ Cuánto Alimento debemos Suministrar?



- Como estrategia de alimentación se debe maximizar el crecimiento.
- El nivel de alimentación debe ser el que permita el máximo SGR (máximo potencial genético) y es, en este punto, cuando se alcanzan los menores valores de conversión de alimento (FCR). En consecuencia, **los niveles de alimentación deben estar en la zona celeste que es lo óptimo.**
- Si entregamos menos alimento del que necesitan para llegar a su máximo SGR los peces estarán utilizando el poco alimento para sus necesidades metabólicas, no teniendo energía y nutrientes para crear musculatura ósea, **por lo que el factor de conversión FCR será elevado.** En este caso, estaríamos subalimentando.

Tasa de Alimentación por temperatura y crecimiento

Tasa de Alimentación (% biomasa/día)										
Temperatura	50-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
6-7	0.82	0.69	0.54	0.54	0.51	0.43	0.39	0.37	0.34	0.34
7-8	1.01	0.85	0.67	0.67	0.63	0.53	0.46	0.43	0.39	0.38
8-9	1.19	1	0.8	0.8	0.75	0.62	0.54	0.48	0.44	0.41
9-10	1.39	1.16	0.95	0.95	0.92	0.8	0.69	0.63	0.55	0.58
10-11	1.59	1.31	1.09	1.09	1.08	0.96	0.84	0.76	0.66	0.55
11-12	1.73	1.43	1.15	1.15	1.11	0.97	0.85	0.79	0.69	0.61
12-13	1.87	1.54	1.21	1.21	1.14	0.97	0.86	0.81	0.72	0.68
13-14	2	1.66	1.29	1.29	1.19	0.99	0.88	0.82	0.74	0.66
14-15	2.18	1.81	1.4	1.4	1.27	1.03	0.91	0.85	0.78	0.66
15-16	2.22	1.84	1.43	1.43	1.31	1.09	0.98	0.93	0.84	0.65

(*) Valores del %PC planteados, generalmente obtienen el mejor crecimiento.

(*) A los %PC indicados en la tabla, se obtienen menores factores de conversión (FCR).

III. CONDICIONES DE CALIDAD DE AGUA

3.1 Densidad de Cultivo o Capacidad de Carga

Algunas Definiciones:

- Máxima carga de peces en kg o individuos, que se puede alojar en un recipiente cerrado, sea estanque, tanque, canal, jaula, jaulón etc., bajo condiciones controladas de manejo.
- Nivel de tolerancia que un determinado cuerpo de agua tiene a la incorporación de materia orgánica y desechos metabólicos, producto del cultivo intensivo o semi - intensivo de peces.
- La máxima producción de peces que permita mantener ciertos parámetros ambientales considerados críticos



Forma de determinar la Densidad de Cultivo

Expresión Matemática

$$\text{Densidad de Cultivo} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{N * W(\text{Kg})}{V(\text{m}^3)}$$

Donde:

N es el número de peces en el estanque

W es el peso promedio del pez en Kg

V es el volumen del estanque en m³

Ejemplo:

$$\text{Densidad de Cultivo} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{1000 \times 0,015 \text{ kg}}{3 \text{ m}^3} = 5 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Cantidad de Peces = 1000 unidades

Peso Promedio = 0,015 kilos

Volumen de Estanque de Cultivo = 3 m³

Efectos en el Cultivo del Aumento de la Capacidad de Carga



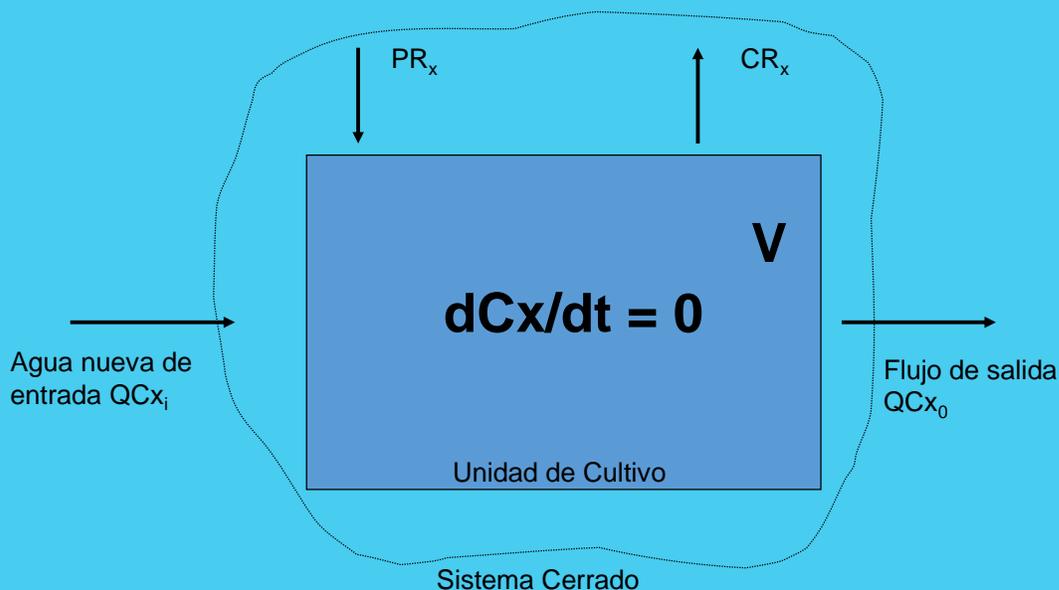
El Aumento de la Densidad de Carga depende de:

- De la fuente de agua disponible o del caudal de agua.
- Disponibilidad de oxígeno disuelto.
- De la remoción de compuestos nitrogenados.
- De la temperatura del agua.
- Del grado de resistencia de las especie de cultivo al estrés por hacinamiento.
- Del capital de trabajo disponible.
- De la Infraestructura disponible.
- Del personal capacitado.

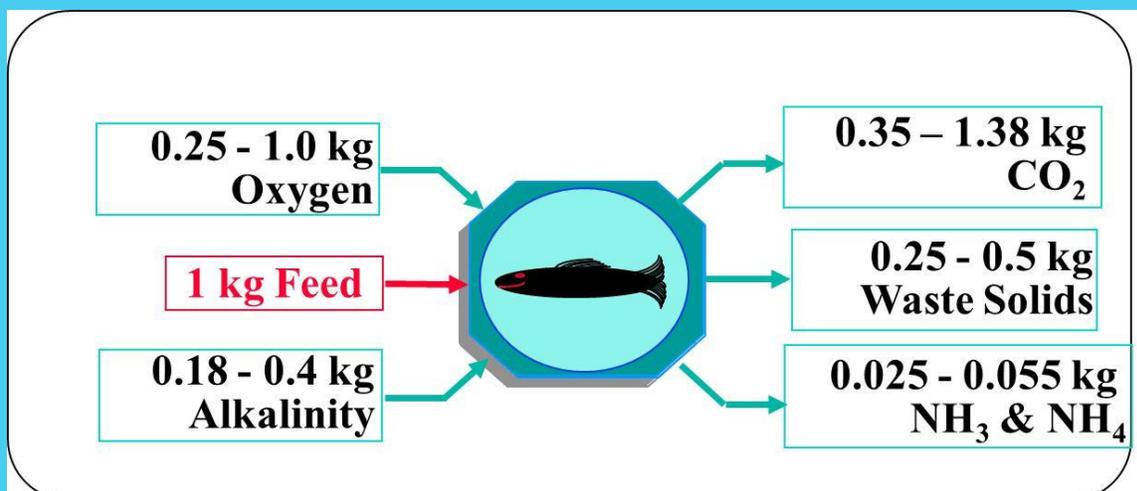
3.2 Determinación de la Carga Contaminante

- Corresponde a la cantidad de desechos eliminados en los efluentes de sistemas de cultivo.
- Medida que representa la masa de contaminante por unidad de tiempo que es vertida por un caudal al medio ambiente (rio, lago, mar). Comúnmente se expresa en T/año, T/día ó Kg/d.
- Se puede determinar cuantificando la masa de alguna variable química del agua por unidad de tiempo del efluente eliminado.
- Mientras sea mayor la cantidad de alimento, mayor es la cantidad de desechos orgánicos e inorgánicos eliminados en los efluentes.
- Antes de la eliminación de efluentes, se debe saber si los niveles de contaminación se encuentran bajo la normativa sanitaria vigente.
- La carga contaminante se puede determinar a través de un balance de masa realizado en el cultivo.

Balance de Masa en un Sistema de cultivo



Cuantificación de los efectos sobre el agua de cultivo



3.3 Requerimiento de Oxígeno

- Corresponde a la cantidad de oxígeno que se debe suministrar a las unidades de cultivo para realizar la función básica de respiración y excreción que realizan los peces.
- Corresponde además a la cantidad de oxígeno adicional para degradación de materia orgánica DBO.
- En sistemas de cultivo de paso abierto, el oxígeno es suministrado por el caudal de cultivo.
- En sistemas de recirculación, la cantidad de oxígeno es suministrada por equipos de aireación y/o oxigenación.

Factores que Determinan el Requerimiento de Oxígeno



Puede ser determinado mediante:

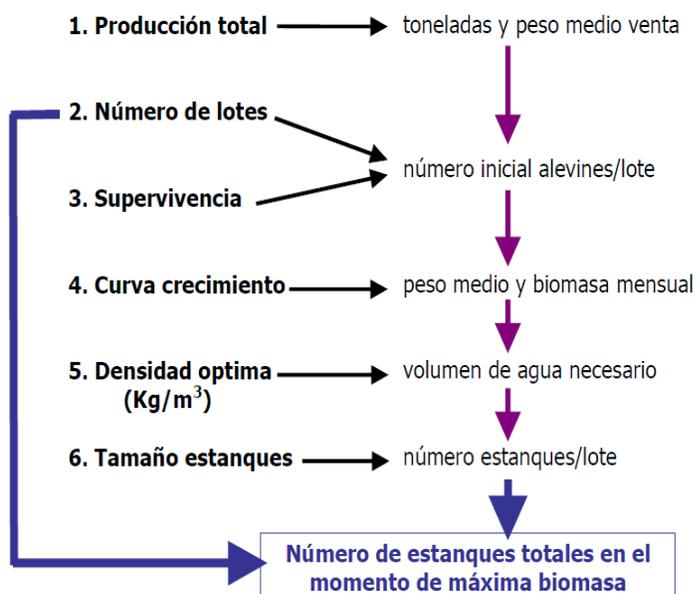
$O_2 \text{ consumido} = \text{Biomasa (Kg)} \times \text{Tasa de consumo (mg/Kg/h)}$

$\text{Tasa de Consumo} = K \times \text{tasa de alimentación (g/día)}$

Por lo general la Tasa de Consumo de Oxígeno o respiración de los peces varían entre 200 y 1000 gO₂/Kg alimento

Pasos para el Dimensionamiento de Sistemas de Cultivo

Figura 1. Esquema del procedimiento para el diseño de una piscifactoría



¿Cuántos Lotes Producir?

Figura 2. Alternativas de diseño de una piscifactoría con un objetivo productivo de 600 Tm/año de trucha ración de 200 gr

Opción A:
6 lotes → 100 Tm/lote → 500.000 truchas/lote

E---F---M---A---M---J---J---A---S---O---N---D

Opción B:
4 lotes → 150 Tm/lote → 750.000 truchas/lote

E---F---M---A---M---J---J---A---S---O---N---D

Opción C:
3 lotes → 200 Tm/lote → 1.000.000 truchas/lote

E---F---M---A---M---J---J---A---S---O---N---D

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Mayor Número de Lotes:

- El manejo de la instalación se complica.
- Mejor eficiencia de trabajo al estar más repartido en el año.
- Reducción de las necesidades de instalación.
- Se mejora la comercialización del producto a lo largo de todo el año.

PLAN DE PRODUCCIÓN DE 1 LOTE POR AÑO

Tabla 1. Plan de producción de un lote de 100 Tm de truchas

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S	99	98	97	96	95	94.5	94	93.5	93	92.5	92	91.5	91	90.5	90	90
PM	0,8	2	4	7	11	17	24	33	45	58	74	93	115	140	158	200
B	0,44	1,09	2,16	3,73	5,81	8,92	12,5	17,1	23,2	29,8	37,8	47,3	58,1	70,4	79	100
D	10	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30	40	40	40	40	40
V	44	109	216	187	290	446	627	571	775	994	1.261	1.182	1.453	1.760	1.975	2.500
T	15	15	15	45	45	45	45	150	150	150	150	150	150	150	150	150
NT	3	7	14	4	6	10	14	4	5	7	8	8	10	12	13	17
NR	7	7	14	6	6	14	14	5	5	8	8	12	12	12	17	17

M: meses; S: supervivencia acumulada (%); PM: peso medio (gr); B: biomasa (Tm);
D: densidad (Kg/m³); V: volumen de agua (m³); T: tamaño del estanque (m³);
NT: número teórico de estanques; NR: número real de estanques

¿Cómo determino el Número de Estanques?

- Relación entre la biomasa máxima que se desea producir (objetivo de producción) y la biomasa máxima que puedo tener en el estanque limitada por la densidad de cultivo.
- Dependerá además, del volumen del estanque de cultivo.
- A medida que se sobrepasa la biomasa máxima que se puede tener en un estanque, se debe hacer desdoble (dividir la biomasa), y por ende se necesita de otros estanque adicional para el cultivo.

$$\text{N}^{\circ} \text{ Estanques} = \frac{\text{Biomasa Máxima Producción (Kg)}}{\text{Biomasa Máxima del Estanque (Kg)}}$$

¿Cuánto Caudal Necesito para el Cultivo?

Cálculo de caudales: consideraciones previas

- El cálculo del caudal de agua necesario para una instalación acuícola debe realizarse para asegurar un óptimo aporte de oxígeno para la respiración de los peces y una adecuada eliminación del amoníaco excretado y de los restos sólidos de pienso y heces.
- Deben ser calculados en el momento más desfavorable, es decir cuando la biomasa de peces en la instalación sea máxima.
- Se debe considerar el cálculo del caudal en los meses de verano, ya que la temperatura del agua puede provocar mayor necesidad de oxígeno.
- Los requerimientos de caudal de agua de una estanque, o de una instalación, dependen, además de los parámetros ambientales, de la carga de peces, así ocurre que en los sistemas extensivos el aporte de agua es mínimo, y muchas veces únicamente para reponer el agua perdida por infiltración y evaporación, mientras que los sistemas intensivos requieren recambios de agua del orden de 1-2 renovaciones a la hora.

La distribución de la biomasa en los estanques y la cantidad de estanques requeridos para un cultivo piscícola, está dado por ciertos criterios que consideran como parámetro inicial o de partida a la Densidad de cultivo (D_c). (Iwama G. y Tautz Arthur, 1981)

Un parámetro importante para el cultivo de peces es el caudal requerido, este parámetro se obtiene de la siguiente ecuación:

Donde:

TC : Tasa de Cambio (hr^{-1})

V_E : Volumen estanque (m^3)

NE : número de estanques

$$Q_R = TC * V_E * NE$$

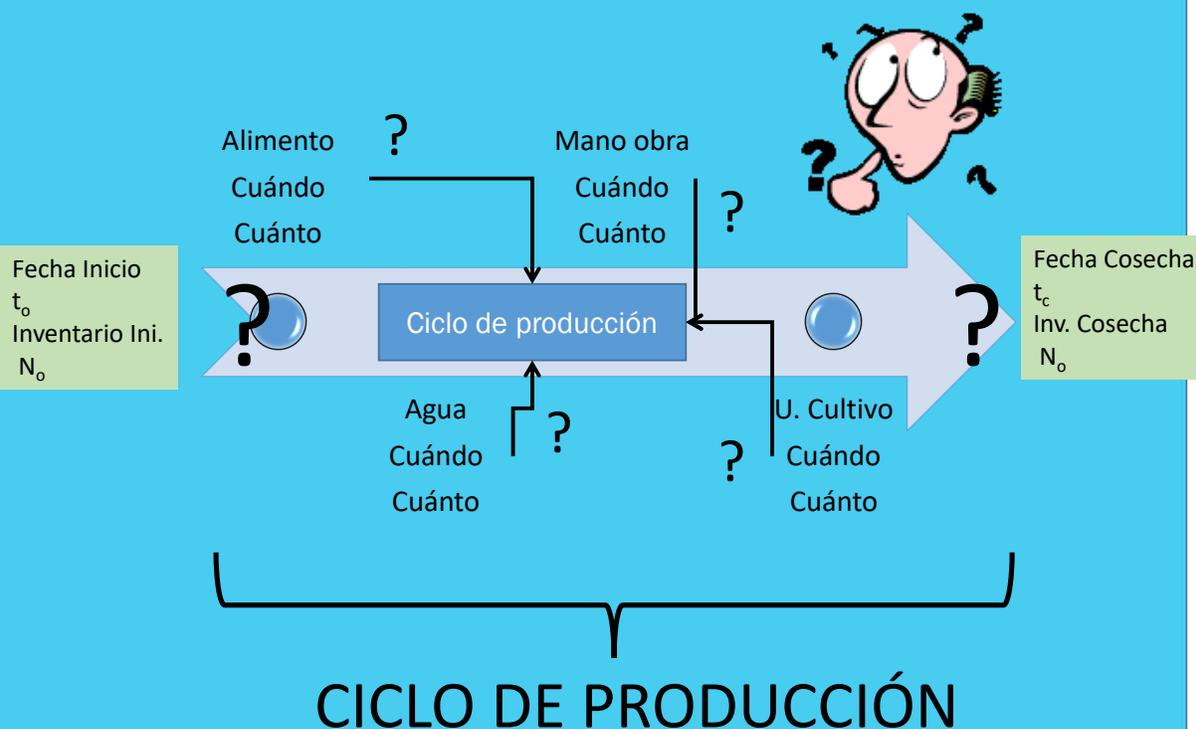
La Tasa de Cambio (TC) es un parámetro que define cual es la frecuencia de cambio del agua en un estanque o en el sistema, se mide en hr^{-1} . La tasa de cambio estándar generalmente está entre los valores 1 a 2 hr^{-1} . El valor también es asignado según la etapa de desarrollo de los peces (Leitritz E. 1980, M. Blanco. 1994)

Caudal necesario para 1000 truchas, según temperatura del agua y longitud de la trucha

Longitud de las truchas	Caudal mínimo necesario en l/m para 1000 truchas en engorde					
	Temperatura					
	5°	7°	10°	12°	15°	17°
6,0 cm	2,5	3	3,5	4	4,5	5,5
8,0 cm	6	7	8	9	10	12,5
10,0 cm	10,5	12	14	16,5	19,5	23,5
12,0 cm	17	19	21,5	26,5	31,5	38
14,0 cm	26,5	30	33,5	41,5	48,5	57,5
16,0 cm	39	42,5	46,5	58	70	84
18,0 cm	56,5	62	68	80	93	114
20,0 cm	78	86,5	95	115	134	160
22,0 cm	103	115	128	145	168	200
24,0 cm	132	144	157,5	174	197	230
26,0 cm	167,5	176,5	190	207,5	230	262,5

V. PROGRAMACIÓN Y PROYECCIÓN DE CULTIVO

Programación de la Producción



Objetivo de la Programación de la Producción

- Contestar, en términos cuantitativos, las siguientes preguntas que permiten programar la producción de cultivos
 - Cuál es la cantidad de materia prima, insumos, H/H, equipos e infraestructura que se requiere para producir una determinada cantidad, y cuándo se requiere.
 - Cuál es el volumen máximo de producción de un sistema y/o unidad de cultivo?, de qué depende esta cantidad?

GRACIAS....