

Proyecto GEF-PNUD 089333 “Aumentar las capacidades nacionales para el manejo de las especies exóticas invasoras (EEI) a través de la implementación de la Estrategia Nacional”

**SERVICIO DE CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE MEJORES PRÁCTICAS ACUÍCOLAS EN LA PRODUCCIÓN DE TRUCHA ARCOÍRIS EN EL MUNICIPIO DE AMANALCO, APRN VALLE DE BRAVO.**

---

**Diseño de un paquete tecnológico para el desarrollo de mejores prácticas trutícolas**

Entidad consultora: ISO BIO-Ambiental



## Contenido

I. Datos del proyecto.....	3
II. Introducción.....	6
III. Aspectos técnicos de las UPA. ....	7
IV. Medidas de contención y control recomendadas para prevenir las posibilidades de escapes de organismos en el sistema de producción. ....	44
.....	54
V. Programa de manejo de residuos generados en las unidades de producción acuícola. ....	64
VI. Programa de monitoreo anual de la calidad en los cuerpos de agua aledaños a las UPA	70
VII. Factores de riesgo en el cultivo de trucha arcoíris en la microcuenca San Bartolo-Conejeras, Edo, Mex. ....	76
VIII. Importancia de la incursión del paquete tecnológico para el desarrollo de mejores prácticas trutícolas, en la certificación de buenas prácticas de producción acuícola promovido y otorgado por el comité estatal de sanidad acuícola.....	79
IX. Bibliografía. ....	89
X. Anexos.....	96

## I. Datos del proyecto.

### I.1 Título.

Servicio de consultoría para la elaboración del plan de mejores prácticas acuícolas en la producción de trucha arcoíris en el municipio de Amanalco, APRN Cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec.

### I.2 Objetivo.

Diseño de paquetes tecnológicos para el desarrollo de mejores prácticas trutícolas en la región de Amanalco, con el objeto de reducir impactos en el proceso productivo al medio natural.

### I.3 Autores.

Ing. Marisol Gallardo Angeles, Ing. José Ricardo Ortega Peña, Ing. Billy Arriaga Cardona.

### I.4 Modo de citar el informe.

**PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo)** Plan de Mejores Prácticas Acuícolas en la Producción de Trucha Arcoíris en el Municipio de Amanalco, APRN Valle de Bravo. **Diseño de paquetes tecnológicos para el desarrollo de mejores prácticas trutícolas en la región de Amanalco, con el objeto de reducir impactos en el proceso productivo al medio natural.** Proyecto GEF 00089333 “Aumentar las capacidades de México para manejar las especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. Gallardo-Angeles, M., Ortega Peña, J. R. y B. Arriaga Cardona. 2017. ISO BIO-Ambiental, Puebla, México. 96 pp + 9 de anexos.

### I.5 Área objeto del informe.

Diseño de un paquete tecnológico para el desarrollo de mejores prácticas trutícolas, que incluya la incidencia de la actividad en la calidad del agua en relación con la carga orgánica que aporta el efluente de cada UPA a la cuenca y su relación con los límites máximos establecidos en la normatividad vigente.

### I.6 Fecha de inicio y terminación del proyecto.

- Fecha de Inicio: 15 de junio de 2016.

- Fecha de término: 15 de junio de 2017

La realización de este trabajo sirve para ayudar en la implementación de la Estrategia Nacional sobre especies invasoras en México, concretamente a alcanzar la Meta 1.7: Medidas de bioseguridad y sanitarias instrumentadas permanentemente en la introducción, manejo y uso de especies exóticas invasoras.

### 1.7 Resumen del informe.

De acuerdo con la información recabada en campo, misma que se presentó en los productos anteriores, fue posible identificar los principales puntos críticos de control en los cuales se requiere la aplicación inmediata de buenas prácticas de producción en materia ambiental. El presente paquete tecnológico se diseñó considerando las adecuaciones técnicas necesarias para disminuir la presencia de trucha arcoíris en los cauces aledaños a las unidades de producción, disminuir la cantidad de sedimentos vertidos a los cauces, mantener un monitoreo constante de la calidad del agua y capacitar e informar a los productores y a la población local de la importancia del control de trucha arcoíris al interior de las áreas de protección de recursos naturales.

Los principios de funcionamiento de este paquete tecnológico, se basan en el Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Trucha para la Inocuidad Alimentaria, implementado por SENASICA a través del Comité de Sanidad Acuícola Estado de México (CSAEM), ya que debido a la incidencia de este organismo en el sector y a la carencia de un órgano de verificación del sector ambiental para la aplicación del PLAN DE MEJORES PRÁCTICAS ACUÍCOLAS EN LA PRODUCCIÓN DE TRUCHA ARCOÍRIS EN EL MUNICIPIO DE AMANALCO, APRN VALLE DE BRAVO (Manual de Buenas Prácticas generado a través de este servicio de consultoría), se optó por diseñar un paquete tecnológico que pueda ser reforzado por el funcionamiento diario del CSAEM, e incluso de CONAGUA; sin embargo es importante resaltar, que si bien las 10 UPA participantes en el proyecto, conocen los principios de funcionamiento para obtener la Certificación en Buenas Prácticas de Producción otorgado por el CSAEM, en ninguna de las unidades de producción se encontró la aplicación efectiva de las mismas, acción que en sí misma no coincide con la información documental que reportan las UPA para la obtención del certificado, tal como lo muestran los documentos y fotografías reportadas en los Productos 2 y 3.

Por lo anterior expuesto y con la finalidad de no contraponer criterios se utilizó el Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Trucha para la Inocuidad Alimentaria, el cual sirvió como base introductoria de las acciones principalmente administrativas, ya

conocidas por los acuicultores, para la generación del presente paquete tecnológico; sin embargo se hace hincapié que el objetivo fundamental, ante la carencia de un órgano verificador del sector ambiental, es conjuntar esfuerzos para afianzar acciones operativas funcionales las cuales en todo momento estén en concordancia con los lineamientos normativos y facultades administrativas y operativas que enmarcan la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Ley de Aguas Nacionales y la Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables.

Una de las finalidades principales de este paquete tecnológico, es lograr que estas acciones sean reportadas continuamente a la Dirección de la APRN Valle de Bravo, a través de formatos de simple redacción, pero amplio contenido, que permitan generar la información necesaria para registrar los avances en el control de trucha arcoíris en la Cuenca de Amanalco, Estado de México.

#### **I.8 Descripción de actividades.**

- Estimación del número de ciclos de producción al año.
- Estimación de biomásas iniciales y esperadas, relacionando esta información con cálculos estimados de la producción de metabolitos y excretas, de su acumulación en el fondo de los estanques aceptables a la capacidad de carga de la cuenca.
- Recomendaciones del tipo y cantidad de alimento a utilizar y forma de almacenamiento.
- Características de los tipos de abono y/o fertilizantes a utilizar, formas y cantidades de suministro almacenamiento.
- Medidas de contención y control recomendadas para prevenir la posibilidad de escapes de organismos del sistema de producción.
- Programa de manejo de residuos generados en UPA.
- Programa de monitoreo anual de calidad del agua en los cuerpos de agua aledaños a las UPA.
- HACCP del proceso productivo y de manejo de producto final.
- Importancia de la incursión del paquete tecnológico para el desarrollo de mejores prácticas trutícolas, en la certificación de buenas prácticas de producción acuícola promovido y otorgado por el comité estatal de sanidad acuícola.
- Descripción de medidas regulatorias que debe cumplir una UPA según la normatividad mexicana en vigor.

- Descripción de los impactos ambientales, sociales y económicos, ya sean positivos o negativos, derivados de la aplicación del paquete tecnológico para el desarrollo del “Plan de Mejores Prácticas para el Manejo y Producción de Trucha Arcoíris, aplicable para las Localidades del Municipio de Amanalco, Estado de México”. Una vez establecidos los impactos ambientales ocasionados por las UPA, se podrán implementar alternativas de solución para contrarrestar dichos impactos ambientales.

## II. Introducción.

En términos de producción, se puede considerar que, en general, el funcionamiento de cualquier unidad de producción acuícola puede verse afectada por cinco factores principales, estos son:

- a) La calidad genética y sanidad de la ova o alevín.
- b) La calidad del agua.
- c) El diseño del sistema de estanquería.
- d) El tipo y calidad de alimento utilizado.
- e) Las prácticas de manejo de producción y controles ambientales.

Todos estos factores están interrelacionados directamente entre sí. Por ejemplo, el hecho de incrementar la tasa de alimentación, es decir, los kilogramos (Kg), de alimento por Kg de peces, pone en marcha una serie de cambios dentro del sistema, que pueden o no resultar en lograr el resultado deseado de hacer que el pez crezca más rápido o desencadenar en una generación excesiva de sedimentos de fondo en el proceso de producción.

El resultado puede ser de alto grado de beneficio económico y ambiental, o puede ser altamente perjudicial en todos los factores para el sistema productivo; es por ello que se considera necesario contar con un paquete tecnológico que cubra los “puntos ciegos” a nivel ambiental que permitan fortalecer la actividad y hacerla realmente sustentable.

A través de la caracterización de los principales impactos ambientales que se determinaron con base en el análisis de las obras y actividades de las diez unidades de producción participantes en el proyecto, se diseñó el presente paquete tecnológico para el desarrollo de mejores prácticas trutícolas, que incluyó la incidencia de la actividad en la calidad del agua en relación con la carga orgánica que aporta el efluente de cada UPA a la cuenca y su relación con los límites máximos establecidos en la normatividad vigente, de

lo cual se desprende el programa anual de monitoreo de calidad del agua, mismo que actualmente no se lleva a cabo y no se contempla en la certificación otorgada por el CSAEM. Para la elaboración del presente paquete tecnológico, se consideró la infraestructura actual con la que cuentan las unidades de producción acuícola participantes en el proyecto. Las medidas de contención propuestas nacen del análisis HACCP aplicado a cada una de las unidades de producción acuícola.

El presente paquete tecnológico contempla el análisis específico del cultivo trutícola mediante los siguientes parámetros:

### III. Aspectos técnicos de las UPA.

#### III.1 Número de ciclos de producción al año.

Debido a que el diseño estructural de las UPA no es el óptimo, los ciclos de producción anual no pueden determinarse en base al caudal disponible en relación a las características de infraestructura. Por lo anterior, resulta complicado e incluso ineficiente determinar y establecer un tonelaje máximo de producto vivo por unidad de producción, la opción más eficaz y viable se basa en no exceder los límites de producción máximos registrados durante el historial productivo de cada granja. Por lo que, la recomendación técnica en este sentido es eficientar la relación de kg de carne producida por kg de alimento aplicado en las diferentes etapas del proceso, bajo este criterio, los tonelajes máximos por unidad de producción y cantidad máxima anual de alimento utilizado recomendados, se basan en el Factor de Conversión Alimenticia (FCA) de las principales marcas de alimento balanceado que varía de 1.279:1 a 0.896:1 según el tipo de alimento (Peletizado o extruido), aun con estos datos se considera un FCA de 1.5: 1 como se muestran en el siguiente orden:

Nombre de la UPA	Capacidad máxima de producción estimada en historial operativo.	Capacidad de producción máxima recomendada	Cantidad de alimento recomendado por producción máxima recomendada	No. de siembras anuales máximas recomendadas
Piscifactoría Corral de Piedra, Ejido San Bartolo Amanalco	25 Ton	20 Ton	30 Ton/año	4

Nombre de la UPA	Capacidad máxima de producción estimada en historial operativo.	Capacidad de producción máxima recomendada	Cantidad de alimento recomendado por producción máxima recomendada	No. de siembras anuales máximas recomendadas
El Arroyo	8 Ton	7 Ton	10.5 Ton/año	4
Corral de Piedra	15 Ton	6 Ton	9 Ton/año	4
El Checo	15 Ton	9 Ton	13.5 Ton/año	4
Granja Piscícola La Virgen	7.5 Ton	6 Ton	9 Ton/año	4
Granja Tizapa	Información no proporcionada	Información no proporcionada	Dato no estimado	Dato no estimado
Los Encinos	75 Ton	40 Ton	60 Ton año	4
El Rincón	35 Ton	15 Ton	22.5 Ton /año	4
Puente de Tierra	25 Ton	16 Ton	24 Ton/año	4
SSS San Jerónimo La Conejera II	35 Ton	14 Ton	21 Ton/año	4

Tabla 1. Capacidad de producción máxima recomendada.



**III.2 Biomásas iniciales y esperadas, relacionando esta información con cálculos estimados de la producción de metabolitos y excretas, de su acumulación en el fondo del estanque aceptables a la capacidad de carga de la cuenca.**

### III.2.1 Determinación de la producción a partir de la concentración de oxígeno del agua.

Los datos recabados en los muestreos fueron procesados en Statistical Program for the Social Sciences (SPSS), un programa informático estadístico que es utilizado en diferentes ciencias, teniendo que la media en la concentración de oxígeno es de 6.67 con una desviación estándar de 1.42. La media del pH es de 6.88 y los sólidos suspendidos de 25.75. El fósforo total es de 0.87 mg/L.

Estadísticos descriptivos					
Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
pH	20	5.89	7.52	6.8855	.37670
Oxígeno	20	4.01	9.37	6.6790	1.42355
Sólidos suspendidos	20	15.0	41.0	25.750	7.3404
Fósforo total	20	.05	1.50	.8775	.42627
Nitrógeno amoniacal	20	.04	1.80	.2620	.42984
DBO	20	1.0	3.0	1.700	.7327
DQO	20	9.0	45.0	23.200	9.0705
N válido (por lista)	20				

Tabla 2. Estadísticos descriptivos

De acuerdo con Jover, *et al.*, (2003), los requerimientos del caudal de agua de un 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 en los sistemas intensivos requieren recambios de agua de entre 1 y 2 renovaciones por hora.

El oxígeno consumido en un sistema de producción acuícola depende de la biomasa de peces existentes en el sistema y de la tasa de consumo ( $T_c$ ), que a su vez es función del peso medio y de la temperatura del agua.

$O_2$  consumido = Biomasa (Kg) x Tasa de consumo (mg/Kg/h)

Por otro lado, el oxígeno aportado está determinado por el volumen y el oxígeno disponible ( $O_d$ ) en el agua, que dependerá de su solubilidad y de la mínima concentración tolerable por la especie (para el caso de la trucha la concentración mínima recomendada es 5.5 mg/L).

$O_2$  entrada = Caudal (L/h) x  $O$  disponible (mg/h)

Igualando las expresiones

$$Q(O_2) = \frac{B \text{ (Kg)} \times T_c \text{ (mg/Kg/h)}}{O_d \text{ (mg/l)}} \text{ (l/h)}$$

Para este ejercicio se considera un caudal promedio del cauce de 560 L/s. Para fines de la estimación de la producción de trucha, se consideró el aprovechamiento del 60% del gasto medio del cauce. Es decir 336 L/s.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Oxigeno Entrada	10	4.01	9.37	6.7100	1.79793
Oxigeno Salida	10	4.80	7.57	6.6480	1.02151
E Solidos suspendidos	10	22.0	41.0	30.100	6.9354
S Solidos suspendidos	10	15.0	29.0	21.400	4.8580

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
E DBO <sup>1</sup>	10	1.0	3.0	1.900	.7379
S DBO <sup>2</sup>	10	1.0	3.0	1.500	.7071
E DQO <sup>3</sup>	10	13.0	45.0	24.300	9.9113
S DQO <sup>4</sup>	10	9.0	33.0	22.100	8.5303
N válido (por lista)	10				

Tabla 3. Estadísticos descriptivos

Considerando la concentración de oxígeno media del cauce en la entrada de las granjas de 6.7 mg/L y el nivel crítico o concentración mínima de oxígeno recomendada para la trucha, que es de 5.5 mg/L, tenemos un margen para la producción de trucha de 1.2 mg/L. Tomando como referencia la tasa de consumo de oxígeno estimado por (Blanco, 1995), el cual es del orden de 440 mg/Kg/h. Tenemos que el caudal puede proporcionar de manera natural 1451 gr de oxígeno por hora, es decir puede abastecer 3298.9 Kg de biomasa de trucha sin alguna adaptación para oxigenación.

### III.2.2 Cálculo de caudal para eliminación de amoníaco.

Por otro lado, un estanque con peces en condiciones de equilibrio, el amoníaco excretado deberá ser eliminado por el caudal del agua. El amoníaco excretado depende de la tasa de excreción del volumen de producción en dicho estanque.

$NH_3$  excretado = Biomasa (Kg) x Tasa de excreción (mg/Kg/h).

No obstante, debido a que el  $NH_3$  en el agua se disocia rápidamente en el ion amonio, mucho menos tóxico, a efectos del caudal, se debe considerar la fracción no disociada (Fnd).

<sup>1</sup> Concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la entrada.

<sup>2</sup> Concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la salida.

<sup>3</sup> Concentración de la Demanda Química de Oxígeno en la entrada.

<sup>4</sup> Concentración de la Demanda Química de Oxígeno en la salida.

Por otra parte, el amoníaco eliminado, está determinado por el caudal y la concentración máxima tolerable por la trucha.

Para el presente trabajo se considera la tasa de excreción de amonio propuesta por Blanco (1995), el cual corresponde a 950 mg/Kg/d. Asimismo se considera la fracción de amoníaco no disociado de 0.235% correspondiente a temperatura de 13°C y pH de 7.0, con una concentración máxima tolerable para la trucha a largo plazo de 0.01 mg/l. Tenemos así:

$$Q(NH_3) = \frac{B * Te * Fnd}{Cm}$$

Donde:

$Q(NH_3)$ : Gasto necesario para eliminar  $NH_3$  del sistema de producción.

B: Biomasa

Te: Tasa de excreción.

Fnd: Fracción no disociada de  $NH_3$  al ion amonio.

Cm: Concentración máxima de  $NH_3$  admisible a largo plazo.

$$Q(NH_3) = (3.29 \text{ Ton} * 950 \text{ gr/T/d} * 0.00235) / (24 \text{ h/d} * 0.01 \text{ gr/m}^3)$$

$$Q(NH_3) = 42 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dado que el volumen disponible para el suministro de oxígeno es superior al estimado la concentración de  $NH_3$  no se considera como limitante en la producción de trucha en la cuenca.

A partir de los volúmenes calculados, se identificó que el comportamiento de la concentración de amoníaco no es limitante para la producción, siendo la concentración de oxígeno la limitante para la producción, por lo que se identificó el comportamiento de la concentración de oxígeno.

### III.2.3 Saturación de oxígeno disuelto.

Se compararon los valores de concentración de oxígeno de la entrada y la salida de la granja aguas arriba. La diferencia se atribuye a una ganancia de oxígeno en el recorrido del agua entre granjas.

A partir de los valores tomados de la saturación de oxígeno disuelto en el agua la cual depende de la temperatura en las entradas y salidas de las granjas. La ley de Henry<sup>5</sup>, enuncia que, a una temperatura constante, la cantidad de gas disuelta en un líquido, es proporcional a la presión en la atmósfera que el gas ejerce en el medio. Con un aumento de altitud, disminuye el valor de p. Por lo que la solubilidad de gas disuelto en equilibrio con el aire disminuye.

La solubilidad de oxígeno depende de la presión atmosférica y la temperatura por lo que para determinar el grado de saturación de oxígeno se realizó corrección por estos dos factores en cada granja.

$$\%O_2 = ((O_2 * 100) / \text{Fact}) * (\text{Fach}).$$

Donde

$\%O_2$  = saturación de oxígeno

$O_2$  = concentración de oxígeno

Fact = factor de corrección por temperatura

Fach = factor de corrección por altitud (msnm)

El factor máximo estimado por Schwoerbel (1979) es de 1.36 correspondiente a 2500 msnm, sin embargo, Cole (1983) reporta 1.45 como factor de corrección para altitud de 3000 m, dado que las granjas se encuentran entre 2500 y 3000 msnm, se realizó la interpolación para determinar el valor de ese factor para la altura de cada granja. Los

<sup>5</sup> <http://www.quimicas.net/2015/07/ley-de-henry-de-los-gases.html>, consultada el 14 de marzo de 2017.

valores del factor de corrección de altitud van de 1.41 a 1.43 mientras por temperatura de 9.87 a 11.05. Teniendo de esta forma la siguiente tabla:

Granja	Altura	Factor altitudinal	Entrada			Salida		
			Oxígeno mg/l	T °C	Factor de corrección	Oxígeno mg/l	T °C	Factor de corrección
San Bartolo	2885	1.43	6.78	11.03	10.99	7.57	10.84	11.05
El Arroyo	2868	1.43	8.28	11.37	10.92	7.44	11.76	10.79
Corral de piedra	2863	1.43	8.55	11.45	10.89	7.36	11.69	10.82
El Checo	2860	1.42	9.37	12.58	10.6	7.4	12.41	10.63
La Virgen	2850	1.42	6.7	12.1	10.72	7.24	13.98	10.26
Tizapa	2834	1.42	6.32	15.19	10.06	5.62	15.23	10.02
Los Encinos	2832	1.42	6.66	15.13	10.06	6.15	15.12	10.06
El Rincón	2807	1.42	5	14.61	10.15	4.8	14.96	10.08
Puente de tierra	2795	1.41	4.01	15.62	9.93	5.53	15.96	9.87
San Jerónimo Conejera	2766	1.41	7.64	14.4	10.19	7.37	15.03	9.99

Tabla 4. Factores de corrección.

A partir de los datos de la tabla anterior se determinó el grado de saturación de oxígeno disuelto en la entrada y salida de las granjas, teniendo un valor máximo en la entrada de El Checo, correspondiente a 125.9 %, así como un valor mínimo de la granja Puente de tierra, correspondiente a 57.06.

Granja	Altura	Oxígeno mg/L	Saturación de oxígeno disuelto %
--------	--------	--------------	----------------------------------

		Entrada	Salida	Entrada	Salida
San Bartolo	2885	6.78	7.57	88.18	97.92
El Arroyo	2868	8.28	7.44	108.14	98.34
Corral de piedra	2863	8.55	7.36	111.91	96.95
El Checo	2860	9.37	7.4	125.95	99.19
La Virgen	2850	6.70	7.24	88.94	100.41
Tizapa	2834	6.32	5.62	89.22	79.65
Los Encinos	2832	6.66	6.15	93.99	86.79
El Rincón	2807	5.00	4.8	69.72	67.39
Puente de tierra	2795	4.01	5.53	57.06	79.17
San Jerónimo Conejera	2766	7.64	7.37	105.56	103.86

Tabla 5. Saturación de oxígeno disuelto.

Las granjas San Bartolo, El Arroyo y Corral de piedra, se encuentran establecidas en serie, es decir reutilizan el agua de una misma corriente. A partir de las mediciones realizadas se encontró la corriente en un recorrido de 158 metros después de la salida de las granjas existe un aumento en la concentración de oxígeno de 1.1 mg/L con saturación al 100% por lo que se sugiere que la distancia mínima entre granjas debería ser de alrededor de 200 metros.

Con una longitud del cauce susceptible de aprovechamiento para producción de trucha de 15766 metros, la cuenca de San Bartolo-Conejeras proporciona las condiciones para soportar la producción de 260 toneladas de biomasa de trucha, sin necesidad de suministrar de oxígeno adicional. Cabe mencionar que aun la producción de trucha actual es de alrededor de 240 toneladas anuales, en las 10 granjas. El tonelaje producido en ellas es favorecido por las caídas de agua existentes en las instalaciones de las Unidades de Producción.



Considerando que el caudal de la cuenca soporta una producción de 3.29 toneladas sin aportación de oxígeno, todas aquellas granjas que proyecten producir más de 6 toneladas al año deberán establecer infraestructura o equipamiento que permitan aumentar la concentración de oxígeno del agua, ya sea infraestructura como caídas de agua con mínimo 30 cm de altura o equipos de aireación.

### III.2.4 Tipo y cantidad de alimento a utilizar y forma de almacenamiento.

Los requerimientos energéticos de peces y crustáceos se satisfacen por medio de carbohidratos, proteínas y grasas. Pocas son las especies que se cultivan en el agua para las que se conocen con precisión sus requerimientos nutritivos, dentro de las conocidas están los peces como la trucha, salmón, bagre de canal, carpa común, carpa herbívora y en crustáceos están los peneidos y el langostino asiático (Pillay, 1997). Los requerimientos de proteínas en peces varían con la especie, la edad, el estado fisiológico (crecimiento y reproducción) y las condiciones ambientales, por ejemplo, los alevines de trucha, necesitan aproximadamente un 50% de proteínas y va reduciéndose a medida que crece, a las ocho semanas un 40% y al año un 35% (Coll-Morales, 1986).

La actividad acuícola nacional presenta una observancia particular en materia de calidad del agua, se presume que el uso de alimento balanceado genera residuos de alimentos no digeridos, materia orgánica en descomposición (metabolitos y excretas) y la aplicación de productos químicos (antibióticos) que alteran la calidad del agua. Cabe señalar que al no existir un marco normativo específico que clasifique a la acuicultura por “tipo de producción” ya sea acuicultura de aguas interiores o maricultura, y a su vez por especie, se ha englobado la observancia de la actividad acuícola en un solo tipo. Esto afecta notablemente al sector ya que como se sabe en la camaronicultura se ha demostrado que el uso inadecuado de grandes cantidades de antibióticos como tratamiento preventivo, puede traer consigo efectos potencialmente dañinos para la salud humana y animal (Cabello, 2006). La oxitetraciclina (OTC) es uno de los antibióticos más utilizados en la camaronicultura mundial (Lunestad y Goksoyr, 1990). El antibiótico es el único aprobado desde 1970 por la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA, por sus siglas en inglés), de los Estados Unidos de Norteamérica, para ser empleado en el cultivo de peces (Park *et al.*, 1995). Sin embargo, en las unidades de producción de trucha arcoíris en zonas rurales, como es el caso de las diez unidades de producción participantes en el proyecto, no se utiliza la aplicación de este tipo de antibióticos.

Si bien una nutrición adecuada es un factor clave para optimizar el crecimiento y la calidad del producto, las dietas deben ser formuladas y presentadas conforme a los requerimientos de las tallas de venta del producto final. Si estos requisitos no se cumplen,



los objetivos de producción se verán comprometidos. Debe reiterarse que este aspecto de la tecnología de la acuicultura es el más costoso en términos de inversión en la producción. Los otros grupos de factores -salvo los factores asociados al manejo-, no pueden ser alterados rutinariamente o fácilmente. Su influencia constituye la naturaleza de establecer la Tasa de Crecimiento Permitida (T.C.P), es decir, la tasa de crecimiento ligada directamente al diseño del sistema de estanquería.

Factores alimenticios asociados a la nutrición de truchas:

- a) Tipo y calidad nutricional de alimento
- b) Tasa de alimentación
- c) Eficiencia de las técnicas de alimentación
- d) Almacenamiento de alimento

Los ingredientes energéticos de una formulación de la dieta de la trucha son proteínas, lípidos (grasa) e hidratos de carbono. La proteína proviene tanto de fuentes animales (harina de pescado) como vegetales (trigo, maíz, soja). El lípido proviene de harina de pescado y aceite de pescado. El carbohidrato proviene de los ingredientes de origen vegetal. La trucha arco iris requiere de 1600-1650 kilocalorías metabolizables (kcal) de energía por libra de ganancia de peso. Pueden derivar 4,0 kcal por gramo de proteína cruda digerible, 9,0 kcal por gramo de lípido digerible y 1,8 kcal por gramo de carbohidrato digerible. La mayoría de los alimentos balanceados para peces comerciales están diseñados mediante coeficientes energéticos que permitan proporcionar conversiones de alimento de 1.2-1.4: 1. Algo muy importante y vital dentro de la alimentación de trucha arcoíris, es tener siempre en cuenta, que el tamaño del alimento tendrá que ser el recomendado para que la talla más chica a alimentar lo pueda consumir.

Las unidades de producción acuícola analizadas en el presente proyecto, se caracterizan por utilizar alimento balanceado en todas las etapas, ninguna granja mostro el uso de alimento vivo o algún otro tipo de alimento fabricado con vegetales ya sea por los acuicultores o alguna organización o asociación civil de injerencia en el sector. En la Tabla 6 se muestra la cantidad y la marca de alimentos utilizados comúnmente en la producción:

Nombre de la UPA.	Volumen de producción anual real.	Tipo de alimento suministrado.	Cantidad de alimento.
Piscifactoría Corral de Piedra, Ejido San Bartolo Amanalco	12 a 15 Ton	El Pedregal S.A. de C.V.	26 Ton/año
El Arroyo	3 a 4 Ton	El Pedregal S. A. de C.V.	8.4 Ton/año
Corral de Piedra	4 a 6 Ton	El Pedregal S. A. de C.V.	8.4 Ton/año
El Checo	7 a 9 Ton	Nutripec, Purina	16.8 Ton/año
Granja Piscícola La Virgen	6 Ton	Nutripec, Purina y EL Pedregal S.A. de C.V.	16.8 Ton/año
Granja Tizapa	Información no proporcionada	Nutripec, Purina	Información no proporcionada
Los Encinos	40 Ton	Aqua Premiere, Vimifos	84 Ton/año
El Rincón	10 a 15 Ton	El Pedregal S. A. de C.V.	16.8 Ton/año
Puente de Tierra	16 Ton	El Pedregal S. A. de C.V.	23.5 Ton/año
SSS San Jerónimo La Conejera II	14 Ton	Nutripec, Purina	16.8 Ton/año

Tabla 6. Registros de alimento en las UPA.

De manera general se obtuvo que el 50% de las unidades de producción utilizan alimento de la marca El Pedregal, 40% utiliza la marca Nutripec y el 10% utiliza la marca Aqua Premiere, Vimifos.

Como sabemos la selección de un buen alimento es el factor clave para obtener los resultados comerciales esperados de las unidades de producción acuícola, aun cuando el

alimento es el factor más caro en términos de costos de producción, el manejo de este debe ser de ciclo completo, para poder asegurar el resultado a favor de la producción. En el caso de las UPA analizadas, se encontró que uno de los principales factores del uso inadecuado de alimento se debe a la falta de capacitación técnica de los encargados de las granjas; ya que durante la realización del presente servicio de consultoría se observaron acciones carentes de técnicas de aplicación e incluso pérdidas accidentales de alimento.

El costo creciente de inversión en alimento balanceado, representa el mayor obstáculo económico para continuar con el desarrollo de las actividades de producción acuícola en la zona, actualmente los productores se encuentran abiertos a la posibilidad de aplicar alimentos “nuevos” de diferentes tipos que permitan disminuir el costo de inversión en este rubro; sin embargo en este sentido, es muy importante considerar los impactos a futuro y las repercusiones ecológicas que estas innovaciones podrían causar. Por lo anterior el presente paquete tecnológico, sugiere tener en cuenta los siguientes parámetros para el manejo técnico del alimento:

### 1.- Selección de tipo de alimento (Natural o Balanceado).

**Alimento Natural.** En el caso específico de la trucha, se debe revisar detalladamente las alternativas de alimentación, ya que a diferencia de otras especies que utilizan alimentos naturales para mejorar el crecimiento y las características físicas (en peces de ornato es muy común y se utiliza para mejorar la talla y el color), en la trucha el alimento natural podría ocasionar problemas de sanidad por la generación de hongos o bacterias y aumentar el tiempo de desarrollo y con ello los programas de siembra de las UPA; por lo que en el caso de decidir la implementación de alimento vivo, se recomienda que este se aplique únicamente a organismos de 3 a 10 cm, previo control sanitario sustentado con pruebas de laboratorio adecuadas.

Dentro de la clasificación de alimento natural, existen dos tipos:

**Alimento vivo.** Para la descripción de este apartado se tomó como referencia el artículo denominado Alimento Vivo en la Acuicultura (Castro *et al.*, 2003). Este alimento tiene cualidades que no tiene un alimento inerte, como es el movimiento, que estimula ser atrapado por el depredador, el color que es atractivo para su captura; la calidad nutritiva a que los organismos que se aprovechan como alimento y que se cultivan contienen la cantidad y la calidad de nutrimentos indispensables para el adecuado crecimiento de los peces. Por otra parte, el alimento vivo tiene la cualidad de no afectar la calidad del agua, debido a que este es consumido antes de llegar al fondo sin causar ningún tipo de

descomposición, a diferencia del alimento inerte que si no tiene buena flotabilidad se ira al fondo. Los tipos de alimento vivo mayormente utilizados en acuicultura son:

**Microalgas.** Están representadas por una gran variedad de grupos, que además de aportar oxígeno durante el día, tienen contenidos nutritivos importantes como son los polisacáridos, aminoácidos, enzimas y otras proteínas. Las microalgas más utilizadas en la acuicultura son las diatomeas de los géneros *Chaetoceros* e *Isochrysis*, así como las algas flageladas como *Dunaliella*, las cuales no se encuentran bajo el estatus de exóticas invasoras, por lo cual se infiere que no representan un riesgo adicional en caso de usarse en sistemas intensivos o semi intensivos. Éstas se utilizan principalmente para alimentar larvas; en particular para el cultivo de trucha no se recomienda la aplicación de este tipo de alimento debido a que la propagación de algas en los sistemas acuáticos puede generar la aparición de poblaciones indeseables de microalgas en los cauces de la cuenca, aun cuando estas no se encuentren bajo estatus de exóticas invasoras, sin embargo la introducción de microalgas en los cauces puede ocasionar deterioros en la calidad del agua y efectos adversos en los hábitos de alimentación de los organismos acuáticos del cauce, por lo tanto:

No se recomienda para la producción de trucha arcoíris.

**Rotíferos:** En la década de los 60 se empezó a considerar a los rotíferos como una alternativa de alimentación en la acuicultura, por sus cualidades de rápido desarrollo, facilidad de cultivo y calidad nutritiva (Torretera y Tacon, 1989). Una de las especies de mayor importancia es *Brachinous plicatili* que, por su tamaño (100 a 300 micras), permite ser ingerido por las larvas de peces y crustáceos antes de alimentarse de otros crustáceos como son los nauplios de *Artemia*, los cuales tienen mayor talla (400 micras). Los rotíferos que se cultivan pueden tener los ácidos grasos, necesarios para toda la dieta de peces y crustáceos para el adecuado crecimiento; además su lenta movilidad permite que las larvas los atrapen fácilmente. En la acuicultura ornamental, los rotíferos son algunos de los alimentos más comunes, debido a la calidad y aportación nutrimental que poseen, son ampliamente utilizados para la crianza de pez betta en variedades splenda o para algunos otros peces de colección. Sin embargo, su cultivo no es económico y en el caso de la producción de trucha arcoíris, puede representar una inversión innecesaria ya que la cantidad de rotíferos que habría que producir incrementaría notablemente el costo de producción, por lo que:

No se recomienda para la producción de trucha arcoíris.

**Microgusano (*Panagrellus redivivus*).** Este organismo no se encuentra reportado en los listados de especies exóticas invasoras. Por su tamaño y su fácil cultivo es recomendable para varias especies de peces de ornato (*Danio malabaricus* y *Poecilia reticulata*) (Kahan y Appel, 1975). La especie *Panagrellus redivivus* es un nematodo en vida libre con una coloración blanca y transparente, de tamaño pequeño 0.2 mm de longitud máxima y no son perceptibles a simple vista. Aun cuando se considera que es un alimento adecuado para las primeras etapas larvarias de peces y crustáceos (Kahan & Appel 1975), existen problemas de producción en alta escala. Este microgusano habita tanto en el medio terrestre como el acuático en donde se concentra materia orgánica, ya que se alimenta de bacterias, levaduras y hongos. También se localiza en medios de fermentación como cerveza, vino, vinagre y en panaderías, ya que las harinas presentan condiciones óptimas para ser fermentadas. El valor nutritivo de *Panagrellus*, presenta variaciones dependiendo del medio en que se cultive, sin embargo, también puede incrementarse el contenido de aminoácidos y ácidos grasos si se enriquece el medio. Los peces y crustáceos omnívoros y carnívoros demandan un porcentaje de 30 a 57 % de proteína animal, rango similar que contienen estos microgusanos. El caso del microgusano es muy similar que al de los rotíferos, la pulga de agua y la artemia, su costo de producción elevaría demasiado el valor total de la producción acuícola de trucha arcoíris, esto debido a que al ser un organismos tan voraz, aun en las primeras etapas larvarias, la cantidad de organismos que se requerirían para alimentar a los alevines por cada ciclo de siembra, sería sumamente elevado y con ello el costo de producción total, además de que los controles sanitarios tendrían que ser sumamente estrictos ya que este organismo puede transmitir parásitos y con ello enfermedades, por lo tanto:

*No se recomienda para la producción de trucha arcoíris.*

**Pulga de agua (*Daphnia* sp.).** Este organismo acuático no se encuentra reportado dentro de los listados de especies exóticas invasoras. Se conoce como pulga por los saltos que da dentro del agua, el cual es generado por la acción de las antenas. Dos especies son las más comunes, *Daphnia pulex* y *D. magna*. Estos organismos son valiosos en la alimentación para peces de pequeño tamaño de agua dulce y especialmente, en etapas de desarrollo larvario y juvenil; también se utiliza como ingrediente para la formulación de alimentos comerciales. Otro uso que se le da a este crustáceo es el referente a los bioensayos para el control de la calidad del agua por ser una especie muy sensible a los metales pesados. La *Daphnia* es capaz de detectar la presencia de mercurio en el agua hasta concentraciones de 0.005 mg/l y aun menores cantidades de plaguicidas y residuos industriales (Paggi y De Paggi, 2000). La pulga de agua es filtradora no selectiva y principalmente se alimentan de algas microscópicas, bacterias, hongos, paramecios y detritus. Además, pueden utilizar alimentos secos, siempre y cuando tengan un tamaño de partícula menor a 60 micras (De Pauw *et al.*, 1981). Por estas características

alimenticias, la calidad nutritiva de *Daphnia* va a depender fuertemente del tipo del alimento que consume, así se observa que pulgas con coloración roja, contienen vitamina A (carotina). En el laboratorio de bioquímica de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, se ha hecho el análisis de este crustáceo y registra un valor de 50 % de proteína (peso seco) y de ácidos grasos entre 20-27 % para los adultos. Cuando se suministra pulga a un cultivo, hay que cuidar de no pasar directamente este crustáceo al agua del cultivo, ya que cambios bruscos de temperatura matan rápidamente la pulga y cuando se agregan en grandes cantidades pueden llegar a contaminar el agua. Las pulgas muertas deben ser extraídas inmediatamente.

La pulga de agua se encuentra de manera natural en las corrientes hidrológicas, por lo que es un alimento “complementario” consumido en las UPA’s de trucha arcoíris. Sin embargo, la producción masiva de estos organismos no resulta viable debido al costo de producción que implicaría generar la cantidad de *Daphnia* suficiente para alimentar, al menos, alevines y juveniles de trucha, además de que el proceso de producción de *Daphnia* tendría que estar sujeto de manera particular al proceso de certificación sanitario correspondiente, e incluso tener controles especiales en la calidad de este organismo, por lo que:

No se recomienda para la producción de trucha arcoíris.

**Artemia sp.** Artemia sigue siendo, mundialmente, el alimento vivo con más demanda en la acuicultura (Fig. 7). Una de las características que la hacen tener esa gran demanda es que sus huevos se pueden enquistar y de esta manera permanecer viables durante muchos años, de tal manera que cuando se requieran sus larvas, llamadas nauplios, basta con aplicar a los quistes un tratamiento sencillo de eclosión. En cuanto a la calidad nutritiva, Artemia tiene la mayoría de los macro y micronutrientes que requieren las especies, sin embargo, existen diferencias en contenidos de proteínas, lípidos y carbohidratos entre las diversas cepas de Artemia. El contenido de proteínas varía de 41 a 66 % en nauplios de diferente origen mientras que el rango de proteínas varía de 58 a 64 % en los adultos de Artemia (Castro *et al.*, 1995). El contenido de aminoácidos es más estable, debido probablemente, a que es una característica controlada genéticamente (Castro, 1993). Ambos estadios de desarrollo, tanto los nauplios como los adultos contienen los aminoácidos que son esenciales en la nutrición de peces y crustáceos ya mencionados. El crustáceo Artemia (Fig. 7) se puede suministrar vivo, pero también congelado, seco, o incorporado en los alimentos balanceados; este organismo es indispensable en el crecimiento de larvas de camarón, de tal manera que los nauplios de Artemia no se pueden sustituir por alimento inerte, micro encapsulado, ya que se reduce la tasa de crecimiento larval, el desarrollo y la sobrevivencia de las larvas de camarón (López, 1998).



El cultivo de artemia como alimento en acuicultura, resulta viable para el caso de acuicultura de ornato debido a que lo que se busca específicamente en ese rubro es incrementar las condiciones estéticas (tamaño de velo, aletas, intensidad de color, etc.), además de que la cantidad de artemia utilizada se alterna con otros alimentos para lograr un cultivo rentable. Sin embargo, en el caso de la producción acuícola de trucha arcoíris, este alimento resulta inviable, debido a que la cantidad requerida para alimentar diariamente a los juveniles, resultaría en un alto costo de producción, además de que estos organismos deben ser sometidos a controles de calidad muy específicos, como es el caso de la Daphnia, y finalmente no resulta viable ya que el impacto significativo de este alimento pudiera reflejarse en el color del “arcoíris” (coloración del dorso de la trucha) sin embargo este efecto puede lograrse con mejor calidad y menor costo a través del alimento balanceado, por lo tanto:

*No se recomienda para la producción de trucha arcoíris.*

**Gusano de fango (Tubifex).** Por reunir las características de sabor y nutrientes que requieren los animales acuáticos, se ha utilizado, en forma tradicional al gusano de fango como alimento para peces de ornato, ya sea suministrándolo directamente o como ingrediente en los alimentos balanceados. El gusano Tubifex en su estado adulto mide aproximadamente de 1.5 a 5 cm de longitud, con un grosor de 0.4 a 0.5 mm, su coloración varía de acuerdo con la edad; las formas juveniles son de color rosa claro y las adultas de color rojo oscuro. El gusano de fango pertenece al mismo grupo de las lombrices de tierra ya que los dos son anélidos, pero estos son de menor tamaño. Se localizan en aguas con gran cantidad de materia orgánica ocasionando que este gusano sea portador de bacterias, hongos, y parásitos, así como de metales pesados, detergentes y otras sustancias, que al acumularse pueden poner en riesgo la vida de los animales que lo consumen. Para poder suministrar este gusano a los organismos en cultivo, se recomienda seguir los siguientes pasos, ya que el “tubi” excreta ácido fosfórico y puede acidificar el agua de cultivo.

1. Eliminar los organismos muertos y sus excretas. La masa de gusanos se coloca en una bandeja de poca profundidad y se enjuaga con agua de la llave.
2. Los organismos lavados se dejan en agua limpia, durante 48 horas para que los animales eliminen todo lo que tengan en el tracto intestinal; después se refrigeran a  $5 \pm C$  y cada 12 horas se limpian de los desechos que se acumulen de los organismos muertos.
3. Pasadas las horas, la masa de organismos puede colocarse en un comedero cónico de plástico que contenga pequeños orificios. La cantidad de “tubi” a suministrar se determina por dos vías: a libre demanda del organismo en cultivo o proporcionando el 10 % del total del peso de los organismos a alimentar (Perera y De la Cruz, 1984).

Otra forma de suministrar el "tubi" es en estado seco. La masa de organismos se pone a secar en una bandeja, formando una capa de un espesor de 1.5 cm. Se comprime y se forman cuadritos que posteriormente se ponen a congelar.

El tubifex tiene la particularidad de desarrollar cierta musculatura en los peces, por lo que es usado en acuicultura de ornato, sin embargo y a diferencia de la acuicultura de consumo, los peces de ornato no son destinados a consumo humano y esto hace la gran diferencia, debido a que el tubifex es colectado en canales o arroyos de aguas residuales (negras o grises) en donde se prolifera satisfactoriamente; es por ello que en ningún caso debe considerarse su uso para acuicultura de consumo ya que puede transmitir enfermedades parasitarias delicadas para la salud humana, por lo tanto:

*No se recomienda para la producción de trucha arcoíris.*

**Lombriz de tierra (*Lumbricus terrestres*).** La lombriz de tierra contiene aceptables porcentajes de proteínas que la hacen atractiva a los peces. El contenido nutritivo es de casi 59 % de proteínas y 20 % de carbohidratos, en peso seco (Comperense, 2001). Se sabe que los alimentos balanceados para peces requieren de niveles entre 35 y 60 % de proteínas, para llegar a ser considerados buenos alimentos. Las lombrices con mayor demanda son las pequeñas, y para su utilización se recomienda sumergirlas en agua hirviendo y posteriormente se cortan nuevamente para que puedan ser ingeridos por los depredadores. Cuando las lombrices no se van a utilizar en su totalidad, se pueden guardar, para lo cual deben lavarse cuidadosamente y colocarlas en frascos de vidrio o de plástico, de aproximadamente 5 litros de capacidad, llenos de agua y con algunas plantas. El recipiente se mantiene abierto y con agua continua, por goteo, para que se esté renovando el agua y no se amontonen los detritos y las partes muertas que contaminan el agua. Es importante señalar que el consumo de lombrices de tierra les produce a los peces el efecto laxante.

*Esta opción es recomendable para el cultivo de trucha arcoíris, solo en el caso de que el proveedor proporcione la prueba de digestibilidad en los organismos de trucha y la prueba de durabilidad en agua correspondiente y, a su vez, comprueben que no causarán alteraciones en la calidad del agua de la cuenca.*

**Alimento de harinas orgánicas.** Debido a que el costo en la adquisición de alimento balanceado, representa aproximadamente el 40% de la inversión en las unidades de producción acuícola, es posible que los acuicultores en organización con asociaciones civiles como son el PROCUENCA o EL CONSEJO DE CUENCA, incursionen en proyectos de elaboración de alimento para trucha con componentes no convencionales, lo cual



representaría un apoyo considerable a la producción de trucha en la región, sin embargo el presente paquete tecnológico sugiere guardar las precauciones necesarias para evitar que los residuos de estos alimentos generen aumentos en los niveles de DQO y la generación de lodos o sedimentos de fondo en los estanques. Por lo anterior, según Olvera-Novoa & Olivera-Castillo. (2000), debido al costo elevado y fluctuaciones en la disponibilidad de la harina de pescado, las proteínas vegetales se han constituido como la alternativa más viable para su sustitución en dietas acuícolas. Las leguminosas están consideradas como la principal proteína vegetal por su elevado contenido de proteína de buena calidad, vitaminas y minerales, particularmente fósforo y hierro, sin embargo, su calidad nutricional es afectada por la presencia de factores antinutricionales entre los que destacan los inhibidores de proteasas. La soya es la leguminosa más ampliamente utilizada en la alimentación de peces ya sea entera o como harina desengrasada. Los estudios indican que la soya entera tratada con calor puede sustituir hasta 73% de la proteína animal en dietas para peces, mientras que la harina es considerada actualmente uno de los ingredientes más importantes en dietas para salmónidos y bagre, en cuya dieta puede sustituir 75 y 100% de la proteína animal, respectivamente. Las tilapias también crecen adecuadamente con dietas a base de harina de soya como única proteína. Debido a la demanda sobre la soya, se han explorado otras fuentes de proteína para alimentos acuícolas, entre las que destaca la variedad de lupino baja en antinutrientes, con al que se ha logrado sustituir hasta 40% de la harina de pescado en dietas para peces principalmente salmónidos. Entre las oleaginosas, también se ha usado en la alimentación de los peces la harina o pasta de cacahuete, probada como ingrediente proteico secundario mezclado con otras proteínas vegetales, siendo posible incluir hasta un máximo de 25% en alimentos para carpa, tilapia y bagre. Además de estos materiales, se han probado varios tipos de leguminosas no convencionales entre las que se encuentran los chícharos, que pueden sustituir hasta 18% de la proteína en dietas para lobina marina. La hoja de leucaena, o guaje, a pesar de su alto contenido de mimosina, una vez remojada puede aportar hasta 25% de proteína animal en dietas para tilapia y carpa. La inclusión de harina de hoja de alfalfa provoca resultados negativos, sin embargo, sus concentrados proteicos pueden sustituir hasta 35% de la proteína animal en dietas para tilapia. La inclusión de semillas de canavalia o de sesbania tratadas para eliminar sus antinutrientes permitió sustituir 25% de la proteína en dietas para tilapia, mientras que con los frijoles verde y negro se logró sustituir hasta 33% de la proteína animal en dietas para tilapia. La *Vigna sp.* (planta de la familia Fabaceae) no aparece en los listados de especies exóticas invasoras, se ha probado en dietas para tilapia en forma harina o de concentrado proteico, con los que se puede sustituir entre 30 y 50% de la proteína animal en dietas para tilapia. Los efectos adversos asociados al uso de leguminosas se refieren a reducción en el crecimiento, baja digestibilidad y deficiencia de fósforo y de energía, atribuidos a la presencia de inhibidores de tripsina, fitatos y oligosacáridos indigeribles, además de aminoácidos libres. La mayor parte de las investigaciones con soya y lupino se han hecho con salmónidos y bagre, mientras que las leguminosas no convencionales se han

estudiado principalmente como alimento para tilapia. De acuerdo con los resultados disponibles en la literatura, las leguminosas, principalmente las especies tropicales no utilizadas en la alimentación humana, tienen un gran potencial como alimento para peces, ya que se pueden producir de manera intensiva durante la mayor parte del año. Se requieren mayores esfuerzos para identificar y caracterizar nuevas leguminosas o sus subproductos, con atributos apropiados para sustituir a la harina de pescado en dietas para peces, así como evaluarlas en campo para comprobar su desempeño a escala comercial (Olvera-Novoa, y Olivera-Castillo. 2000).

Se consultó también el artículo de Rodríguez-Miranda, J. (2014) sobre el efecto de la concentración de harina de frijol sobre las propiedades funcionales de alimentos acuícolas, donde se menciona, a la letra:

*El reemplazo de harina de pescado por harina de frijol (Phaseolus vulgaris L.) en la elaboración de dietas para especies de salmónidos no ha sido reportada, a pesar, que esta leguminosa representa una ventaja económica sobre la utilización de otras fuentes vegetales como la soya. Las dietas para trucha arcoíris (Oncoshynchus mykiss), requieren contenidos proteicos que varían entre 29 y 50% y bajos niveles de almidón 1-2% (Sevgili et al, 2006). Actualmente se han realizado investigaciones con la sustitución parcial de harina de pescado con algunas leguminosas. Cabanillas-Beltan et al. (2013) evaluaron la sustitución de harina de pescado de 10 y 18% con harina de frijolillo (Rynchosia minima) y frijol de palo (Cajanus cajan) especies nativas y exótica, respectivamente, en dietas para camarón blanco. Encontrando que después de un proceso térmico mejora la digestibilidad de estas harinas pudiendo reemplazar parcialmente la proteína de origen animal en dietas para camarón blanco en niveles de 10 y 18% respectivamente (Kader, et al., 2012), evaluaron el efecto de la sustitución de harina de pescado por harina de soya descascarado de 0, 10, 20 y 30% en dietas para besugo (Pagros major), concluyeron que la harina de soya descascarado podría reemplazar completamente la harina de pescado en las dietas para juveniles de besugo sin efectos adversos en el desempeño del pescado. Thiessen et al., (2013), evaluaron el efecto del proceso en autoclave o extrusión usando harina de canola sobre la digestibilidad del alimento para la trucha arcoíris, encontrando que la digestibilidad del almidón aumento de 41-75% cuando la dieta fue extruida. Es por ello que los extruidos con alto contenido de proteína vegetal deben poseer la misma calidad, tanto nutricional, funcional, de palatabilidad y propiedades físicas, que los pellets obtenidos por extrusión a base de harina de pescado. (FAO, 2000; Bandyobadhyay y Ranjan, 2001). Por lo anterior, la acuicultura requiere de una serie de avances técnicos para el mejoramiento de los pellets, así como el uso del proceso de extrusión para mejorar la digestibilidad y el desarrollo de alimentos de alta energía.*

Tomando como base el estudio mencionado, se sugiere tener en cuenta por lo menos los siguientes parámetros para la elaboración de alimento no convencional para trucha arcoíris:

- El porcentaje de sustitución de harinas vegetales por harinas de pescado, no deben afectar de manera significativa ( $p > 0.05$ ) el contenido de proteína, en comparación con la DC (Dieta control sin sustitución).
- El contenido de grasa no debe aumentar más de 15% ( $p < 0.05$ ) en comparación con la DC (Dieta control sin sustitución).
- Como parámetros de evaluación deben contemplarse en índice de expansión (IE) y la densidad aparente (DA). Preferentemente el índice de expansión debe medirse con el método de Gujska y Khan (1990) dividiendo el diámetro extruido entre el diámetro del orificio del lado de salida del extrusor.
- Se sugiere que la DA sea determinada de acuerdo a la técnica reportada por Wang (1993).
- Se recomienda utilizar la ecuación siguiente y expresar los resultados en  $\text{g/cm}^3$ .

$$\text{Densidad} = \frac{Pm}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 l}$$

Donde:

Pm: Peso de extrudido.

d: Diámetro.

l: longitud.

- Se sugiere determinar el Índice de absorción de agua (IAA) y el Índice de Solubilidad del Agua (ISA) de acuerdo al método de Anderson *et al.* (1969).
- Se sugiere determinar la Velocidad de Hundimiento (VH) mediante el método reportado por Himadri *et al.* (1993).
- Se recomienda utilizar el Sistema de Análisis Estadístico (SAS, por sus siglas en inglés), y utilizar un nivel de confiabilidad del 95% en la diferencia estadística.

En México, no se cuenta aún con un Manual para la Elaboración de Alimento Balanceado para Trucha, Orna-Rivas, E. 2010, describe técnicas y mecanismos dignos de considerar para la fabricación de alimentos no convencionales para trucha.

En todo momento debe considerarse que la acumulación de materia orgánica en los cuerpos de agua depende de varios factores, entre otros de la especie en cultivo, la

calidad del alimento, el tipo de manejo las corrientes y la profundidad. Las heces y los restos de alimento tienen mayores cantidades de carbono (C), Nitrógeno (N) y Fósforo (P) que los sedimentos naturales, ello produce que los fondos bajo los sistemas de cultivo, puedan tener muy alto contenido de materia orgánica y nutrientes. La materia orgánica acumulada estimula la producción bacteriana, cambiando la composición química, la estructura y funciones de los sedimentos. Algunos efectos del aumento de la carga de materia orgánica de los nutrientes en los sedimentos son la disminución de las concentraciones de oxígeno y aumento de la demanda bioquímica de oxígeno (los sedimentos aumentan su concentración anaeróbica y la reductora); se producen alteraciones en los ciclos normales de nutrientes, incrementando el ingreso del nitrógeno (N) y fósforo (P) desde los sedimentos hacia la columna de agua, además de un aumento en los lípidos.

Por lo anterior se recomienda de manera específica, que cualquiera que sea la elección del acuicultor en relación al tipo de alimento natural a utilizar, debe asegurarse de que el proveedor proporcione por escrito las instrucciones específicas de cantidades de alimento a utilizar por estanque, forma de almacenamiento en bodega, y específicamente que el proveedor haya realizado y proporcione al acuicultor una copia de los resultados de durabilidad en el agua y del tipo de residuos que genera el alimento al no ser consumido por los organismos en cultivo y al depositarse en el fondo del estanque. Durante la aplicación de cualquier tipo de alimento natural, deberá aplicar el llenado del Anexo I. Formato de Control de Alimento Natural.

**Alimento Balanceado.** Se recomienda considerar los siguientes criterios al momento de seleccionar la marca y tipo de alimento, señalados previamente por el Manual de Producción Acuícola de Trucha para la Inocuidad Alimentaria, elaborado por SENASICA, el cual es de uso común por el CSAEM (Comité de Sanidad Acuícola del Estado de México):

- a) Los ingredientes utilizados no deben contener plaguicidas, contaminantes químicos, toxinas o sustancias adulteradas. Además, deben cumplir con los estándares internacionales para niveles de patógenos, micotoxinas, herbicidas, plaguicidas y otros contaminantes que puedan originar riesgos a la salud de los peces y del consumidor.
- b) Los alimentos deben contener solamente componentes permitidos por las agencias reguladoras correspondientes. Estos compuestos incluyen aditivos, pigmentos, antioxidantes y medicamentos veterinarios aprobados para su uso en acuicultura.
- c) Los alimentos que sean producidos de forma industrial, deben estar correctamente etiquetados e incluir la lista de los ingredientes utilizados en su fabricación. La

composición nutricional de los mismos, debe estar garantizada y ser la misma que la que se declara en la etiqueta, además de ser alimentos higiénicos.

- d) De existir alguna regulación en la materia, los alimentos deben estar registrados con la autoridad correspondiente.

Si el alimento a ser utilizado en el cultivo cumple con estos requisitos, es decisión del productor de trucha la elección de la marca que considere mejor para su granja (Manual de Producción Acuícola de Trucha para la Inocuidad Alimentaria, SENASICA).

En relación a las recomendaciones específicas adicionales de este paquete tecnológico a lo establecido por el Manual de Producción Acuícola de Trucha para la Inocuidad Alimentaria, SENASICA se sugiere tomar en cuenta la normatividad aplicable en materia de producción de alimentos balanceados, de la cual existe referencia del PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA 021-PESC-1994, QUE REGULA LOS ALIMENTOS BALANCEADOS, LOS INGREDIENTES PARA SU ELABORACIÓN Y LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO CONVENCIONALES, DESTINADOS A LA ACUACULTURA Y EL ORNATO, IMPORTADOS Y NACIONALES, PARA SU COMERCIALIZACIÓN Y CONSUMO EN LA REPUBLICA MEXICANA. La cual para sus efectos establece las siguientes definiciones, mismas que se transcriben fielmente:

- **Alimento balanceado**, es el elaborado con uno o varios ingredientes que aseguren el buen crecimiento y mantenimiento de la especie acuícola de que se trate y que contenga en su formulación los nutrientes esenciales para este mismo efecto, tanto en el alimento que se importe, comercialice y produzca en México.
- **Alimento no convencional**, es el constituido por organismos acuáticos completos, sus partes o alguna fase de su desarrollo, insectos u otros organismos como por ejemplo lombrices, en presentaciones como congelados, deshidratados, etc., que se utilicen en la alimentación de especies acuícolas.
- **Ingrediente**, es aquel componente(s) o sustancia(s) utilizadas en la elaboración de alimentos balanceados para la acuicultura y el ornato.
- **Antioxidante**, es la sustancia(s) que interfiere(n) con la cadena de reacciones que ocurren en el proceso de oxidación.

De acuerdo a la fase de desarrollo y a la especie acuícola o de ornato a ser alimentada, los alimentos balanceados se clasifican en: iniciación, engorda y mantenimiento. Estos alimentos deberán contener la mezcla homogénea de ingredientes de origen vegetal, animal o de otra clase, que proporcionen las proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales indispensables para el buen desarrollo y crecimiento de las especies acuícolas y de ornato.



En cuanto a los ingredientes, deberá considerarse su composición química, a fin de evitar antagonismos, deficiencias, carencias, presencia de inhibidores, etc., que afecten la composición del alimento y la salud de los organismos acuáticos cultivados y de ornato que los consuman. Así como también para los alimentos no convencionales, vivos, congelados, deshidratados, enquistados, enteros o sus partes.

En términos generales:

- El límite máximo permisible para aflatoxina B1 y aflatoxinas totales, en alimentos balanceados y no convencionales deshidratados, congelados, o en otras presentaciones, será de 20 ppb como totales y de 5 ppb para B1. En cuanto a los ingredientes como las harinas animales y vegetales será de 20 ppb.
- Los límites bacteriológicos para alimentos, sus ingredientes y alimentos no convencionales, será de menos de 10,000 aerobios/g, sin coliformes, mientras que para harina de hueso deberá tener menos de 1,000 aerobios/g y sin *Escherichia coli*. Los diferentes contenedores, envases, empaques, etc., que se utilicen en las presentaciones en las que se comercialicen los alimentos balanceados y los alimentos no convencionales, deberán evitar el deterioro de los alimentos y cumplir con los requisitos que establezcan las regulaciones en esta materia.
- Para obtener un alimento balanceado con la presentación final deseada y con una estabilidad de almacenamiento y en el agua por periodos determinados, es necesario utilizar ciertos aditivos como los aglutinantes. Los pigmentos y colorantes alimenticios son sustancias que son adicionadas en cantidades traza a una dieta o mezcla alimenticia para facilitar su ingestión (a través del incremento de la visibilidad de las partículas alimenticias) o para impartir una coloración deseada en la carne de los peces o camarones cultivados.
- Con el objeto de evitar el enranciamiento de los lípidos presentes en los alimentos o en los ingredientes utilizados en su preparación, deberán añadirse concentraciones adecuadas de antioxidante.
- Los alimentos que contengan antibióticos y que se comercialicen, deberán añadir en la etiqueta las palabras "ALIMENTO MEDICADO".
- En los alimentos balanceados, sus ingredientes y alimentos no convencionales destinados a la acuicultura y el ornato, los niveles de mollerisina no deberán exceder de 0.3 ppm.

A nivel comercial, las principales líneas de alimento balanceado para trucha arcoíris son:

1. Iniciación - Microtecks
2. Crianza - Minipelets

3. Engorda - Pelets Extruidos
4. Engorda - Pelets Peletizados
5. Reproducción - Pelets Extruidos
6. Reproducción- Pelets Peletizados

De lo anterior se concluye que aun cuando las empresas productoras de alimentos para peces cuentan con diferentes líneas comerciales, la situación económica de los acuicultores apremia, por lo que en ocasiones se adquiere el alimento balanceado más económico en el mercado y se descuida la calidad relativa al análisis de durabilidad en el agua y del tipo de residuos que genera el alimento al no ser consumido por los organismos en cultivo y depositarse en el fondo de los estanques; sin embargo la norma indica que este tipo de alimentos se somete a pruebas específicas de calidad e inocuidad para que sea permitida su venta, incluso la norma menciona las siguientes concordancias **con normas y recomendaciones internacionales:**

- Tacon, A. J. 1989. Nutrición y Alimentación de Peces y Camarones Cultivados. Manual de Capacitación. Documento de Campo No. 4. PROGRAMA COOPERATIVO GUBERNAMENTAL FAO-ITALIA. GCP/RLA/102/ITA. PROYECTO AQUILA II.
- Control de Calidad de Insumos y Dietas Acuícolas. I Curso Regional de Capacitación (Santiago de Chile, 20/9-8/10/1993), organizado por el Proyecto AQUILA II y ejecutado por la Fundación Chile. Documento de Campo No. 16.

Por lo tanto, la calidad de los ingredientes en los alimentos que se usan en el cultivo de trucha y el análisis de durabilidad en el agua, **deben garantizarse por las plantas productoras de alimento balanceado para trucha**, mismos que deben ser elaborados bajo los principio de Buenas Prácticas de Fabricación de Alimentos para Acuicultura y seguir las recomendaciones en el Código de Buenas Prácticas en Alimentación Animal establecidas por la Comisión del Codex Alimentarius (ALINORM 03/38, CL 2002/26-AF, Codex Alimentarius Commission, 2002).

La FAO (1989) describe a los aglutinantes de la siguiente manera:

Los aglutinantes son sustancias que son empleadas en los alimentos utilizados en la acuicultura para incrementar la eficiencia en los procesos de manufactura, para reducir el desperdicio y para producir dietas estables en el agua. Por ejemplo, aglutinantes tales como las bentonitas, lignosulfonatos, hemicelulosas y carboximetilcelulosa son usados primariamente dentro de las raciones alimenticias para incrementar la eficiencia del proceso de manufactura (i.e. durante el peletizado al reducir las fuerzas de fricción de la

mezcla de alimentos a través de los dados y por lo tanto incrementando la producción por caballos de fuerza (HP) en los molinos o peletizadoras) y por la producción de un peletizado durable (i.e. al incrementarse la dureza del peletizado) evitando así la pérdida de materiales en forma de “finos” durante los procesos de peletizado, manejo y transportación. Los niveles de inclusión dietética de estos agentes aglutinantes generalmente varían entre el 1 y 2% de la dieta seca (NCR, 1983; Reinitz, 1983). Por contraste, para aquellas especies utilizadas en la acuicultura que poseen hábitos lentos de consumo y que requieren de masticar los alimentos externamente antes de la ingestión (i.e. camarones de agua dulce y marinos), es esencial que estos aglutinantes específicos sean usados para retardar la desintegración física del pelet o masa alimenticia dentro del agua hasta que la digestión sea completa. Bajo estas circunstancias se requieren agentes aglutinantes dietéticos adicionales, así productos de plantas almidonosas (i.e. almidón de palma sagu, almidón de papa, harina de trigo o pan, arroz y maíz; el efecto de aglutinado se alcanza con el tratamiento de calor y la consecuente gelatinización del almidón), alginatos (i.e. sales del ácido algínico extraído de algas marinas), carrangeninas, gomas de plantas (i.e. goma gua, goma de algarrobo, goma arábica), agar, harina de trigo con alto contenido de gluten, quitosan, propilen glicol, alginato y gelatina (Forster, 1972; Meyers, Butler and Hastings, 1972; Balazs, 1973;; Murai, Sumalangkey and Pascual, 1981; Pascual, Bandonil y Destajo, 1978; Heinen, 1981; Pascual y Sumalangkey, 1981; Viola, Gur y Zohar, 1986). Alternativamente, agentes aglutinantes tales como polimetilcarbamida (i.e. Basfin) y mezclas de urea-formaldehído/sulfato de calcio (i.e. Maxi-Bond) con propiedades de aglutinación dobles pueden ser usadas junto con peletizado a vapor (i.e. estos aglutinantes son activados por la inyección de vapor durante el peletizado; la reacción de condensación puede ser controlada durante el peletizado para dar la durabilidad requerida y la estabilidad en el agua). El nivel de inclusión dietética de estos dos agentes aglutinantes es generalmente menor a 0.5 % de la dieta seca. Para el uso de dietas húmedas o semihúmedas el uso de alginatos o sal deberá ser mencionado. Los alginatos son agentes aglutinantes importantes, por su habilidad de producir dietas estables en el agua. Por otra parte, estos materiales pueden ser utilizados en la fabricación de comprimidos húmedos o secos, utilizando la función de formar geles o soluciones altamente viscosas en la reacción con metales polivalentes tales como el calcio.

La efectividad de los agentes aglutinantes individuales dependerá de una variedad de factores, incluyendo:

- Tamaño de partícula del alimento - la eficiencia del aglutinante y la durabilidad del pelet decrecen con el incremento del tamaño de partícula (Hastings, 1971; Viola et al, 1986).



- Procesos de manufactura - La capacidad de aglutinar del almidón basado en los ingredientes alimenticios se incrementa con el tratamiento de calor y la gelatinización del almidón (Hastings, 1971; Hilton, Cho and Slinger, 1981; Murai, Sumalangky y Pascual, 1981; Viola *et al*, 1986).
- Diámetro del pelet y grosor del dado - La deficiencia de aglutinado se incrementa con la reducción del tamaño del pelet y se incrementa con el grosor del dado (Viola *et al*, 1986).
- Composición de la dieta - “Los alimentos bajos en fibras presentan poco campo de extrusión en un dado de pelets. Ingredientes con alto contenido de grasas y lubricantes grasos añadidos al alimento durante la extrusión, limitan el trabajo de compresión en el dado para formar un pelet sólido. Los pelets que están formados con poca compresión se rompen fácilmente con el manejo y cuando se humedecen. Las grasas que se añaden también cubren la superficie de las partículas de carbohidratos en el alimento, previniendo la gelatinización propia de los almidones durante los procesos de acondicionamiento con vapor y extrusión. Los ingredientes que repelen el agua o que contienen poco material gelatinizable (cascarilla de arroz y avena, alfalfa, huesos y subproductos de animales) debilitan un pelet. Ellos también a menudo son esponjosos o elásticos y después de ser forzados a pasar a través de los hoyos de los dados, tienden a expandirse en un alimento suave y laxo. Algunos ingredientes contienen grandes componentes los cuales son duros y son difíciles de moler y proporcionan poco o ningún poder aglutinante. Las cascarillas de arroz y avena, huesos de los subproductos animales, el ectodermo de los dientes del maíz, dentro del pelet y sus apariciones a través de la pared del pelet, hacen de este último blanco para la entrada de humedad y ruptura durante el manejo. Ingredientes hidróscopicos como sal, azúcar, melazas y urea, permiten también la entrada del agua en el pelet. Estos materiales elevan el contenido de humedad de los pelets almacenados a un nivel que los suavizan antes de ser usados en el agua” (Hastings, 1971).

Una vez que el acuicultor seleccione el tipo de alimento a utilizar, deberá consultar con el proveedor la tabla de alimentación recomendada para determinar las raciones por día en base al factor de conversión alimenticia (FCA).

Para usar la tabla proporcionada por el proveedor de alimentos, el productor debe conocer como mínimo los siguientes datos:

1. Numero de peces por estanque.
2. Resultados del muestreo de organismos que se realice cada 15 a 20 días, que incluya: talla promedio, peso promedio, biomasa total, numero de peces, numero

de peces muertos en el periodo, factor de conversión, incremento de biomasa, cantidad precisa de alimento suministrada cada 15 días.

En cuanto a las características de la bodega en la que se almacenen los alimentos balanceados, insumos y/o alimentos no convencionales, este paquete tecnológico recomienda que se deban observar las siguientes características, mismas que se tomaron como base del Manual de Producción Acuícola de Trucha para la Inocuidad Alimentaria (SENASICA):

1. Local limpio, de suficiente capacidad, fresco y seco, bien iluminado, con paredes y piso impermeabilizados, dispositivos que impidan la entrada de roedores, insectos, etc. Además, almacenar el alimento en tiempo, no mayor a las especificaciones del fabricante, agotar existencias previas, disponer de un entarimado para estibar el alimento y evitar la formación de finos.
2. Existen varias clases de contaminantes que pueden contaminar los alimentos, tales como los fumigantes, pesticidas, herbicidas, solventes, contaminantes industriales y metales pesados, los cuales no deberán sobrepasar niveles de 0.5 ppm en los alimentos balanceados, sus ingredientes y los alimentos no convencionales.
3. Referente al contenido de proteína y sus aminoácidos, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales de los alimentos balanceados, sus ingredientes y los alimentos no convencionales, deberán observar las regulaciones vigentes en materia de etiquetado. Asimismo, los certificados de calidad que se requieran en los que se asiente la calidad de estos productos que se importen, comercialicen y se produzcan en el Territorio Nacional, deberán apegarse a las regulaciones vigentes o que se expidan en esta materia.

#### **III.2.4.1 Condiciones de almacenamiento y manejo de alimentos para acuicultura.**

Las buenas prácticas de almacenamiento son de suma importancia ya que el valor del alimento que reciban los organismos depende de ellas. El alimento puede perder significativamente su calidad durante el almacenamiento y la rapidez con que esto pueda suceder tendrá mucho que ver con la forma en que se encuentre almacenado.

#### **III.2.4.2 Condiciones de la bodega.**

Se recomienda que tenga entradas de aire (rendijas) a lo largo de la parte baja de las paredes en donde pega el viento dominante y salidas de aire en la parte alta del lado contrario. De esta manera el flujo de aire será de abajo hacia arriba lo que permitirá un recambio completo a través del alimento almacenado, eliminando el calor y la humedad en la bodega, elementos principales que ayudan a la proliferación de hongos e insectos en

el alimento. La bodega deberá estar protegida contra roedores y pájaros, se recomienda el uso de tablas con pegamento sobre el piso, tanto en la parte de afuera como adentro y al lado de las puertas. Para un mejor control aun, de dichos animales, estas tablas se pueden colocar en intervalos sobre el piso, a lo largo de las paredes y tarimas. Las estibas de alimento deberán colocarse por lo menos a unos 50 cm de separación de los muros, de esta manera se tendrá un espacio adecuado para la circulación del aire y la limpieza, facilitando la inspección del alimento y la colocación y mantenimiento de ser necesario, de trampas de captura para roedores.

### III.2.4.3 Especificaciones para el almacenamiento.

La calidad del alimento se deteriorará rápidamente si este no se almacena adecuadamente. Las vitaminas y algunos aditivos sensibles al calor son los más vulnerables, así como las grasas que pueden oxidarse (ranciarse) sin importar que estas estén estabilizadas y ser de buena calidad. Deberán tomarse en cuenta las siguientes condiciones de almacenamiento:

1. Los bultos de alimento deberán almacenarse en la bodega, siendo este un lugar limpio, seco, fresco y bien ventilado.
2. Durante el almacenamiento los empaques deberán estar siempre cerrados.
3. Las estibas de alimento se deberán hacer de preferencia en tarimas de madera. Las camas o posos de cada una de las estibas no deberán exceder de diez, para no maltratar el alimento.
4. Los sacos de los alimentos deberán conservar siempre sus etiquetas para poder ser identificados correctamente. Hay que tener mucho cuidado de no mezclar los sacos de los alimentos medicados (En caso de existir).
5. No se deberán almacenar los alimentos directamente sobre el suelo ni estar en contacto con los muros de la bodega.
6. Los sacos de alimentos deberán almacenarse al abrigo de la luz del sol.
7. Durante el almacenamiento, se deberá aplicar el sistema de primeras entradas y primeras salidas. Es decir, se ocupará primero el alimento viejo y después el nuevo.
8. No se utilizarán alimentos infestados con hongos y/o insectos ya que pueden causar enfermedades.
9. Se evitará el manejo excesivo de los sacos de alimento, cuando este sea necesario se hará con el mayor cuidado posible.
10. Los sacos de alimentos deberán consumirse dentro de los primeros 90 días a partir de la fecha de fabricación indicada en la etiqueta.

11. Las condiciones de almacenamiento serán temperatura no mayor a 25°C y humedad relativa del medio ambiente menor al 70%.
12. El tiempo ideal de almacenamiento será de 90 días naturales en condiciones climatológicas ideales. Durante el verano deberá estimarse el aumento de temperatura en la bodega y con ello se estimará el tiempo de almacenamiento que por consecuencia debe ser menor que en el invierno.
13. El arreglo recomendado para los sacos por piso sobre tarima será de 8 unidades, dejando siempre un canal de circulación de aire para lograr una buena ventilación entre cada uno de los pisos.

La SENASICA informa a través de comunicados oficiales que la Norma Oficial Mexicana NOM-021-PESC-1994, que regula los alimentos balanceados, los ingredientes para su elaboración y los productos alimenticios no convencionales, utilizados en la acuacultura y el ornato, importados y nacionales, para su comercialización y consumo en la República Mexicana, establece entre sus principales apartados:

- En cuanto a los ingredientes, deberá considerarse su composición química, a fin de evitar antagonismos, deficiencias, carencias, presencia de inhibidores, etc., que afecten la composición del alimento y la salud de los organismos acuáticos cultivados y de ornato que los consuman. Así como también para los alimentos no convencionales, vivos, congelados, deshidratados, enquistados, enteros o sus partes.
- Con el objeto de evitar el enranciamiento de los lípidos presentes en los alimentos o en los ingredientes utilizados en su preparación, deberán añadirse concentraciones adecuadas de antioxidante.
- Los alimentos que contengan antibióticos y que se comercialicen, deberán añadir en la etiqueta las palabras "ALIMENTO MEDICADO".
- En los alimentos balanceados, sus ingredientes y alimentos no convencionales destinados a la acuacultura y el ornato, los niveles de mollerossina no deberán exceder de 0.3 ppm.
- Referente al contenido de proteína y sus aminoácidos, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales de los alimentos balanceados, sus ingredientes y los alimentos no convencionales, deberán observar las regulaciones vigentes en materia de etiquetado. Asimismo, los certificados de calidad que se requieran en los que se asiente la calidad de estos productos que se importen, comercialicen y se produzcan en el Territorio Nacional, deberán apegarse a las regulaciones vigentes o que se expidan en esta materia.

Se llevará un formato de control del alimento en la granja, con los siguientes puntos a ser registrados en la hoja de control (Anexo II Formato de Control de Alimento Balanceado):

- Nombre y dirección de la granja.
- Fecha de compra del alimento y fecha de arribo a la granja.
- Nombre y dirección de la compañía que elaboró el alimento.
- Tipo de alimento, cantidad, número de lote y fecha de expiración.
- Clave asignada en la granja al lote de alimento recién llegado.
- Fechas de uso y relación del número de estanque o canal de peces en los cuales el alimento fue utilizado.
- Las condiciones de temperatura y humedad del almacén.
- Reportar la presencia de plagas y si se utilizó algún químico para su prevención o control.
- Un apartado para anotar observaciones.
- Nombre y firma del responsable de los alimentos del almacén.

El registro de uso y control de la calidad del alimento debe llevarse aparte de los registros de alimentación y crecimiento de cada estanque o canal de la granja. El programa de alimentación debe realizarse considerando la selección adecuada del tamaño de la partícula de alimento, de reciban la cantidad apropiada de alimento y en la frecuencia necesaria para obtener un crecimiento óptimo.

#### III.2.4.4 Alimentos medicados.

La prevención de enfermedades a través de las buenas prácticas constituye la mejor medida para su control. El uso no controlado de medicinas veterinarias puede ocasionar la acumulación de residuos en los peces y el medio ambiente, además de que el uso continuo de medicamentos antibacteriales y antiparásitos, puede favorecer la resistencia de los organismos patógenos a estos. El control de las enfermedades a través de medicamentos veterinarios, debe realizarse solamente cuando se tiene un diagnóstico correcto hecho por un veterinario o un especialista calificado, por recomendación expresa mediante receta médica por personal técnico únicamente acreditado por CSAEM. En el caso del alimento medicado comercial, las plantas productoras de alimentos para trucha deberán contar con la licencia correspondiente para la elaboración de estos y cumplir con los lineamientos que establece el Codex a través del Codex Committee on Residues of Veterinary Drugs in Foods. Aunque existen diferentes tipos de antibióticos en el mercado, solamente son pocos los aprobados por las agencias reguladoras para su uso en alimentos para peces. Los medicamentos utilizados, deberán registrados por esas agencias.

Los tratamientos con el alimento medicado deben realizarse de forma completa, es decir, siempre deben aplicarse las dosis recomendadas y durante el periodo de administración para el que se prescribió el medicamento. El tratamiento debe continuar aún después de que los peces aparentemente se hayan recuperado. El alimentar a los peces con concentraciones menores o por menor número de días, puede ocasionar que las bacterias desarrollen una resistencia al antibiótico, y de ser así no funcionará para controlar otras infecciones que puedan presentarse posteriormente en la granja. Después de su aplicación, los medicamentos veterinarios deben retirarse y se debe considerar un periodo de retiro adecuado para cada producto. No es recomendable utilizar medicamentos para adicionarlos directamente al alimento. Si se diera el caso de no contar con alimentos medicados comerciales, en una situación de emergencia se pueden utilizar los medicamentos aprobados para mezclarlos con el alimento. En este caso, el medicamento se debe prescribir y administrar por un profesional responsable de la aplicación de químicos y fármacos facultado por la autoridad sanitaria. El uso directo de los medicamentos veterinarios y otros químicos para controlar enfermedades en peces y otros organismos acuáticos, se describe a continuación:

El uso de sustancias químicas y fármacos debe ser controlado armonizando la calidad de los productos de consumo nacional y de exportación. Un criterio esencial para la selección, es nunca utilizar sustancias y fármacos prohibidos. Una lista de los compuestos químicos y fármacos autorizados en los Estados Unidos de América, se encuentra en la siguiente dirección electrónica: <http://aquaninc.org/publicat/govagen/usda/gdvp.htm>. En caso de ser necesario, es recomendable utilizar solo aquellos químicos o fármacos que han demostrado su eficacia para el tratamiento de las enfermedades en trucha y que su uso ha sido aprobado por las autoridades correspondientes (CSAEM). Deberá existir un acuerdo entre las autoridades y los productores para la selección y uso de cualquier compuesto químico.

La Comisión de las Comunidades Europeas elaboró la Directiva 96/23/CE del Consejo del 29 de abril de 1996, relativa a las medidas de control aplicables al respecto de determinadas sustancias y sus residuos en los animales vivos y sus productos. En esta Directiva, que también aplica a los peces y otros productos de la acuicultura, se proporciona una lista de compuestos sujetos a restricciones o prohibiciones y para los que se deben realizar análisis para su detección. Los compuestos son medicamentos veterinarios (incluidas las sustancias no registradas que podrían utilizarse para efectos veterinarios) y contaminantes:

- a. Sustancias antibacterianas, incluidas las sulfamidas y quinolonas.



- b. Otros medicamentos veterinarios: antihelmínticos, anticoccidianos, incluidos los nitroimidazoles, carbamatos y piretroides, tranquilizantes, antiinflamatorios no esteroides (AINS), otras sustancias que ejerzan una actividad farmacológica.
- c. Otras sustancias y contaminantes medioambientales: compuestos organoclorados (incluidos los PCB), compuestos organofosforados, elementos químicos, micotoxinas, colorantes, otros.

Para las siguientes sustancias existen restricciones muy estrictas de acuerdo a información de la FAO y la FDA:

- 1. Cloranfenicol
- 2. Nitrofuranos (incluyendo Furazolidona, Nitrofurazona)
- 3. Dimetridazol
- 4. Fluoroquinolonas
- 5. Clenbuterol
- 6. Dietilstibestrol (DES)
- 7. Iprnidazol
- 8. Otro nitroimidazoles
- 9. Glicopéptidos

Ninguno de estos compuestos deberá usarse en alguna parte del proceso de producción.

Los criterios de monitoreo para evaluar la presencia de algún fármaco, deben basarse en el conocimiento de sus características, como por ejemplo el tiempo de eliminación o permanencia en los organismos, ya que cada producto se comporta de manera diferente en cada especie. También deben conocerse su efecto potencial en el consumidor.

Se debe tener registro de cuándo se aplicó un antibiótico, la duración del tratamiento, por qué se dio ese tratamiento y en qué dosis se proporcionaron los antibióticos. Estos registros ayudarán a saber en ciclos posteriores, cuántas veces se han aplicado los mismos antibióticos. En caso de que se hayan utilizado antibióticos en la granja y para evitar riesgos al consumidor, no se debe cosechar si no se realizó de forma responsable la aplicación de éstos y si no se observaron los periodos de retiro. Se deben realizar análisis en los peces para la búsqueda de los antibióticos utilizados, con el objetivo de determinar que ya no hay residuos en los tejidos. En caso de que existan residuos, se deben dejar a los organismos más tiempo en los estanques, canales o en un medio limpio para permitir la eliminación de los mismos. Para determinar cuáles son las sustancias químicas a las que hay que dar seguimiento, es necesario saber en cada paso del proceso cuáles son las

sustancias peligrosas que se utilizaron y que pueden ser potencialmente dañinas para el consumidor. Dependiendo de los peligros identificados, se deberán enviar muestras de tejido de pescado, para verificar la ausencia de dichos peligros.

Al igual que para otros parámetros, la utilización de formatos de registro son de gran utilidad para el control de uso de productos químicos y fármacos destinados a usos acuícolas en un centro de producción de trucha, para evitar residuos en el producto final. En el Anexo III, se muestra el formato para el control de uso de sustancias químicas unidades de producción acuícolas, mismo que se recomienda deberá reportarse de manera voluntaria a las oficinas regionales de la APRN Valle de Bravo, esto con la finalidad de tener un control de las sustancias químicas que se introducen en los cauces y que pudieran tener un efecto en la biodiversidad de la zona.

En el caso particular de la microcuenca San Bartolo-Conejeras, los sistemas de producción no reportan brotes sanitarios extraordinarios, por lo que únicamente realizan baños de sal a manera de tratamiento preventivo principalmente en la temporada de seca, ya que debido a la disminución del caudal de agua es mayormente probable que se registren brotes sanitarios. Durante el presente servicio de consultoría, no se registraron datos que indiquen la aplicación de alimentos medicados en la producción de las granjas participantes; sin embargo, es importante considerar que en el caso de que éstos se utilizaran, existe el riesgo de que parte de estos compuestos termine en el ambiente, a través del alimento no ingerido y de las heces fecales por lo que pueden ser consumidos por otros organismos acuáticos presentes en estado libre en la micro cuenca. Algunos antibióticos solubles se diluyen rápidamente y otros como la oxytetraciclina son fotodegradables. Sin embargo, se ha determinado que diferentes antibióticos pueden permanecer durante varios meses en los sedimentos. Hoy en día se reconoce que los antibióticos pueden estar presentes a cientos de metros de los sistemas de cultivo, permanecer en el ambiente por más de dos semanas, luego de ser suministrados, y encontrarse en organismos que consumieron el resto de los alimentos con residuos de antibióticos.

#### **III.2.4.5 Características de los tipos de abono y/o fertilizantes a utilizar, formas y cantidades de suministro y almacenamiento.**

De acuerdo a las especificaciones del MANUAL DE BUENAS PRACTICAS DE PRODUCCIÓN ACUÍCOLA DE TRUCHA PARA LA INOCUIDAD ALIMENTARIA, el proceso de producción de trucha arcoíris requiere de agua prácticamente cristalina y con OD en óptimas cantidades, es por ello y por la experiencia de los productores, que en las unidades de producción ubicadas en la cuenca de Amanalco no se utiliza un proceso de fertilización preliminar ni



de mantenimiento. Debido a las características de origen del agua de la cuenca no es necesaria la aplicación de anti-incrustantes para las artes de pesca.

A diferencia de sistemas de producción acuícola como la camaronicultura, en la producción de trucha se requieren parámetros de calidad del agua muy específicos que permitan asegurar la sobrevivencia de la producción, los niveles óptimos para el desarrollo son:

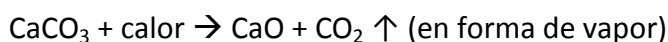
PARÁMETRO	RANGO OPTIMO DESEABLE
Oxígeno Disuelto (OD)	7.0 ppm
pH	6.7-8.5
Alcalinidad	80 a 200 mg/L como CaCO <sub>3</sub>
Bióxido de Carbono	<2.0 mg/L
Calcio	>50 mg/L optimo (4 a 160 mg/l)
Zinc	<0.04 mg/L a pH 7.6
Cobre	<0.006 mg/L en aguas blandas
Amoníaco como NH <sub>3</sub>	<0.02 mg/L exposición constante <0.05 mg/L exposición intermitente
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	<0.5 mg/L
Nitratos	0 a 3 ppm
Nitrógeno	<100% a saturación total <110 % como presión total de gases a saturación
Sólidos Suspendidos (SS)	<80 mg/L
Sólidos Disueltos (SD)	20 a 500 mg/L
Ácido Sulfhídrico	<0.002 mg/L

PARÁMETRO	RANGO OPTIMO DESEABLE
Temperatura	9.0 a 17°C

Tabla 7. Rangos óptimos deseables de los parámetros fisicoquímicos

Es por ello que los estanques se encalan, con la intención de neutralizar el pH y la alcalinidad, lo que mejora la disponibilidad de nutrientes lo suficiente como para mantener un buen incremento de fitoplancton, que es de suma importancia para el desarrollo de la producción. Los tipos de cal utilizada son principalmente para acuicultura son:

**Cal viva.** Es el resultado de la cocción de una roca caliza, desintegrándose el  $\text{CaCO}_3$  de la roca para dar  $\text{CaO}$  (cal viva). Se trata del primer paso del ciclo de la cal, que se describe mediante la siguiente fórmula:



Es una cal altamente reactiva en forma de terrones, que presenta una gran avidez por el agua. De hecho, tiende a absorber el vapor de agua presente en el ambiente si no es almacenada cuidadosamente. La reactividad de la cal viva ha hecho que tradicionalmente se utilice como medio para la desinfección. Al emplear la cal viva como pintura, ésta absorbe el agua de la superficie con la que entra en contacto. De este modo, todos los microorganismos que estén depositados sobre las paredes pintadas se deshidratan rápidamente. Es por ello por lo que se dice que la cal “desinfecta”. Hay que señalar, que este poder biocida de la cal sólo es atribuible a la cal viva, en ningún caso al resto de las cales.

**Cal dolomita.** Es un fertilizante enmendador de suelos especialmente formulado para corregir problemas de acidez y para aportar Calcio y Magnesio de disposición gradual para la planta, no se recomienda su uso para el caso de las unidades de producción acuícola ubicadas en la microcuenca San Bartolo Conejeras.

**Cal hidratada.** Es el resultado del horneado y pulverización de agua con la cal viva. En muchos casos es la presentación comercial más utilizada para la desinfección de estanques, sin embargo, la acción es menos efectiva que la aplicación de cal viva.

Con lo anterior se concluye, que el medio de desinfección idóneo para los estanques trutícolas de la Cuenca de Amanalco es la aplicación de cal viva. De manera estricta, las cantidades de cal a utilizarse dependen de las características químicas de los sedimentos del fondo del estanque, esto quiere decir que se debería aplicar una prueba de laboratorio a cada muestra de sedimentos de los estanques, lo que permitiría determinar la cantidad de cal que se debe aplicar (por lo general 200 g/m<sup>2</sup> de estanque). Sin embargo, en el contexto rural de acuacultura mexicana esta especificación resulta inviable por lo cual se recomienda utilizar los siguientes pasos para realizar la desinfección de estanques:

1. Adicionar 1 Kg de cal viva a una cubeta o bote con 5 L de agua, mezclar hasta deshacer los terrones de cal viva.
2. Dejar la mezcla (lechada) en reposo como mínimo un día antes de la aplicación del “encalado” (nombre común de la aplicación de la mezcla en la superficie de los estanques).
3. La cantidad de mezcla preparada dependerá de la superficie de los estanques, se recomienda aplicar por lo menos dos capas de “lechada” por estanque.
4. Los estanques a los que se aplicara la mezcla, deben estar previamente vacíos y secos.
5. No se recomienda encalar las canaletas, a menos que existiera una recomendación puntual del CSAEM.
6. Una vez aplicada la mezcla, se recomienda permitir el secado por acción solar por lo menos tres días.

Una vez realizado el proceso de desinfección, se recomienda realizar el llenado de estanques y evitar en todo momento la aplicación de fertilizantes, esto debido a que los fertilizantes orgánicos e inorgánicos se sedimentan y son absorbidos por los lodos de fondo, lo cual reduce drásticamente la disponibilidad de fósforo para el fitoplancton y permite, la producción de plantas acuáticas o el crecimiento de algas filamentosas. Existen dos tipos de fertilizantes:

**Fertilizantes inorgánicos:** se utilizan los que tengan alto fósforo como el 10–30–10 o el super-fosfato triple, los cuales están disponibles en el mercado con mayor facilidad. Para estanques nuevos se maneja la urea con el fin de proveer nitrógeno que a veces es limitante. Se diluyen lentamente en un recipiente con agua y luego se esparcen por todo el estanque. El método de aplicación es colocar una plataforma pequeña debajo del agua (20–30 cm) para que se diluyan, la plataforma se localiza cerca de la entrada del agua. También se puede colocar en un bote de plástico perforado bajo el agua a unos 30 cm.

**Fertilizantes orgánicos:** los más frecuentes son el estiércol de cerdo (cerdaza, gallinaza y vacaza). Se aplican directamente al fondo del estanque antes de llenarlo. El método de aplicación consiste en colocar el fertilizante en un costal en una esquina del estanque o en una pequeña empalizada, para que los nutrientes se disuelvan lentamente.

Sin embargo, para fines de conservación de calidad del agua de la Cuenca de Amanalco, se recomienda evitar la aplicación de fertilizantes.

#### IV. Medidas de contención y control recomendadas para prevenir las posibilidades de escapes de organismos en el sistema de producción.

Como se describió en el producto 2, la infraestructura productiva encontrada en las UPA analizadas, se compone principalmente de:

1. Canaleta de derivación o “bocatoma”.
2. Canal principal.
3. Canal aliviadero.
4. Canal de distribución o canales secundarios.
5. Canales de desagüe.
6. Estanques de tierra.
7. Estanques de mampostería de piedra acomodada.
8. Estanques de concreto.
9. Sala de incubación

Las canaletas de derivación o “bocatoma” no cuentan con adecuaciones de contención de organismos.

Con base al análisis HACCP que se realizó por unidad de producción, el presente paquete tecnológico plantea implementar medidas de contención y control que permitan prevenir las posibilidades de escapes de organismos en los sistemas de producción a través de las diferentes etapas del proceso productivo, estas adecuaciones se implementarán sobre la estructura existente en las UPA, y requerirá en la mayoría de los casos el rediseño hidráulico de algunas áreas al interior; esto debido a que más de la mitad de las UPA analizadas no cuentan con infraestructura adecuada, es decir, las canaletas y los estanques son rústicos de tierra y sin recubrimiento con materiales de construcción, lo que dificulta la implementación de medidas de contención de organismos, además de que en la mayoría de los casos, el problema principal es que no se cuenta con una sola descarga de aguas residuales por unidad de producción, acción que dificulta el control de organismos de trucha arcoíris.

Como recomendación principal, se deben concentrar todas las descargas de agua residual, en una misma, esto eficientará el funcionamiento operativo de las unidades de producción y también facilitará el proceso administrativo del trámite CONAGUA-01-001 Permiso de descarga de aguas residuales. Con base a este punto, en el curso taller celebrado los días 8 y 9 de mayo, los acuicultores participantes en el proyecto, manifestaron su interés por concentrar las múltiples descargas de sus unidades de producción, en una sola, dejando claro que es un proceso que no resultara fácil por el costo que esto implica pero que pretenden ponerlo en práctica a corto mediano plazo.

Partiendo del panorama actual de funcionamiento de las UPA analizadas, se emiten las siguientes recomendaciones previa aplicación de las medidas de contención:

1. Dirigir el régimen y volumen de los distintos puntos de descarga de aguas residuales, en un canal de salida único.
2. El canal de salida único no deberá contemplar las descargas que se destinen al reúso de agua en su caso.
3. La infraestructura del canal de salida único, debe contar con recubrimiento de cemento o algún material a fin de permitir la colocación de métodos de contención de organismos de trucha arcoíris o sólidos mayores.

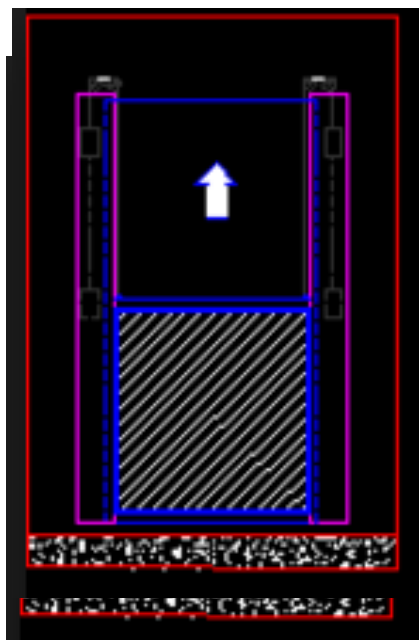
### **V.1 Métodos de contención a la entrada de las unidades de producción acuícola.**

Por lo general, la canaleta de derivación se encuentra ubicada en “zona federal” es decir, es la infraestructura que está en la zona de derivación de agua que se ubica directamente en el río y conecta al canal principal de distribución, lo cual representa la principal zona de entrada de organismos provenientes de otras unidades de producción.

El método de contención propuesto para esta zona consistía inicialmente en la implementación de una compuerta funcional, la cual estaría recubierta con una malla metálica directamente soldada a la pared frontal de la compuerta, evitando la entrada de organismos acuáticos mayores en vida libre y sólidos orgánicos e inorgánicos como son ramas, hojas o basura. La función de la compuerta sería regular la entrada de un flujo determinado de agua, a la unidad de producción, aun cuando se presentará un evento extraordinario de avenidas por condiciones pluviales, esta compuerta limitaría el flujo de ingreso y lo contendrá para evitar desbordes en los estanques; la compuerta podría cerrarse en el momento que se determinará una situación de riesgo para el sistema y este quedara estable. Las dimensiones de la compuerta dependerían de las medidas ya existentes en la canaleta de derivación de cada unidad de producción acuícola, la medida

promedio es de 0.60 m de largo por 1.30 m de alto, la placa metálica que funcionaría como rejilla de contención debería estar soldada por lo menos hasta una altura de 1 m.

El diseño propuesto se muestra a continuación:



Este mecanismo se planteó como propuesta a los asistentes al Curso Taller, quienes al respecto manifestaron la falta de viabilidad al hecho de que la rejilla a manera de coladera, podría generar un riesgo debido a que la vigilancia en la zona no es la adecuada, y los paseantes o personas que caminan comúnmente por el lugar, pudieran provocar taponamientos que generen disminución en el caudal de entrada y con ello mortandad en las unidades de producción. Por lo anterior, aunque en términos de ingeniería este método pudiera resultar viable, las condiciones sociales de la zona no permitirán su correcto funcionamiento. Sin embargo, este paquete tecnológico recomienda la implementación de compuertas tipo, sin la adaptación de rejilla metálica, al menos en las unidades de producción que se abastecen de agua tomada directamente del cauce, como son:

1. Los Encinos.
2. El Rincon.
3. Puente de Tierra.
4. San Jeronimo Conejeras.



Del mismo modo, se planteo a los asistentes del Curso Taller, el rediseño de la canaleta de derivación, para lo cual se recomienda instalar como sistema auxiliar un módulo de rejillas que funcionarán como mecanismo de desbaste o cribado, y que evitarán la entrada o salida de organismos de trucha del sistema de producción.

Para lograr el diseño óptimo de los métodos de contención, se partió del punto comparativo de que, la estructura general de las unidades de producción acuicola de trucha arcoíris, son semejantes a la estructura base de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Por lo anterior, esta propuesta surge a razón del comparativo estructural entre ambas y por ello a la oportunidad que esto representa para efficientar, por una parte el modelo de rejillas como sistema de contención de organismos de trucha arcoíris y en segundo plano, aprovechar estas rejillas de contención como sistema de cribado o desbaste (términos técnicos usado en materia de tratamiento de aguas) que permite la separación de sólidos mayores.

Si observamos a detalle el diseño de funcionamiento general de las UPA, la canaleta de derivación y el paso del agua hacia los estanques de la primera batería, resultan funcionar de mismo modo que funcionan los principios de ingeniería en un sistema preliminar de tratamiento de aguas residuales, operando por el método de homogeneización de caudales; esta acción permite amortiguar por laminación las variaciones de caudal, con el objetivo de conseguir un caudal constante o casi constante (Metcalf & Eddy, 1996), a fin de evitar problemas operacionales variaciones en la calidad y caudal en la entrada de los sistemas, y con ello mejorar el rendimiento de los procesos (Seco & Ferrer, 2006). De tal modo que haciendo el comparativo de diseño de un sistema de producción acuicola de trucha arcoíris, con un sistema de tratamiento preliminar de aguas residuales es importante señalar que existen dos tipos de unidades para la homogeneización de caudales (Crites & Tchobanoglous, 2000):

1. Unidades de homogeneización en línea.- El tanque de homogeneización está localizado en la misma dirección del flujo de las aguas, pasando por el la totalidad del caudal (caso específico del tanque de almacenamiento, represa o canales sedimentadores, de las UPA El Arroyo, La Virgen, Los Encinos y Puente de Tierra).
2. Unidades de homogeneización en derivación o paralelo.- El tanque esta separado del flujo de la corriente principal, desviando a este las aguas que excedan del caudal medio diario (Caso de las UPA San Bartolo, Corral de Piedra, El Checo, Tizapa, El Rincón y Conejeras).

Otro principio de ingeniería de tratamiento de aguas residuales con el que se puede comparar un sistema de producción acuícola de trucha arcoíris, es el sistema de desarenado. Esta operación sirve para separar, arenas, gravas, o residuos sólidos cuya velocidad de sedimentación o peso específico sea considerablemente mayor al de los sólidos putrescibles presentes en el agua residual. En un sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo general los desarenadores se ubican después de las unidades de remoción de sólidos gruesos y antes de los tanques de sedimentación primaria.

Tomando como base el documento Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario, de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), es posible eficientar el rediseño operativo de las unidades de producción acuícola de trucha arcoíris de la Cuenca de Amanalco, mediante la implementación de principios de ingeniería de diseño que permita por una parte, contener los organismos de trucha arcoíris para que estos no escapen de las unidades de producción y al mismo tiempo aprovechar estos mecanismos para eficientar el proceso de sedimentación de sólidos totales que permitan al menos mantener las condiciones de calidad del agua del afluente y efluente de las UPA, a través de un sistema de pretratamiento de aguas residuales.

El sistema de pretratamiento de aguas residuales es una estructura auxiliar que debe preceder a cualquier sistema de tratamiento. Esta estructura tiene como objetivo reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que trae consigo algún influente de aguas residuales, evitar la obstrucción de conductos, entre otros (Allende, 2001)

El sistema de pretratamiento está integrado por: Canal de control de velocidades, Canal de control de gastos, Cribado y desarenador. El rediseño propuesto para la canaleta de derivación se basa en el sistema típico de pretratamiento (Solís, 1995). Este modelo busca generar acciones de sedimentación de sólidos totales, con base en el diseño de paredes laterales, lo que permite el choque de partículas, la disminución de la velocidad de las mismas y con ello la sedimentación a través de las canaletas, acción conjunta que dará como resultado el mejoramiento de las condiciones de calidad de agua del sistema.

La siguiente imagen se tomó del Software de Ayuda al Diseño y Concepción de la Fase de Pretratamiento (DPTAR V.1) y en ella se describe la vista de perfil del diseño de un sistema de pretratamiento de aguas residuales:

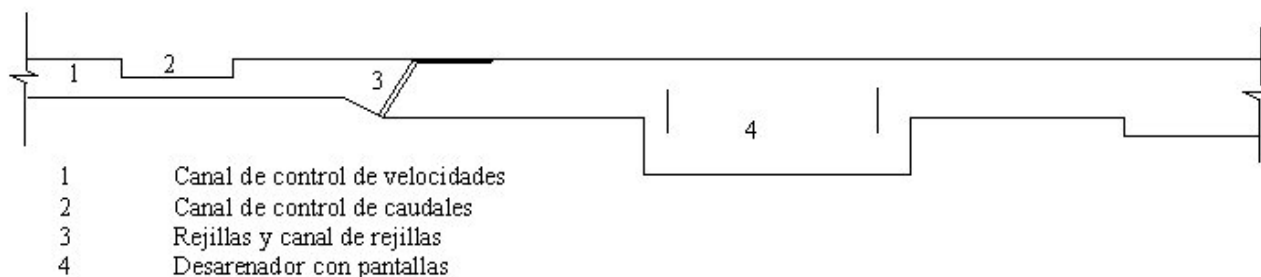


Imagen 1. Perfil del diseño de un sistema de pretratamiento de aguas residuales (Solís, 1995).

Como se observa claramente en la ilustración, el diseño de la estructura permite aumentar el tiempo de permanencia de los sólidos sedimentables, lo cual favorece el proceso de sedimentación.

La propuesta base, consta de las adaptaciones de diseño en el fondo de la canaleta principal o en la canaleta de derivación de las unidades de producción acuicola, que permita sedimentar los sólidos totales en ciertas porciones a lo largo de las estructuras, y al mismo tiempo permita la instalación de rejillas como métodos de contención y que también funcionen como sistema de cribado de sólidos mayores. Una de las ventajas de este rediseño en el fondo de las estructuras, es que podrá implementarse también en las unidades de producción que cuentan con canales rústicos (de tierra) sin recubrimiento de cemento o ferrocemento ya sea a la entrada o a la salida de las unidades de producción acuicola. El modelo de rejillas propuesto se basa en el diseño presentado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a través del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario. El mismo manual describe el diseño de unidades de pretratamiento bajo los conceptos:

**Cribado.** El pretratamiento con rejilla es uno de los procesos más antiguos. En las plantas de tratamiento de aguas residuales, las rejillas remueven los contaminantes gruesos procedentes de la corriente para proteger de posibles daños la operación y al equipode las unidades siguientes. Algunas instalaciones de tratamiento de aguas residuales modernas emplean rejas, rejillas gruesas y rejillas finas. Las rejas gruesas cuentan con aperturas grandes, que van de 38 a 150mm y están diseñadas para evitar que los troncos, maderas y

residuos pesados grandes entren en los procesos de tratamiento. Las rejas retienen la basura y normalmente van seguidas de rejillas con aperturas mas pequeñas. Para facilitar la extracción de basura y reducir la tendencia a obstrucciones, las rejillas de limpieza manual tienen inclinaciones de 45 a 60 grados con respecto a la horizontal y suelen tener de 25 a 50 mm de paso y la inclinación de las barras suele estar entre 30 y 45 grados respecto a la vertical para facilitar la limpieza.

Según las especificaciones del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario, de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007), es posible adaptar de cierto modo, el mismo funcionamiento operativo a las UPA ya que en referencia al sistema de cribado (Utilizado como metodos de contención de organismos de trucha arcoíris) las especificaciones de separación entre rejillas son:

**Rejas para sólidos gruesos:** Una reja de barras rectangulares de 2.00 cm de espesor, instalada con una inclinacion de 45° con la horizontal y espaciamiento libre entre barras de 3.80 cm, recibe un caudal maximo de 200.00 l/s. La limpieza de la reja es de forma manual. El canal desarenador tiene un tirante hidraulico (h) de 0.67 m, 1.00 m de ancho (W) y un bordo libre ( $h_b$ ) de 0.32 m. Se sugiere que esta primera reja para solidos gruesos se instale a por lo menos un metro de distancia de la entrada de agua de cada unidad de producción, es decir, sobre el canal de derivación (en el caso de las UPA que tienen toma directa del rio) y sobre el canal principal (en el caso de las UPA que comparten canal, en los limites territoriales de cada una).

La imagen siguiente fue tomada del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario, de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007), y en ella se observa el funcionamiento general, siendo que:

$V$ = Velocidad antes de la reja (m/s)

$V_a$ = Velocidad de acercamiento

$V_r$ = Velocidad a traves de la reja (m/s)

$h$ = Tirante hidraulico

$h_b$ =Bordo libre

$h_L$ = Pérdida hidraulica (m)

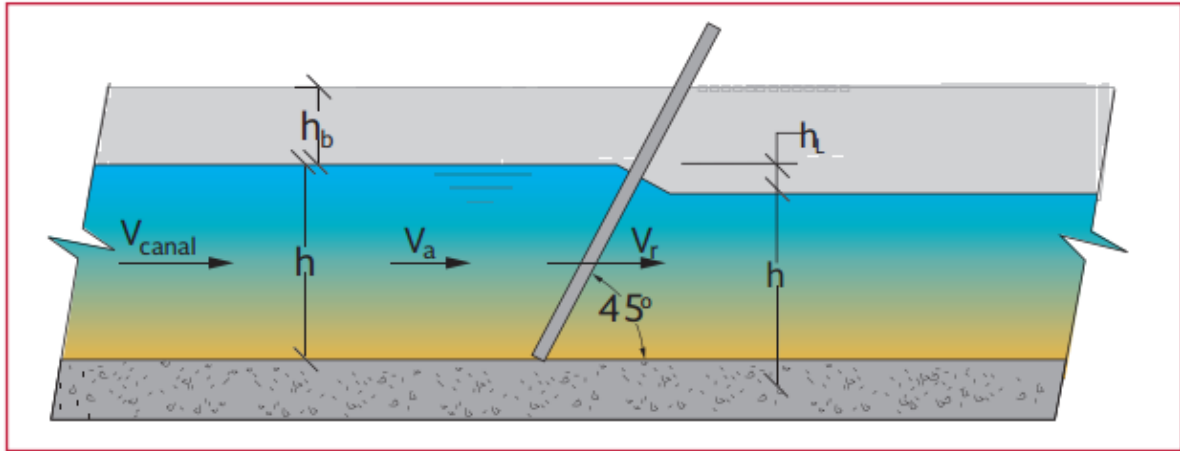


Imagen 2. Diseño de canchales y ángulo de colocación de rejillas.

Como se mencionó en los párrafos anteriores, se propone que las rejillas se diseñen y construyan de acuerdo a las especificaciones de diseño de instalaciones mecánicas señaladas por CNA en 2007 (Entidad federal que actualmente utiliza las siglas CONAGUA), a través del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (2007).

Comúnmente los materiales de fabricación son principalmente acero al carbón galvanizado por inmersión en caliente, aluminio, acero inoxidable, plástico reforzado y recientemente rejillas de poliéster (PRFV) y acero anticorrosivo. Como ya se dijo, el objetivo para fines del proyecto es evitar la entrada o salida de organismos de trucha arcoíris del sistema productivo, pero además ese tipo de aditamentos contribuirán en la detención de sólidos gruesos (incluye peces provenientes de aguas arriba y abajo).

El diseño recomendado para la aplicación de estas rejillas, consiste en barras o placas de acero ligeramente inclinadas, paralelas y uniformemente espaciadas para permitir el uso de rastrillos durante las acciones de limpieza, las barras se apoyan en miembros horizontales, los cuales pueden ser soleras o ángulos.

Es importante asegurar que las condiciones hidráulicas de diseño cumplan con los siguientes parámetros:

1. La velocidad en el canal de derivación o en el área bruta de las rejillas debe estar comprendida entre 0.30 y 0.90 m/s con el objeto de que no disminuya de un valor autolimpiante o se eleve tanto que disperse los materiales retenidos por la rejilla.
2. La pérdida de carga a través de la rejilla no debe afectar el bordo libre del canal o el ducto de llegada.
3. Tomando como base los parámetros de los fabricantes en México, se consideran tres tipos de tamaño de rejillas, los cuales son;
  - 3.1 Desbaste fino. Consta de una separación de 3 mm a 10 mm. Esta medida de separación entre las barras de las rejillas, se ocupará para los métodos de contención localizados en las salas de incubación; con el objetivo de retener posibles escapes accidentales de ova u organismos eclosionados.
  - 3.2 Desbaste medio. Consta de una separación de 10 mm a 30 mm entre cada barra, esta medida de desbaste se recomienda para los métodos de contención implementados en las separaciones entre el canal principal y la entrada de los estanques y en la separación de caídas de agua entre cada sección de estanques.
  - 3.3 Desbaste grueso. Son rejillas con separaciones de ente 30 mm a 100 mm y se recomienda su aplicación principalmente en el canal de salida de las unidades de producción acuícola, ya que debido a la talla de cosecha de los organismos adultos, este tamaño de desbaste no permitirá la entrada o salida de organismos de trucha arcoíris al medio natural.
4. Diseño base. Se recomienda que las rejillas se instalen a través de pernos sujetadores, esto con la intención de retirarlos y sustituirlos con mayor facilidad cuando el tiempo de vida útil se agote; sin embargo, este requerimiento se adaptara a la disponibilidad económica del productor, por lo que el diseño puede instalarse de manera fija a través del fraguado mediante cemento o ferrocemento. Para esta acción es importante respetar el grado de inclinación y la altura de las rejillas las cuales no deben ser del tamaño equivalente al canal de agua, ya que debido a las características de movilidad de la trucha arcoíris que indican que estos organismos son capaces de saltar hasta 20 cm o más por encima del espejo de agua, por lo que se recomienda que el tamaño de las rejillas tenga una altura extra de 30 cm por encima del bordo libre del canal. A continuación, se presenta el diseño señalado por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA):



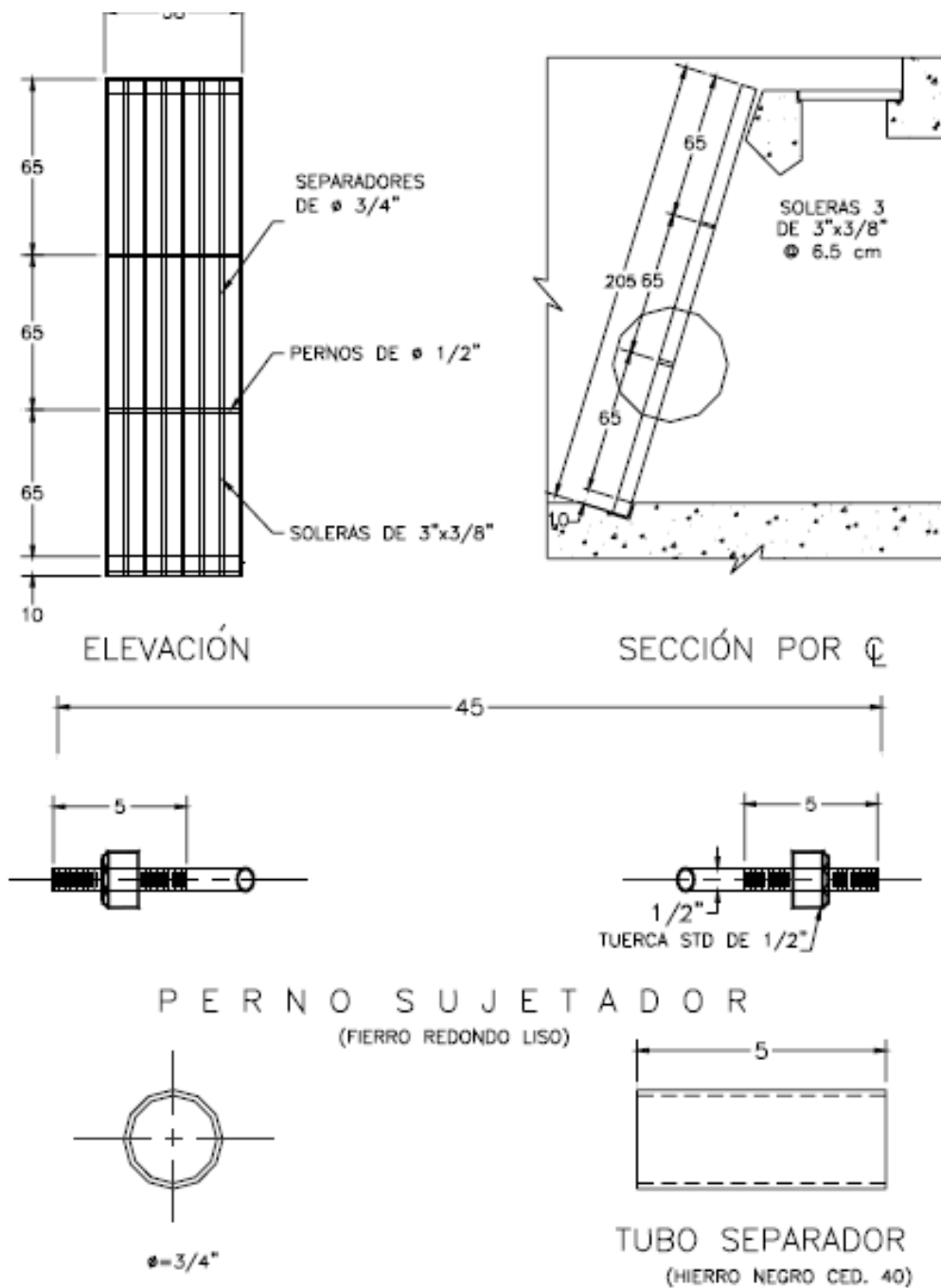


Imagen 3. Técnica de colocación de rejillas según el Manual de CONAGUA.

## V.2 Métodos de contención al interior de las unidades de producción acuícola.

Se recomienda implementar un sistema de rejillas metálicas o cribas, a través del canal aliviadero y el canal de distribución a canales secundarios. Estos mecanismos reforzaran la contención de organismos de trucha arcoíris en el sistema productivo.

A continuación, se presentan tres opciones de materiales aptos para esta función:

1. Tamiz industrial. Este material está compuesto por acero inoxidable, de calibre de tipo desbaste medio (de 30 a 100 mm). El material es comúnmente conocido en el mercado como tamiz industrial, está compuesto de acero inoxidable y es apto para permanecer en contacto directo con el agua. El inconveniente principal es el precio, ya que igual que la mayoría de los materiales de este tipo, su venta se cotiza en dólares y está sujeto a variaciones en la moneda de cambio, por lo cual finalmente resulta la mejor opción en calidad, pero no es factible en cuanto al costo económico.

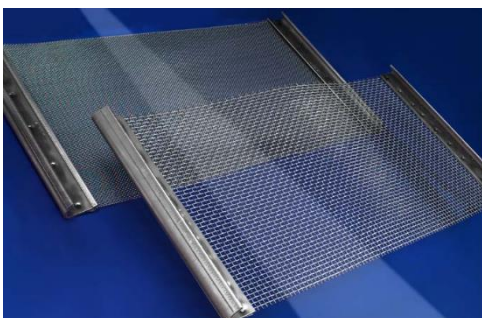


Imagen 4. Tamices industriales tomada del sitio <http://www.tamices.cl/>

2. Rejilla separadora de sólidos gruesos importada: En párrafos anteriores se describió la función de este mecanismo. Los modelos y las dimensiones por lo general, se venden con un prediseño de origen de fábrica, el material es acero inoxidable y cada modelo incluye un rastrillo de limpieza. Con este prototipo sucede lo mismo que con el anterior, en cuestión de vida útil y calidad de materiales; resulta apto para los sistemas de contención que se requiere aplicar en las unidades de producción acuícola, sin embargo, el costo de estos equipos resulta inviable para su aplicación en las UPA.



Imagen 5. Fotografía de rejillas separadoras industriales

3. Rejilla metálica de manufactura en México. Este prototipo se plantea como una alternativa técnica-económica que resulta altamente eficiente para prevenir la fuga de organismos de las unidades de producción acuícola. El modelo resulta conocido para los acuicultores, ya que se basa en el prototipo rustico que actualmente han implementado, mismo que se ha mejorado tomando en cuenta parámetros como son calibre y acabado de los materiales, separación entre barras, altura de la rejilla, método de inclinación en la colocación y el programa de manteniendo.

### V.3 Métodos de contención a la salida de las unidades de producción acuícola.

**Registros de seguridad:** Los registros de seguridad deben ser considerados como una medida de prevención de fuga de organismos y parte básica de un proceso de filtración de sedimentos. Se recomienda que los registros sean contruidos al final de las líneas de estanques de engorda y sobre el cauce de desagüe. Los registros deben ser preferentemente cuadrados con 1 m de cada lado y una profundidad de 0.5 m. Contruidos a base de tabique de 10 x 14 x 28 cm y mortero cemento-arena en proporción 1:4, con tubería de 4" de diámetro, en estas estructuras no se almacenará agua, solo servirá como estructura de paso y contendrán en su interior roca, graba y una malla de ¼" al final del registro con el propósito de evitar fuga de organismos.

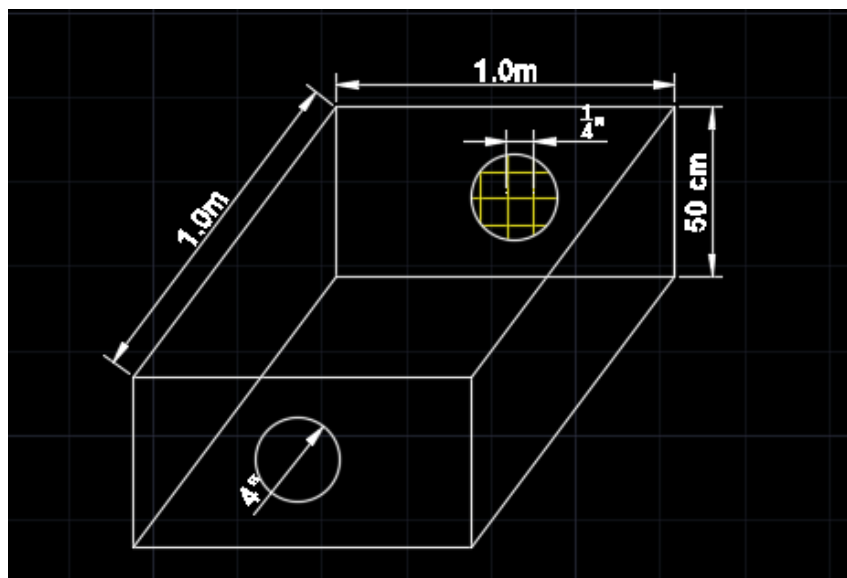


Imagen 6. Estructura base de los registros de seguridad.

Estos registros de seguridad, tienen la función de contener a los organismos en vida libre que pudieran provenir de otras unidades de producción acuícola y a su vez fungen como sedimentadores de arenas, lo que permitirá mejorar la turbidez del agua.

#### V.4 Métodos de contención en la sala de incubación

Las salas de incubación analizadas en el proyecto, muestran que existe la posibilidad de escape de ova y de organismos eclosionados, aun cuando el riesgo de sobrevivencia de éstos en estado libre es menor debido a las condiciones mecánicas del cauce como pueden ser velocidad de la corriente o el golpeteo del agua, lo más recomendable es implementar métodos de contención que prácticamente anulen esta posibilidad. Debido a que el agua que abastece a las salas de incubación es directamente extraída de manantiales, se considera de buena calidad y no lleva consigo solidos mayores que deban removerse; sin embargo, es necesario implementar rejillas de contención que eviten fugas accidentales. Por ello, se recomienda la instalación de un sistema de cribado, el cual puede variar desde la implementación de coladeras simples en el tubo de PVC que descarga al registro de salida (Señalado en la imagen con el círculo rojo) hasta la colocación de un sistema prefabricado de cribado en la zona de descarga directa al cauce (señalado mediante el círculo amarillo).



Imagen 7. Descarga de agua de la sala de incubación de la UPA Los Encinos.

Existen proveedores que comercializan equipos prefabricados, conocidos como rejass de desbaste, su función es retener sólidos de las aguas residuales. Consisten en un depósito de poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV), junto con una reja de poltrusión de paso de 25 x 25 mm para la retención.

El diseño general se muestra a continuación:

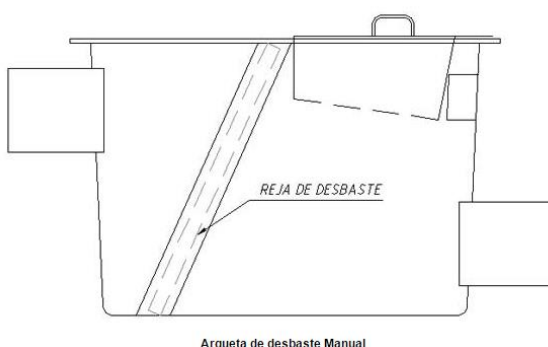


Imagen 8. Principio de diseño de reja de desbaste.

Este tipo de implementos, permitirán reducir el riesgo de fuga de organismos y el paso de sólidos gruesos de la descarga de las salas de incubación al cauce.

### V.5 Sedimentador simple de sólidos totales.

Debido a que el funcionamiento de las unidades de producción acuícola genera sólidos suspendidos que pudieran causar turbidez a la calidad del agua de la cuenca, la recomendación técnica de mitigación ante este efecto, es la colocación de sedimentadores simples.

El diseño propuesto se basa principalmente en las especificaciones señaladas por la Ley de Aguas Nacionales, la cual describe en su Artículo 3, fracción VII Bis, Diario Oficial de la Federación 24/03/2016: Aprovechamiento de Paso: Aquel realizado en cualquier actividad que no implique consumo de volúmenes de agua, y sus alteraciones no excedan los parámetros que establezcan las normas oficiales mexicanas; Fracción XXI “Desarrollo Sustentable”: En materia de recursos hídricos, es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter hídrico, económico, social y ambiental, que tiene a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se fundamenta en las medidas necesarias para la preservación del equilibrio hidrológico, el aprovechamiento y protección de los recursos hídricos, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de agua de las generaciones futuras; Fracción XXII “Descarga”: La acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor. Fracción LVII: “Uso en Acuicultura”: El aprovechamiento de paso de aguas nacionales en el conjunto de actividades dirigidas a la reproducción controlada, pre engorda y engorda de especies de la fauna y flora realizadas en instalaciones en aguas nacionales, por medio de técnicas de cría o cultivo, que sean susceptibles de explotación comercial, ornamentar o recreativa, Fracción reformada en el Diario Oficial de la Federación el 24/03/2016.

Tomando como base los criterios señalados en el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Sistemas Alternativos de Tratamientos de Aguas Residuales y Lodos Producidos, publicado en diciembre de 2007 por Comisión Nacional del Agua, en el cual se describe en las páginas 28 y 31 el funcionamiento y los criterios de diseño para estanques de sedimentación, definiendo a esta acción como una operación que se emplea para remover las partículas en suspensión más pesadas que el agua.

Esta operación es la más ampliamente usada en el tratamiento de aguas residuales, para el caso del presente proyecto se utilizará el principio de sedimentación discreta, el cual se define como el proceso en donde las partículas se sedimentan independientes unas de otras, conservando su identidad durante el proceso de sedimentación. La eficiencia del proceso está en función de la carga hidráulica por unidad de superficie (CHS).



Debido a la topografía y superficie de los predios en donde se ubican las unidades de producción acuícola, se recomienda utilizar tanques rectangulares de sedimentación. El principio de funcionamiento de estos equipos se describe también en el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Sistemas Alternativos de Tratamientos de Aguas Residuales y Lodos Producidos, de la siguiente manera:

En los tanques rectangulares el influente es distribuido a la entrada de la unidad por medio de baffles verticales o vertedores sumergidos; el objetivo de estas estructuras es lograr una mejor distribución del influente a lo ancho de la unidad. El efluente se recolecta por medio de vertedores triangulares colocados en canaletas, frecuentemente en forma de peine o de dedos que se extienden de la pared final del tanque hasta un 20% de la longitud del mismo. En algunos casos se emplean baffles verticales antes de las canaletas recolectoras para evitar contracorrientes superficiales. Una ventaja de estos tanques es que su geometría permite un mejor aprovechamiento del terreno y una limitante es que las rastras de tracción transversal, empleadas en los tanques rectangulares, son más proclives a fallas mecánicas y estructurales que las rastras de los tanques circulares. En algunas ocasiones se han empleado tanques cuadrados con alimentación central, similares hidráulicamente en su funcionamiento a los tanques circulares, sin embargo, su práctica no se ha extendido entre otras razones por que su sistema de rastras tiende a tener más problemas que los de los tanques circulares o rectangulares y, dado que la longitud de canaletas perimetrales recolectoras por unidad de arco radial es mayor en las esquinas que en las partes 32 centrales de los muros rectos, los lodos tienden a acumularse en las esquinas del fondo del tanque. Criterios de diseño: los sedimentadores rectangulares primarios se diseñan con una profundidad de 2 a 3.5 m. La relación largo-ancho es de 1.5:1 a 15:1. El largo mínimo recomendado es de 3 m. La velocidad mínima del agua en los canales de alimentación al sedimentador se recomienda de 30 cm/s. Para lograr una mejor distribución del agua en la entrada al sedimentador se recomienda que la pérdida de energía del agua a su paso por los orificios de entrada sea al menos 4 veces mayor que la energía cinética (1) del agua en el canal de alimentación. En sedimentadores rectangulares, con relaciones largo: ancho y longitudes acordes con las normas antes mencionadas, la carga hidráulica sobre los vertedores de recolección del efluente no afecta la eficiencia del proceso; cuando, esta carga es del orden de 85 a 520 m<sup>3</sup>/día-m. El piso del sedimentador debe tener una pendiente de 1% hacia las tolvas de recolección de lodos.

(1) Energía Cinética =  $w * (u^2 / ag)$

w = Peso del fluido

u = Velocidad media del fluido

$g$  = Constante gravitacional

La intención de utilizar las recomendaciones emitidas por CONAGUA a través de los manuales en mención, pretende unificar los criterios de funcionamiento para que las obras de construcción de este tipo de equipo estén en cumplimiento con la normatividad vigente y no generen problemas administrativos, a mediano largo plazo, a los productores acuícolas; por el contrario, la intención es encaminar la actividad en todos los ámbitos al cumplimiento de la normatividad y la búsqueda de la producción acuícola sustentable.

La recomendación técnica específica del presente paquete tecnológico en este sentido, consiste en realizar una variación en la construcción de los equipos de sedimentación, la cual consiste en la instalación de un sistema de tipo serpentín, que se construirá como parte de la obra civil, en lugar de la instalación de un motor mecánico. Esta adaptación permitirá mejorar la eficiencia y disminuir el costo de construcción y mantenimiento de los equipos.

Cabe aclarar que este sistema de sedimentación simple, deberá ubicarse en todos los casos antes de la descarga de agua al cuerpo receptor. El sistema de descarga estará reforzado por sistemas de cribado y se prevé la vigilancia diaria y manual por los trabajadores de la granja, en busca de organismos que pudieran fugarse mismos que por la naturaleza del diseño se quedarían atrapados en el sistema de cribado.

## V.6 Humedales.

El modelo de humedales, no se recomienda para su aplicación directa en las unidades de producción acuícola, ya que, si bien estos pueden aplicarse fundamentalmente para el tratamiento del efluente del proyecto, de tal manera que puedan remover la carga orgánica incorporada en el sistema de estanquería, los principales procesos que se efectuarán serán la adsorción a las partículas del suelo, la asimilación por las plantas y la transformación microbiana. En base a los estudios de calidad del agua realizados, los niveles de F y N, no resultan comprometidos para la aplicación de este tipo de implementaciones.

Es importante resaltar que el riesgo del manejo de humedales dentro de las unidades de producción acuícola en la Cuenca de Amanalco, estriba en la introducción de plantas acuáticas, entre las cuales se emplean principalmente *Eichhornia crassipes* o “Lirio acuático” (invasora), *Lemna* sp. o “Chilicastle”, *Wolffia* sp., y *Elodea canadensis*, *Typha* sp.,

*Juncus* ISBN: 978-607-626-008-1 o “Tulillo”, *Hidrocotile* sp u Ombligo de venus, *Scirpus* sp o “Tule”; *Alternanthera philoxeroides*, *Salvinia rotundifolia* (salvina), *Hydrilla verticillata* (invasoras), *Typha angustifolia* (tule) y *Phragmites communis* (carrizo), entre otras, de las cuales algunas se encuentran ubicadas dentro del listado de especies exóticas invasoras presentado por CONABIO a través del link <http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/pdf/Plantas.pdf> por lo que, para el caso particular de la implementación de un humedal para el tratamiento de las descargas del agua de paso de las unidades de producción acuícola en la Cuenca de Amanalco, se recomienda que el diseño específico para cada unidad de producción, sea realizado y supervisado directamente por personal de Comisión Nacional del Agua, el Consejo de Cuenca o el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua en coordinación con la dirección regional del APRN Valle de Bravo, lo que permitirá prevenir, detectar y reducir el riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de especies exóticas invasoras.

#### V.7 Uso de sedimentos provenientes de las unidades de producción acuícola.

Los sedimentos resultantes deberán extraerse mediante trabajo manual al final de cada ciclo de producción. Estos sedimentos pueden emplearse como mejoradores de suelo con fines agrícolas ya que la materia orgánica mejora la estructura del suelo, la tierra cultivable, la capacidad de retención del agua, la infiltración del agua y la aireación del suelo. Los macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) ayudan en el crecimiento vegetal, así como los micronutrientes (hierro, manganeso, cobre, cromo, selenio y zinc).

La materia orgánica también contribuye a la capacidad de intercambio catiónico del suelo, permitiéndole retener el potasio, el calcio y el magnesio. La presencia de la materia orgánica mejora la diversidad biológica del suelo y hace que los nutrientes estén más disponibles para las plantas. Cabe mencionar que no se recomienda la realización de un estudio CRETIB para la determinación de sólidos peligrosos, ya que debido a los caracteres de funcionamiento y de volúmenes generados en las UPA no existe el riesgo de que estos sean tratados como residuos peligrosos o residuos de manejo especial.

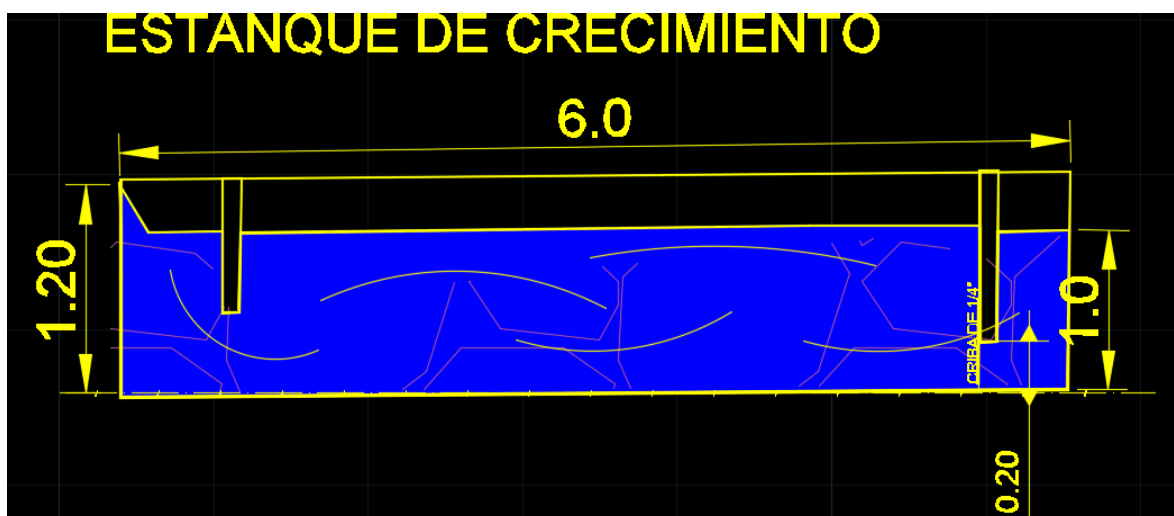
##### V.7.1. Acciones correctivas y preventivas de aplicación complementaria.

Debido a que la Cuenca de Amanalco posee características óptimas para el desarrollo de la acuicultura, es necesario contemplar la posibilidad de construcción de nuevas unidades de producción, es por ello que este paquete tecnológico recomienda las características estructurales idóneas de funcionamiento para la infraestructura general. Adicionalmente se propone para futuras acciones de obra civil, se aplique el siguiente modelo de construcción de infraestructura, el cual se ha probado y puesto en marcha en otras

regiones del país. Sin embargo, el presente diseño deberá adaptarse particularmente a las condiciones evaluadas a través del levantamiento topográfico y diseño de ingeniería civil de cada superficie determinada:

**Estanques de crecimiento:** Estanques con medidas de 6 m x 0.8 m y profundidad de 1.2 m con volumen de almacenamiento de  $4.96 \text{ m}^3$ , el tirante de agua se mantiene a 1 m de profundidad. Estos estanques cuentan con dos muros que terminan a 20 cm del fondo, el primero a 50 cm de la pared tiene la función de disminuir la turbulencia en la columna de agua, en el segundo muro se encuentra en el fondo una criba de acero con separación de  $\frac{1}{4}$ " (un cuarto de pulgada) para evitar la fuga de organismos.

Imagen 9. Estructura base propuesta para los estanques de crecimiento.



**Canaletas:** Las canaletas se estructuran de 2.5 metros de largo por 40 de ancho, al final de cada estanque, con el propósito de estabilizar y homogenizar corrientes y propiciar la sedimentación. Se ubican de manera perpendicular a los estanques.

**Estanques de engorda:** Las dimensiones son de 10 metros de largo por 2.5 de ancho y 1.2 metros de altura en el interior. Los estanques se construyen a base de tabique de 10 x 14 x 28 cm y mortero cemento-arena en proporción 1:4, y con una cimentación de armex normal de 15 x 20 cm contarán con dos muros el primero a 50 cm de la entrada de agua e iniciará a 40 cm del suelo y terminará a 1.2 m teniendo 80 cm de altura. El segundo se colocará a 30 cm del final del estanque, iniciará a 30 cm del fondo, al final de cada estanque tendrá criba de  $1\frac{1}{2}$ " y  $\frac{1}{4}$  dependiendo de las tallas de los organismos que se

encuentren en el estanque teniendo un volumen disponible  $27.57 \text{ m}^3$  por estanque para la engorda de trucha. Se recomienda establecerán los estanques en serie (baterías).



Imagen 10. Estructura base de los estanques de engorda.

**Estanques para cuarentena:** Los estanques para cuarentena se utilizan solo en caso de una contingencia sanitaria por lo que su funcionamiento estará separado del sistema de producción, contando con bombas de aire y sistema de recirculación de agua. El material de construcción es geomembrana y una estructura de malla electro soldada.

Para la implementación de este paquete tecnológico se considera necesaria la aplicación de medidas preventivas y correctivas que permitan disminuir el riesgo de fuga de organismos de trucha arcoíris a nivel operativo y administrativo. Dentro del marco administrativo debe implementarse la revisión documental de los programas preventivos y de monitoreo, que permitan asegurar el cumplimiento de los siguientes objetivos:

1. Establecer barreras físicas (Métodos de contención descritos anteriormente) que permitan evitar la fuga o escape de organismos de trucha arcoíris.
2. Prevenir la exposición y posible proliferación a organismos causantes de enfermedades.
3. Ofrecer condiciones de bioseguridad dentro de las unidades de producción acuícola.
4. Como parte de las barreras biológicas que permitan disminuir la proliferación de trucha arcoíris en el medio natural, la recomendación ideal sería que el sistema de producción únicamente conste de la siembra de machos de trucha arcoíris; sin embargo, esto no es posible debido a las condiciones de operación descritas en los productos 2 y 3. Es por ello que la reconversión sexual no representa una opción viable para la cuenca de Amanalco.

5. Se recomienda que las poblaciones de siembra serán homogéneas (misma edades y condiciones sanitarias optimas).
6. Se recomienda llevar un censo controlado, o al menos aproximado, del número de organismos por estanques, el cual se actualice como mínimo semanalmente, pero de preferencia diariamente en relación con las mermas del sistema.

## V. Programa de manejo de residuos generados en las unidades de producción acuícola.

### VI.1 Objetivos.

- Realizar un control y seguimiento de los residuos generados en las unidades de producción acuícola, con la finalidad de evitar la contaminación de los cuerpos de agua, contaminación del aire y suelo, modificación al paisaje y la proliferación de vectores de enfermedades.

### VI.2 Tipos de residuos generados y manejo.

El manejo de los residuos comprende las áreas de mayor afluencia dentro de las instalaciones de la granja, donde se desarrollan actividades operativas.

Los tipos de residuos que se generan en cada una de las etapas del proyecto son los que se enlistan en la tabla siguiente, sin embargo, su generación puede variar en función del número de visitantes al interior de la granja por lo anterior, se recomienda aplicar el siguiente programa de manejo por etapas:

Fuente de generación.	Residuos generados	Manejo.	Disposición final.	Tipo de generación
Mantenimiento y preparación de estanques.	Bolsas vacías de cal al inicio de cada cosecha.	Se depositan en contenedor etiquetado.	El municipio es el encargado de disponerlos adecuadamente, esto en relación con sus atribuciones en la materia.	Temporal, al menos dos veces por año.
Alimentación.	Costales plásticos.	Reutilizado para actividades de la	Reutilizado.	Continua.



Fuente de generación.	Residuos generados	Manejo.	Disposición final.	Tipo de generación
		propia granja.		
Eviscerado.	Vísceras de organismos consumidos por el personal de la UPA.	Usadas como mejoradores de suelo.	Fosa séptica y composteo.	Eventual. <sup>6</sup>
Descarga de aguas residuales durante la operación.	En base a las necesidades de la granja.	Con el sedimentador se dará un tratamiento preliminar al efluente.	Cuerpo receptor de agua.	Continua.
Preparación de estanques.	Se agrega una delgada película de cal sobre las paredes de los estanques, esto al inicio de operaciones de la granja.	Con el sedimentador se dará un tratamiento preliminar al efluente.	Cuerpo receptor de agua.	Temporal, al menos una vez al año.
Alimentación.	Suministro de alimento balanceado diario durante los ciclos de producción.	Mejores prácticas de alimentación implementadas por CSAEM.	Estanques.	Continua.
Desazolve de estanques.	Depende de las condiciones que prevalezcan en el momento de	Desazolve de sedimentos de fondos, la cual se incorporará al terreno propiedad	Material secante en sanitarios ecológicos secos.	Temporal, al menos una vez cada año.

<sup>6</sup> Se considera eventual dado que la mayor venta de producto se realiza “vivo”, el consumo local representa aproximadamente un 5% de la producción total.

Fuente de generación.	Residuos generados	Manejo.	Disposición final.	Tipo de generación
	realizar la actividad.	de la granja o a zonas de cultivo agrícola.		
Desazolve y limpieza del sedimentador.	Depende de las condiciones que prevalezcan en el momento de realizar la actividad.	Desazolve de suelo y sedimentos de fondo, la cual se incorporará al terreno.	El material extraído servirá como mejorador de suelo.	Temporal, al menos una vez cada 10 años.

Tabla 8. Generación de residuos sólidos urbanos

### VI.3 Procedimientos operativos para el manejo de residuos.

Se recomienda la instalación de contenedores de residuos sólidos colocados en lugares estratégicos dentro de la granja, dichos receptáculos deben ser rotulados y ubicados correctamente. Asimismo, se dispone de contenedores para el almacenamiento temporal de los residuos sólidos. Estos contenedores están ubicados en un lugar específico cerca del acceso, esto con la finalidad de brindar un adecuado manejo y disposición temporal de los residuos.

Se recomienda que los botes de almacenamiento primario tengan la siguiente iconografía, recomendada por SEMARNAT, para su fácil identificación:



Imagen 11. Iconografía para la identificación grafica de los RSU.

Los recipientes indicados anteriormente son revestidos con bolsas de polietileno de tamaño y resistencia adecuada para contener los residuos de forma segura y holgada o con las bolsas de alimento balanceado que se reutilizan para este fin. Dentro del área de eviscerado deberá colocarse un recipiente para contener todos los desechos provenientes de esta actividad; los residuos de este recipiente son dispuestos en el sistema de fosa séptica establecido en el proyecto. Las operaciones de recolección y transporte interno de los residuos se efectuarán de acuerdo al horario establecido por el personal a cargo de dicha actividad.

#### VI.4 Procedimiento operativo para el acondicionamiento de los recipientes.

- Seleccionar los tipos de botes y determinar la cantidad a utilizar para cada área, considerando su capacidad, forma y material de fabricación.
- El personal a cargo de la limpieza colocará los recipientes con sus respectivas bolsas en los puntos de generación y áreas de servicio.
- Colocar las bolsas en el interior del recipiente doblándola hacia afuera, recubriendo los bordes del contenedor.
- Ubicar los recipientes lo más cerca posible a la fuente de generación.
- Los botes para el depósito de los residuos, deberán estar diferenciados y rotulados para el tipo de residuos que contengan y ubicados en lugares estratégicos y visibles, de forma de recibir los residuos debidamente embolsados para facilitar su recolección.

#### VI.5 Almacenamiento primario.

Esta etapa consiste en que los residuos generados son depositados en los recipientes para su posterior recolección interna, cuyo objetivo es lograr que los residuos se depositen en forma diferenciada de acuerdo al tipo de residuo y dentro del recipiente correspondiente.

Los responsables de la ejecución correcta del almacenamiento primario serán todo el personal y visitantes de la granja.

Procedimiento operativo para el almacenamiento primario.

- El almacenamiento primario se realiza tomando en cuenta la clasificación de los residuos, descrita anteriormente.
- Los generadores deben depositar sus residuos en sus correspondientes recipientes, según la clasificación señalada.
- Los recipientes deben estar revestidos con bolsas de plástico y deberán ser llenadas hasta ocupar el 80% de su capacidad.

#### VI.6 Recolección interna.

Es el proceso mediante el cual los residuos son recolectados y transportados por el personal a cargo, desde los puntos de almacenamiento primario hasta los contenedores correspondientes. El responsable de la ejecución operativo de la recolección será el personal de limpieza a cargo.

#### VI.7 Recursos e implementos para la recolección interna.

Los recursos necesarios para la recolección interna son:

- Personal de limpieza equipado con los implementos necesarios para la operación de recolección.
- Bolsas de plástico de tamaño y resistencia adecuada para concentrar los residuos y facilitar su transporte.

#### VII.8 Procedimiento operativo para la recolección interna.

- Verificar los materiales de trabajo para la realización de recolección y traslado de los residuos.
- Iniciar la recolección de residuos.
- Verificar que los residuos se encuentren embolsados, de acuerdo a su clasificación y/o codificación de colores establecidos.
- Al término de la recolección, se transportarán los residuos a los contenedores metálicos, donde los depositara.

#### VI.9 Operaciones en el área de contenedores metálicos.

Será un lugar donde estarán ubicados los contenedores metálicos y donde los residuos serán recepcionados y almacenados temporalmente para su posterior evacuación y transporte externo hasta su disposición final. Con esto se pretende lograr un manejo

seguro de los residuos sólidos urbanos, con la finalidad de minimizar y/o eliminar cualquier tipo de riesgo de contaminación ambiental.

Los recursos utilizados para el almacenamiento temporal serán:

- Los contenedores metálicos de 200 L de capacidad, debidamente codificados en los colores establecidos previamente.
- Utensilios de limpieza y recolección.
- Registros.

#### VI.10 Transporte y disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU).

El transporte externo y disposición final de los residuos sólidos urbanos está a cargo del H. Ayuntamiento de Amanalco, el sitio de disposición final será el relleno sanitario destinado por el mismo. Esta etapa prevé el traslado de los residuos sólidos urbanos desde la granja hasta el relleno sanitario.

#### VI.11 Formato de bitácoras.

El registro diario/mensual de los RSU se anotará en el formato siguiente:

Fecha (Día/mes/año)						
Fecha	Numero de bolsas recolectadas					Observaciones
	Orgánicos	Inorgánicos	Plástico	Metal	Vidrio	

Tabla 9. Formato de registro diario mensual de RSU.

El registro de salida de los RSU se anotará en el siguiente formato:

Fecha (Mes/año):						
Fecha	Numero de bolsas recolectadas					Observaciones
	Orgánicos	Inorgánicos	Plástico	Metal	Vidrio	

Tabla 10. Formato de Registro de salida de los RSU.

## VI. Programa de monitoreo anual de la calidad en los cuerpos de agua aledaños a las UPA

### VII.1 Objetivos.

Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica del cuerpo de agua que será aprovechada en el proyecto.

Realizar comparaciones estadísticas que permitan determinar por medio de los parámetros analizados, el posible cambio en las características del cuerpo de agua en las etapas de construcción y de la operación del proyecto.



## VII.2 Ubicación de los sitios de muestreo.

Los puntos para los análisis y tomas de muestras serán en el afluente y efluente de la toma de agua que abastece al proyecto. De acuerdo con la actividad que se desarrollará será posible tomar muestras puntuales de acuerdo a las coordenadas presentadas para cada UPA en el producto 3 del presente proyecto. Los muestreos y análisis se efectuarán con base en lo establecido en la normatividad vigente.

## VII.3 Actividades.

El monitoreo y seguimiento de las características del efluente se realizará por una instancia acreditada con validez oficial de acuerdo a lo establecido en la normatividad vigente, los cuales se programarán de acuerdo con los periodos de actividad de actividad del proyecto. Es importante mencionar que dichos monitoreos se compararan con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996, donde se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Los parámetros a evaluar, sus unidades y la frecuencia de monitoreo se describen en la Tabla 11:

Tabla 11. Parámetros a evaluar.

Parámetro	Etapas de construcción	Etapas de operación
Temperatura	Trimestral	Trimestral
Grasas y aceites		
Materia flotante		
Sólidos sedimentables		
Sólidos suspendidos totales		
DBO		
Nitrógeno total		
Fósforo total		

Parámetro	Etapas de construcción	Etapas de operación
pH		
Oxígeno disuelto		
Conductividad		
Coliformes fecales		
Huevos de helminto		

#### VII.4 Metodología de muestreo.

La toma de muestras se realizará tomando como referencia la NMX-AA-014-1980, la cual establece los lineamientos generales y las recomendaciones para el muestreo de aguas superficiales; los parámetros a monitorear y el método se enlistan en la siguiente tabla:

Parámetro	Unidades	Método	Norma Mexicana
Transparencia	m	Disco Secchi. In situ	
Temperatura	°C	Termistor. In situ	NMX-AA-007-SCFI-2000
Grasas y aceites	ppm	Extracción Soxhlet	
Materia flotante		Malla.	NMX-AA-006-SCFI-2010
Sólidos sedimentables	ppm	Volumétrico	NMX-AA-004-SCFI-2000
Sólidos suspendidos totales	ppm	Centrifugación	NMX-AA-008-SCFI-2011
DBO	ppm	Reflujo cerrado, colorimétrico.	NMX-AA-028-SCFI-2000
Nitrógeno total	ppm	Método Kjeldahl	NMX-AA-026-SCFI-2001
Fosforo total	ppm	Colorimétrico.	NMX-AA-029-SCFI-2001

Parámetro	Unidades	Método	Norma Mexicana
pH	Unidades de pH	Potenciómetro in situ	NMX-AA-008-SCFI-2011
Oxígeno disuelto	ppm	Celda. In situ	NMX-AA-012-SCFI-2001
Conductividad	Umhos/cm	Celda. In situ	NMX-AA-006-SCFI-2010
Coliformes fecales y totales	NMP	Membrana	NMX-AA-42-1987

Tabla 12. Métodos de prueba

Se recomienda que las metodologías de muestreo y los métodos de análisis sean con apoyo del CSAEM, como parte del protocolo de muestreo instaurado en la obtención de la certificación de su injerencia. Esto con la finalidad de recabar los datos necesarios para el seguimiento puntual de la calidad del agua que genera la actividad acuícola en la Cuenca de Amanalco.

Para las variables físicas y químicas que no se midan *in situ*, se tomaran muestras de agua en cantidad suficiente en frascos plásticos, garantizando su preservación durante el transporte (se encontraran protegidas de radiación directa del sol y estarán a 4°C). El procedimiento para la preservación de las muestras será:

- Verificar que la hielera se encuentre limpia.
- Dentro de la hielera los envases deberán colocarse de tal manera que no haya contacto directo entre ellos, lo cual se logra intercalando envases de plástico con envases de vidrio.
- Colocar hielo en la hielera en cantidad suficiente para que se asegure la preservación de la muestra hasta su llegada al laboratorio.

## VII.5 Calendario de muestreo.

Meses											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
*			*			*			*		

Tabla 13. Calendario de muestreo.

Donde:

\* representa la toma de muestras.

En el Anexo VI se presenta el formato de seguimiento al calendario de muestreo.

## VII.6 Indicadores para medir la eficacia del programa.

- Porcentaje de muestreos realizados:

$$\% \text{ muestreos realizados} = \frac{\text{Muestreos realizados}}{\text{Total de muestreos proyectados}} * 100$$

- Porcentaje de cumplimiento por parámetro de tratamiento monitoreado:

$$\% \text{ cumplimiento} = \frac{\text{Número de parámetros que cumplen con la normatividad}}{\text{Total de parámetros analizados}} * 100$$

## VII.7 Bitácoras de registro.

Las muestras de agua son especialmente propensas a cambios en su composición química debido a reacciones microbiológicas o alteraciones en las condiciones físicas. Los datos a registrar en campo son: (INECC-CCA, 2010).

- Identificación de la coordenada del punto de muestreo (lectura del GPS).
- Altitud del punto de muestreo (lectura de GPS).
- Fecha y hora.
- Datos generales de la persona que realizará el muestreo.
- pH.

- Temperatura del agua.
- Temperatura ambiente.
- Conductividad.
- Transparencia (Disco Secchi).
- Olor aparente.
- Turbidez.
- Condiciones climatológicas.
- Se deben tomar evidencias fotográficas en los sitios de muestreo.

A continuación, se enlista un formato de registro de campo para la toma de muestras:

Nombre de la UPA:											
Nombre firma del muestreador:						Identificación de la toma de muestra:					
Fecha de inicio del muestreo:						Fecha de terminación del muestreo:					
# muestra	Identificación de la muestra	Hora	Temperatura		pH	Materia flotante	Olor		Número recipientes		de
			Agua	Ambiente			Si	No	FQ <sup>7</sup>	GyA <sup>8</sup>	

Tabla 14. Formatos de toma de muestras

<sup>7</sup> Muestra para análisis fisicoquímicos.

<sup>8</sup> Muestra para grasas y aceites.

<sup>9</sup> Muestra para análisis microbiológicos.

En el Anexo VIII se presenta el Formato de Toma de Muestras de Calidad del agua. Los resultados obtenidos por el laboratorio encargado de realizar la toma de muestras y su análisis serán entregados al dueño de la granja, para su análisis y la toma de decisiones.

## VII. Factores de riesgo en el cultivo de trucha arcoíris en la microcuenca San Bartolo-Conejeras, Edo, Mex.

La producción de trucha arcoíris en la microcuenca, tiene como característica principal la utilización del cauce denominado “Hoyos” como fuente de abastecimiento, en todos los casos el diseño de la infraestructura productiva no está planeada en relación con la infraestructura hidráulica, únicamente se han implementado adaptaciones a la construcción, funcionales de acuerdo a la economía de los propietarios y no en base a los diseños adaptados al funcionamiento productivo. La infraestructura principal de las UPA consta en su mayoría de estanques rectangulares de tierra o circulares de cemento carentes de métodos de contención que permita disminuir el riesgo por fuga de organismos. Aunado a este panorama existe el incumplimiento normativo que también presenta un factor de riesgo en la producción de trucha arcoíris, ya que aun cuando son procesos administrativos; el cumplimiento de estos generaría información valiosa de monitoreo ambiental de las unidades de producción que permita la estimación de parámetros de daños indirectos al estado base del sistema ambiental. Además, el incumplimiento normativo incita a la proliferación de nuevas UPA con las mismas características, que pudieran asentarse en el Área de Protección de Recursos Naturales Zona Protectora Forestal “Cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec.

Haciendo un breve recuento de la actividad acuícola en la Cuenca de Amanalco, se tiene registro que inició actividades en el año 1985, por lo que a la fecha suman 32 años de actividad productiva de trucha arcoíris en la región. A lo largo de este periodo no se cuenta con estudios que permitan determinar cuál era el escenario ambiental previo o al menos durante los primeros años de la actividad. Por lo tanto, es inconsistente definir que la actividad acuícola no generó un impacto ambiental negativo en las poblaciones nativas de los cauces en donde se introdujo y ahora vive libremente la trucha arcoíris. A través del presente proyecto se generó la caracterización que describe las condiciones ambientales actuales en las unidades de producción analizadas, estos datos pueden utilizarse como línea base para futuras interpretaciones. Se encontró entre los principales factores de riesgo la continua fuga de organismos de trucha arcoíris de las unidades de producción, y como factor secundario el arraigamiento sociocultural de los pobladores de la región con este organismo, al cual definen como “trucha criolla” ya que se encuentra en estado libre en los cauces. Ante este escenario es necesario implantar primeramente un programa de mitigación y en segundo plano un programa de prevención que involucre directamente al



medio social con las acciones de conservación de los recursos naturales. Para lo cual se proponen las siguientes acciones por orden de importancia:

Factores de riesgo y medidas a aplicar		
Descripción	Medidas de mitigación (etapa 1)	Medidas de prevención (etapa 2)
Fuga de organismos de las UPA	Aplicación de medidas de contención en la infraestructura productiva	Mantenimiento a medidas de contención en la infraestructura productiva
Generación de sedimentos orgánicos en los procesos de producción	Implementación de sedimentadores simples y aplicación del Programa de monitoreo de calidad del agua (Apoyado por CSAEM)	Plan de manejo ambiental generado en base a los resultados de monitoreo de calidad del agua en la Cuenca de Amanalco, que permita la adopción de medidas administrativas que impidan el vertimiento de sedimentos producto de la actividad acuícola a los cauces
Posible alteración en la calidad del agua por uso de antibióticos y fármacos en el proceso de producción o en el lavado y mantenimiento a la infraestructura productiva	Programa de monitoreo de calidad del agua (Apoyado por CSAEM)	Seguimiento de las condiciones ambientales a los programas de monitoreo de enfermedades y medidas de control de las mismas, que permita generar un plan de acción ante contingencias ambientales
Desconocimiento, por parte de la sociedad civil, de la existencia de la APRN Zona Protectora Forestal “Cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec”	Colocación de letreros y anuncios informativos que resalten la ubicación de las UPA dentro del polígono de la APRN Zona Protectora Forestal “Cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec. Y las acciones prohibitivas de la introducción de especies exóticas invasoras en las mismas	Mantenimiento a los letreros y anuncios informativos previamente colocados y la impartición de pláticas informativas con fines de educación ambiental en el manejo de especies exóticas invasoras en el APRN Zona Protectora Forestal “Cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec

Factores de riesgo y medidas a aplicar		
Descripción	Medidas de mitigación (etapa 1)	Medidas de prevención (etapa 2)
Desconocimiento del correcto manejo de residuos generados en las UPA	Implementación del plan de manejo de residuos sólidos urbanos	Seguimiento al plan de manejo de residuos sólidos urbanos
Incumplimiento en materia normativa ambiental (LGEEPA)	Regularización de las UPA mediante la presentación de la MIA-P Acuícola-Pesquera, o las excepciones correspondientes ante SEMARNAT	Seguimiento al resolutive correspondiente
Incumplimiento en materia normativa de aguas nacionales	Regularización de las UPA mediante la obtención de la concesión de uso y aprovechamiento de agua, permiso de ocupación de zona federal y descarga de aguas residuales	Seguimiento a las autorizaciones correspondientes
Carencia de programas de manejo genético	Implementación de un programa de manejo genético para las unidades de producción de cuentan con sala de incubación	Selección de reproductores y mejoramiento de salas de incubación

Tabla 15. Factores de riesgo.

En el Anexo VIII se presenta el análisis de prioridades por UPA.

### VIII.1 HACCP del proceso productivo y de manejo del producto final

Se aplicó el Método HACCP para las diez unidades de producción acuícola participantes en el proyecto, considerando las particularidades que presenta cada uno de los sistemas, de lo cual se obtuvieron los resultados que se muestran en el Anexo IX.

## **VIII. Importancia de la incursión del paquete tecnológico para el desarrollo de mejores prácticas trutícolas, en la certificación de buenas prácticas de producción acuícola promovido y otorgado por el comité estatal de sanidad acuícola.**

Actualmente el CSAEM, es el organismo institucional que cuenta con la mayor capacidad operativa para realizar las acciones de inspección de las unidades de producción acuícola en la cuenca de Amanalco. Es por ello -y por la injerencia directa que tienen con el sector-, que se considera sumamente importante trabajar a la par la implementación del presente paquete tecnológico y del manual de buenas prácticas. Por lo anterior se considera necesario capacitar al personal de CSAEM en materia del marco normativo nacional a las unidades de producción acuícola que incluya a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Ley Federal de Responsabilidad Ambiental, Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México y Ley de Aguas Nacionales. Es necesario contemplar el escenario general de la actividad acuícola que permita coadyuvar en el desarrollo de una actividad de producción sustentable, que involucre y sume esfuerzos de todos los actores inmersos en la misma.

Se considera necesario el apoyo del CSAEM prioritariamente en el ámbito del monitoreo de calidad del agua, a través del programa presentado en este documento. La información recabada a lo largo de la aplicación del monitoreo propuesto permitirá generar información estadística de las variaciones en los parámetros fisicoquímicos registrados al menos 4 veces al año. Esta información permitirá generar un plan de manejo ambiental adecuado para las unidades de producción acuícola de la cuenca de Amanalco que refleje las medidas de contingencia adecuadas de acuerdo a los meses específicos de mayor y menor precipitación pluvial, y temperaturas máximas y mínimas en relación con las medidas sanitarias llevadas a cabo en cada mes.

### **IX.1 Descripción de las medidas regulatorias que debe cumplir cada UPA según la normatividad mexicana en vigor.**

Tal como se mencionó en el producto 2, el funcionamiento administrativo de cualquier unidad de producción acuícola, ubicado en el territorio comprendido a la República Mexicana, debe cumplir varios criterios normativos, los cuales a continuación se mencionan de acuerdo a las leyes aplicables:

## Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente.

Última reforma publicada DOF 24-01-2017.

### Fundamento.

**Artículo 28.-** La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente. Para ello, en los casos en que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguno de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría:

- I.- Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos, carboductos y poliductos;
- II.- Industria del petróleo, petroquímica, química, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento y eléctrica;
- III.- Exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la Federación en los términos de las Leyes Minera y Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear;
- IV.- Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como residuos radiactivos;
- V.- Aprovechamientos forestales en selvas tropicales y especies de difícil regeneración;
- VI. Se deroga. Fracción derogada DOF 25-02-2003
- VII.- **Cambios de uso del suelo de áreas forestales, así como en selvas y zonas áridas;**
- VIII.- Parques industriales donde se prevea la realización de actividades altamente riesgosas;
- IX.- Desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros;
- X.- Obras y actividades en humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales;
- XI. **Obras y actividades en áreas naturales protegidas de competencia de la Federación; Fracción reformada** DOF 23-02-2005

**XII.- Actividades pesqueras, acuícolas o agropecuarias que puedan poner en peligro la preservación de una o más especies o causar daños a los ecosistemas, y**

**XIII.- Obras o actividades que correspondan a asuntos de competencia federal, que puedan causar desequilibrios ecológicos graves e irreparables, daños a la salud pública o a los ecosistemas, o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas relativas a la preservación del equilibrio ecológico y la protección del ambiente.**

## **Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).**

Última reforma publicada DOF 26-04-2012

Fe de erratas DOF 27-04-2012

### **Fundamento.**

**Artículo 5º.-** Quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental:

U) Actividades acuícolas que puedan poner en peligro la preservación de una o más especies o causar daños al ecosistema:

- I. Construcción y operación de granjas, estanques o parques de producción acuícola;

### **Ley de Aguas Nacionales.**

Última reforma publicada DOF 11-08-2014

**Artículo 2.-** Las disposiciones de esta Ley son aplicables a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo. Estas disposiciones también son aplicables a los bienes nacionales que la presente Ley señala.

Las disposiciones de esta Ley son aplicables a las aguas de zonas marinas mexicanas en tanto a la conservación y control de su calidad, sin menoscabo de la jurisdicción o concesión que las pudiese regir.

Artículo reformado DOF 29-04-2004

**Artículo 3.-** Para los efectos de esta Ley se entenderá por:

I. "Aguas Nacionales": Son aquellas referidas en el Párrafo Quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos;

**Artículo 16.-** La presente Ley establece las reglas y condiciones para el otorgamiento de las concesiones para explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, en cumplimiento a lo dispuesto en el Párrafo Sexto del Artículo 27 Constitucional.

Son aguas nacionales las que se enuncian en el Párrafo Quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

El régimen de propiedad nacional de las aguas subsistirá aun cuando las aguas, mediante la construcción de obras, sean desviadas del cauce o vaso originales, se impida su afluencia a ellos o sean objeto de tratamiento.

Las aguas residuales provenientes del uso de las aguas nacionales, también tendrán el mismo carácter, cuando se descarguen en cuerpos receptores de propiedad nacional, aun cuando sean objeto de tratamiento.

Artículo reformado DOF 29-04-2004

**Artículo 44.-** La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales superficiales o del subsuelo por parte de los sistemas del Distrito Federal, estatales o municipales de agua potable y alcantarillado, se efectuarán mediante asignación que otorgue "la Autoridad del Agua", en los términos dispuestos por el Título Cuarto de esta Ley.

**Artículo 82.-** La explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales en actividades industriales, de acuacultura, turismo y otras actividades productivas, se podrá realizar por personas físicas o morales previa la concesión respectiva otorgada por "la Autoridad del Agua", en los términos de la presente Ley y sus reglamentos.

**Artículo 98.-** Cuando con motivo de dichas obras se pudiera afectar el régimen hidráulico o hidrológico de los cauces o vasos propiedad nacional o de las zonas federales correspondientes, así como en los casos de perforación de pozos en zonas reglamentadas o de veda, se requerirá de permiso en los términos de los Artículos 23 y 42 de esta Ley y de sus reglamentos. Para este efecto la Autoridad competente expedirá las Normas Oficiales Mexicanas que correspondan.



## Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.

Última reforma publicada DOF 25-08-2014

**Artículo 1°.-** El presente ordenamiento tiene por objeto reglamentar la Ley de Aguas Nacionales. Cuando en el mismo se expresen los vocablos "Ley", "Reglamento", "La Comisión" y "Registro", se entenderá que se refiere a la Ley de Aguas Nacionales, al presente Reglamento, a la Comisión Nacional del Agua y al Registro Público de Derechos de Agua, respectivamente.

**Artículo 2°.-** Para los efectos de este "Reglamento", se entiende por:

I. Aguas continentales: las aguas nacionales, superficiales o del subsuelo, en la parte continental del territorio nacional;

**Artículo 29.-** Las solicitudes de concesiones o asignaciones podrán ser presentadas tanto por personas físicas como por personas morales, debiendo acreditar estas últimas su existencia legal, así como la personalidad jurídica del promovente.

**Artículo 30.-** Conjuntamente con la solicitud de concesión o asignación para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales se solicitará, en su caso: el permiso de descarga de aguas residuales, el permiso para la realización de las obras que se requieran para el aprovechamiento del agua y la concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de cauces, vasos o zonas federales a cargo de "La Comisión".

**Artículo 157.-** Para efectos del artículo 98 de la "Ley", las personas que pretendan realizar obras que impliquen desviación del curso de las aguas nacionales de su cauce o vaso, alteración al régimen hidráulico de las corrientes o afectación de su calidad, al solicitar el permiso respectivo de "La Comisión", deberán acompañar el proyecto y programa de ejecución de las obras que pretendan realizar, y demostrar que no se afecta riesgosamente el flujo de las aguas ni los derechos de terceros aguas abajo.

**Artículo 171.-** Para efectos de los artículos 97 y 98 de la "Ley":

I. Sólo podrán ejecutarse obras para encauzamiento, dragado, limitación o desecación parcial o total de corrientes y depósitos de agua de propiedad nacional, previo permiso de "La Comisión", la que determinará la forma y términos para ejecutar dichas obras, y

II. "La Comisión", en el ámbito de su competencia, podrá permitir la construcción de canales y dársenas en la ribera o zona federal de corrientes, lagos o lagunas a su cargo.

## Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables.

Última reforma publicada DOF 23-01-2014.

### Artículo 2.- Son objetivos de esta Ley:

- I. Establecer y definir los principios para ordenar, fomentar y regular el manejo integral y el aprovechamiento sustentable de la pesca y la acuicultura, considerando los aspectos sociales, tecnológicos, productivos, biológicos y ambientales;
- II. Promover el mejoramiento de la calidad de vida de los pescadores y acuicultores del país a través de los programas que se instrumenten para el sector pesquero y acuícola;
- V. Procurar el derecho al acceso, uso y disfrute preferente de los recursos pesqueros y acuícolas de las comunidades y pueblos indígenas, en los términos de la presente Ley, de los lugares que ocupen y habiten;

### IX. Establecer el régimen de concesiones y permisos para la realización de actividades de pesca y acuicultura;

#### Artículo 4.- Para los efectos de esta Ley, se entiende por:

- I. Acuicultura: Es el conjunto de actividades dirigidas a la reproducción controlada, preengorda y engorda de especies de la fauna y flora realizadas en instalaciones ubicadas en aguas dulces, marinas o salobres, por medio de técnicas de cría o cultivo, que sean susceptibles de explotación comercial, ornamental o recreativa;

**Artículo 9.-** De acuerdo con lo previsto en la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, la SEMARNAT se coordinará con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, a través de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, para el cumplimiento de los objetivos previstos en la presente Ley, en materia de preservación, restauración del equilibrio ecológico y la protección del ambiente, particularmente, en los siguientes aspectos:

- I. En áreas naturales protegidas, de acuerdo con la declaratoria de creación o el programa de manejo, emitir recomendaciones sustentadas, fundadas y motivadas, sobre los permisos y concesiones de pesca y acuicultura que se pretendan otorgar, así como los volúmenes de pesca incidental;
- II. En el ámbito de su competencia llevar a cabo la inspección y vigilancia de las actividades pesqueras y acuícolas y coordinarse con la Secretaría o la Secretaría de Marina, de conformidad con las disposiciones legales aplicables;

**Artículo 17.-** Para la formulación y conducción de la Política Nacional de Pesca y Acuicultura Sustentables, en la aplicación de los programas y los instrumentos que se deriven de ésta Ley, se deberán observar los siguientes principios:

I. El Estado Mexicano reconoce que la pesca y la acuicultura son actividades que fortalecen la soberanía alimentaria y territorial de la nación, que son asuntos de seguridad nacional y son prioridad para la planeación nacional del desarrollo y la gestión integral de los recursos pesqueros y acuícolas;

II. Que la pesca y la acuicultura se orienten a la producción de alimentos para el consumo humano directo para el abastecimiento de proteínas de alta calidad y de bajo costo para los habitantes de la nación;

V. Reconocer a la acuicultura como una actividad productiva que permita la diversificación pesquera, ofrecer opciones de empleo en el medio rural, incrementar la producción pesquera y la oferta de alimentos que mejoren la dieta de la población mexicana, así como la generación de divisas;

**Artículo 18.-** Las entidades federativas y los municipios en el ámbito de sus competencias, observarán y aplicarán los principios a que se refiere el artículo anterior.

**Artículo 24.-** La Secretaría, en coordinación con las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal competentes, y en lo que corresponda, con los gobiernos de las entidades federativas, realizará las acciones necesarias para fomentar y promover el desarrollo de la pesca y la acuicultura, en todas sus modalidades y niveles de inversión, y para tal efecto:

I. Establecerá servicios de investigación en reproducción, genética, nutrición, sanidad y extensionismo, entre otros, para apoyar a las personas y organizaciones que se dediquen a esas actividades;

II. Asesorará a los acuicultores para que el cultivo y explotación de la flora y fauna acuática, se realicen de acuerdo con las prácticas que las investigaciones científicas y tecnológicas aconsejen; así como en materia de construcción de infraestructura, adquisición y operación de plantas de conservación y transformación industrial, insumos, artes y equipos de cultivo y demás bienes que requiera el desarrollo de la actividad acuícola.

**IX.2 Descripción de los impactos ambientales, sociales y derivados de la aplicación del paquete tecnológico para el desarrollo del “plan de mejores prácticas para el manejo y producción de trucha arcoíris, aplicable para las localidades del municipio de Amanalco, estado de México”.**

Se prevé que, con la aplicación del presente paquete tecnológico, se generen reducciones en los impactos ambientales negativos en los siguientes rubros:

#### *Calidad del aire.*

Se considera que este componente solo se vio afectado en una etapa de tiempo muy corta, debido a la utilización de maquinaria para construcción de los estanques produciendo así emisión de gases de combustión y generación de polvo, esto durante la etapa de construcción de las unidades de producción acuícola, de la cual no se tiene evidencia. Sin embargo, al encontrarse el área despejada y con tasas de recambio de aire, se estima que no se generó un impacto ambiental significativo; aunado a esto la calidad del aire en la zona es buena, debido a que no existen estructuras que interfieran con el movimiento de las masas de aire, asociado con la escasa influencia vehicular da como resultado una nula presencia de gases de combustión en la zona de estudio.

La implementación de las medidas de contención involucra construcción de obra civil, sin embargo, esta puede realizarse mediante herramientas manuales (pala y pico) por lo cual no se considera que se genere un impacto negativo a este rubro.

Referente a la emisión de partículas y gases de combustión durante la etapa de construcción de las unidades de producción acuícola, no se tiene registro, sin embargo, para los casos futuros de construcción en los cuales se utilice maquinaria pesada, se propone llegar un seguimiento puntual al mantenimiento preventivo de la maquinaria y vehículos para dar cumplimiento con la normatividad aplicable considerando las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

- NOM-041-SEMARNAT-2006.- Establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que utilizan gasolina como combustible.
- NOM-045- SEMARNAT-2006.- Establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diésel o mezclas que incluyan diésel como combustible.

#### *Ruido.*

De la misma forma que en el punto anterior, se propone que para construcciones futuras de unidades de producción acuícola, se considere este tipo de incremento en el nivel sonoro sin afectación a viviendas, ya que no existen en las áreas aledañas a las unidades de producción acuícola. Se considera que este impacto se encuentre por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad aplicable, ya que se tomará

en cuenta lo establecido en la regulación ambiental existente, mediante el cumplimiento de un programa de mantenimiento preventivo de la maquinaria y vehículos; así como al establecimiento de horarios de trabajo. Adicional a este tipo de generación de ruido, no se tiene otra fuente de generación de ruido, debido a que las UPA no están tecnificadas.

#### *Agua.*

Este factor representa mayor vulnerabilidad, por ello se plantea el Programa de monitoreo de calidad del agua descrito anteriormente en este documento. Es de suma importancia la aplicación y seguimiento de este, ya que los resultados anuales reflejaran con precisión el impacto ambiental de la actividad sobre este rubro. Se prevé que la adecuada aplicación del programa de monitoreo de calidad del agua, apoyado por CSAEM, permita generar con precisión, como segunda etapa, un programa de manejo ambiental específico, que incluya los niveles máximos y mínimos permisibles adaptados al desarrollo de la actividad acuícola de trucha arcoíris.

#### *Suelo.*

Este factor se afectó durante la etapa de preparación del sitio y la construcción de la obra civil del área productiva, debido a la remoción de la capa orgánica superficial, lo cual se presume pudo alterar la actividad biogeoquímica, así como la estructura física de los estratos superiores, en gran medida por la limpieza, así como la nivelación y compactación de la superficie afectada, sin embargo, se observa que la áreas destinadas a la producción acuícola carecían de superficie forestal, aunado a esto, los productores acuícolas manifiestan que únicamente se llevó a cabo la limpieza mediante la remoción de herbáceas, por lo que el impacto fue no significativo, de baja magnitud, con efectos locales, directos, recuperables a largo plazo. La aplicación de este paquete tecnológico no incluye la remoción de material vegetativo o alguna actividad que impacte directamente en el rubro suelo. Por el contrario, a través de la aplicación de los sedimentadores simples, se obtendrá sustrato orgánico con cargas de nutrientes que resultan benéficas para el suelo de la región.

#### *Flora y Fauna.*

La cobertura vegetal se afectó de forma inmediata y parcial al realizar las actividades de limpieza y construcción de las UPA, sin embargo y debido a que no se removieron especies arbóreas (únicamente herbáceas), la superficie afectada presenta bajo grado de perturbación debido a actividades productivas realizadas en el pasado.

Se estima que la fauna terrestre fue mínimamente impactada, ya que las comunidades de animales presentes en el sitio son de especies de menor tamaño, por lo que fácilmente pudieron desplazarse a sitios aledaños. Es necesario recalcar que en los años 80's, década en la cual se construyeron la mayoría las UPA, no se realizó un monitoreo de fauna para poder precisar la existencia de madrigueras y de las especies que pudiesen haber habitado la zona, por lo cual se infiere que la mayoría de organismos se desplazaron.

Desafortunadamente no se tienen registros de la caracterización ambiental referente a la flora y fauna acuáticas en la zona de ubicación de las UPA por lo cual no es posible determinar que estas no se afectaron, por lo cual se propone llevar a cabo un monitoreo anual de biodiversidad en los puntos caracterizados en el presente proyecto, con la intención de incrementar los registros y datos disponibles y poder determinar el impacto ambiental positivo o negativo de la actividad acuícola en relación a la conservación de la biodiversidad de la zona.

Este paquete tecnológico recomienda la implementación de un monitoreo de biodiversidad al menos anual, con el objetivo de generar evidencia del impacto ambiental que genera la actividad acuícola en relación a la biodiversidad de la zona.

#### *Medio socioeconómico.*

En cada una de las etapas del proyecto se han generado empleos directos e indirectos, permitiendo con esto la demanda de bienes y servicios por los trabajadores.

En la etapa de construcción principalmente fueron empleos temporales y de un grado moderado. No obstante, en la etapa de operación se requiere de empleos permanentes, los cuales beneficiaran a poblaciones cercas a las unidades de producción acuícola.

Los sectores primario, secundario y terciario se favorecerán, aunque mínimamente por el desarrollo de la actividad acuícola, ya que los insumos (alevines, alimento) para iniciar la producción provienen de centros de reproducción autorizados localizados en la región, igualmente, los equipos e infraestructura se adquirirían en lugares específicos.

#### *Olores.*

Este rubro no se verá afectado, el sistema de producción no generará olores. Debido al movimiento del recurso hídrico, los estanques no son una fuente de cría de mosquitos. El impacto será no significativo.



## IX. Bibliografía.

**Aguilera, H. & Noriega, P.** 1988. La trucha y su cultivo. Aguilera, H., México, D.F., FONDEPESCA. Subsecretaría de Pesca. 57 p.

**Alcocer M., A.** 2000. Selección de reproductores, Memorias del II Foro Nacional Trutícola, 16-17 octubre de 1997. Cuajimalpa, D.F., México.

Alianza Nacional de HACCP para Mariscos y Pescados. Velázquez, E. 2011. HACCP Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control. Florida U.S.A: Florida Sea Grant, SGR 120. 244p.

**Allende, A. I.** 2001. "Diseño hidráulico de plantas de tratamiento para aguas residuales", ENPSES, Cuba, 246

**Álvarez, I. & Muñoz, P.** 2008. Instrumentos Territoriales y Económicos que Favorecen la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad, en Capital Natural de México, vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad. CONABIO, México, pp. 229-258.

Análisis de Puntos Críticos de Control HACCP. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.  
<http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/HACCP.html>

**Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeifer, V.F. y Griffin E.L.** 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today 14, 4-12. Anton, A.A., F

**Balazs, G.H.** 1973 Preliminary studies on the preparation and feeding of crustacean diets. Aquaculture, 2:369–377

**Blanco M.C.** 1995. La Trucha. Cría Industrial. 503 pp. Ed. Mundi-Prensa (ISBN: 84-7114-504-9).

**Cabello, F. C. 2006.** "Heavy Use of Prophylactic Antibiotics in Aquaculture: A Growing Problem for Human and Animal Health and for the Environment". Environmental Microbiology. Vol. 8, pp. 1137-1144.

**Castro, B. T., Castro, J., Gallardo, C. y Malpica, A. 1995.** Propiedades de *Artemia sp.* para la nutrición en la acuicultura. Oceanología, 3 [1], 31-38.

**Castro B. T. 1993.** Biología y Cultivo de *Artemia franciscana* en el ex Lago de Texcoco, de Ecatepec, Estado de México, Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias UNAM, 72 p.

**Castro, T., De Lara, R., Castro, G. 2003.** Alimento vivo en la acuicultura. Departamento El Hombre y su Ambiente. División de CBS. UAM Unidad Xochimilco.

**Cole, G.A. 1983.** Textbook of Limnology. Mosby San Luis.

**Coll-Morales, S. J. 1986.** Acuicultura marina animal. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. Segunda edición. 670 p.

Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca., Sistema Producto Trucha del Estado de México. Programa Maestro del Sistema Producto Trucha del Estado de México. 135 p.

Comisión Nacional del Agua. 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado. ISBN: 978-607-626-008-1

**Comperense, S. L. 2001.** Composición bioquímica de la lombriz roja de california. Facultad de Biología. Universidad Santiago Compostela. Coruña-España. Tecnología de Productos Pesqueros.

**Crites & Tchobanoglous. (2000).** *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.* Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill Interamericana.

**De Pauw, N., Laureys, P. & Morales, J.** 1981. Mass cultivation of *Daphnia magna* Strauss on rice bran. *Aquaculture*. 25: 141-152. 1981.

FAO. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados en manual de capacitación. Proyecto Aquila II: GCP/RLA/102/ITA

Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero FONDEPES, Ministerio de Producción, Perú. 2014. Manual de Crianza de Trucha en Ambientes Convencionales. 88 p.

**Forster, J.R.M.** 1972 Some methods of binding prawn diets and their effects on growth and assimilation. *J. Cons. Int. Exolor. Mer.*, 34:200–216

**García, O. & Calvario, M.** 2003. Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Trucha. Mazatlán, Sinaloa. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SAGARPA. 86 p. ISBN: 968-5384-05-3.

**Gujksa, E. y Khan K.** 1990. Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *Journal of Food Science* 55,466-469.

**Hastings, W.H.** 1971 Study of pelleted fish foods stability in water. Report of the 1970 Workshop on Fish Feed Technology and Nutrition, Warmwater Fish Cultural Laboratories, Stuttgart, Arkansas, USA, 7–19 September 1970. Washington, D.C. US Government Printing Office, EIFAC/Bureau of Sport Fisheries and Wildlife Resource Publication 102: pp. 75–80

**Heinen, J.M.** 1981 Evaluation of some binding agents for crustacean diets. *Prog.Fish-Cult.*, 43:142–145

**Hilton, J.W., C.Y. Cho and S.J. Slinger.** 1981 Effect of extrusion processing and steam pelleting diets on pellet durability, pellet water absorption and the physiological response of rainbow trout. *Aquaculture*, 25:185–194

**Himadri, K.D., Tapani, M.H., Myllymaki, O.M. y Malkki, Y.** 1993. Effects of formulation and processing variables on dry fish pallets containing fish waste. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 61, 181-187.

INECC-CCA. 2010. Manual de métodos de muestreo y preservación de muestras de las sustancias prioritarias para las matrices del PRONAME. México: INECC.

**Jover M. Martínez S. Tomas A. Pérez L.** 2003. Propuesta metodológica para el diseño de instalaciones piscícolas. *Revista Aqua TIC*, nº 19, pp. 17-26.

**Kahan, D. y Appel, Z.** 1975. The value of *Panagrellus sp* (Nematodo) as food for fish. 10th *European Symposium on Marine Biology*.

Ley de Aguas Nacionales (DOF 24 marzo 2016)

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). Diario Oficial de la Federación del 28 de enero de 1988. Última reforma publicada DOF 25-01-2017.

**López, T. N. A.** 1998 Densidad  $\phi$ óptima de alimento vivo para larvas de camarón rosado *Pinaxius duorarum Burkenroad*, 1939, y su posible sustitución con alimento microencapsulado, Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. 78 p.

**Lunestad, B. T. & J. Goksoyr.** 1990. "Reduction in the Bacterial Effect of Oxytetracycline in Sea Water by Complex Formation with Magnesium and Calcium" en *Diseases of Aquatic Organisms*. Vol. 9, pp. 67-72.

Malta Texo de México. Línea de Nutrición Truchas. Fecha de actualización: 2016

[http://www.maltacleyton.com.mx/productos\\_trucha\\_alimento\\_para\\_peces.php](http://www.maltacleyton.com.mx/productos_trucha_alimento_para_peces.php)

**Metcalf & Eddy.** 1996. Ingeniería de aguas residuales. Mc Graw Hill: México.

**Meyers, S.P., D.P. Butler and W.H. Hastings.** 1972 Alginates as binders for crustacean rations. *Prog.Fish-Cult.*, 34:9–12

**Murai, T., A. Sumalang kay & F.P. Pascual.** 1981 The water stability of shrimp diets with various polysaccharides as a binding agent. *Quarterly Research Report, Volume 2, 1981*, SEAFDEC Aquaculture Department, Tigbauan, Philippines, pp. 18–20

NRC (National Research Council). 1983 Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes. National Academy Press, Washington, D.C., 102 p.

**Olvera-Novoa, M. A. & L. Olivera-Castillo.** 2000. Potencialidad del uso de las leguminosas como fuente proteica en alimentos para peces. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV), Unidad Mérida.

**Orna-Rivas, E.** 2010. Manual de alimento balanceado para trucha. Dirección General de la Producción del Perú. Fecha de actualización: junio 2017.

[http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/PROPESCA\\_OTRO/difusion-publicaciones/pepa-puno/ALIMENTO%20BALANCEADO.pdf](http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/PROPESCA_OTRO/difusion-publicaciones/pepa-puno/ALIMENTO%20BALANCEADO.pdf)

**Paggi, J. C. & De Paggi, S. J.** 2000. *Daphnia magna*: el canario de las aguas. Madrid, España. Santillana, 2000:817.

**Park, E. D., Lightner, D. V., Milner, N., Mayersohn, M., Park, D. L., Gifford, J. M., & Bell, T. A.** 1995. "Exploratory Bioavailability and Pharmacokinetics Studies of Sulphadimethoxine and Ormetoprim in the Penaeid Shrimp, *Penaeus vannamei*" en *Aquaculture*. Vol. 130, pp. 113-128.

**Perera, C., y De la Cruz, S. A.** 1984. Uso de oligoquetos de agua dulce en acuicultura marina. *Revista de Investigaciones Marinas*. 5 [1]: 85-91.

**Pascual, F.P. and A. Sumalangcay.** 1981. Gum arabic, carrageenan of various types and sago palm starch as binders in prawn diets. *Quarterly Research Report, Volume 4, 1981*. SEAFDEC Aquaculture Department, Tigbauan, Philippines, pp. 11–15

**Pascual, F.P., L. Bandonil & W. Destajo.** 1978 The effect of different binders on water stability of feeds for prawn. Quaterly Research Report, Volume 1, 1978. SEAFDEC Aquaculture Department, Tigbauan, Philippines, pp. 31–35

**Quintero, B.** 2016. Plan de Desarrollo Municipal Amanalco de Becerra 2016-2018. 286 p.

**Ramírez, M., Mendoza, A. & Aguilera, G.** 2010. Estado Actual y Perspectivas de la Producción y Comercialización de Peces de Ornato de Agua Dulce en México. Ramírez, M., Monterrey, Nuevo León. Instituto Nacional de Pesca, Universidad Autónoma de Nuevo León. 116 p. ISBN: 978-607-433-522-4.

**Reinitz, G.** 1983 Evaluation of sodium bentonite in practical diets for rainbow trout. Prog. Fish-Cult., 45:100–102

**J. Rodriguez-Miranda, B., Ramirez-Wong, M., A. Vivar-Vera, A. Solís-Soto, C., A. Gomez-Aldapa, J., Castro-Rosas, H., Medrano-Roldan y E. Delgado-Licon.** 2014 Efecto de la concentración de harina de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), contenido de humedad y temperatura de extrusión sobre las propiedades funcionales de alimentos acuícolas. Revista. Mexicana de Ingeniería Química. Vol. 13, n. 3, pp. 649-663. ISSN 1665-2738.

**Schwoerbel, J.** 1979. Einführung in die Limnologie UTB; Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.

**SECO, A., FERRER, J.** 2006. Use of biological and sedimentation models for designing Peñíscola WWTP. Environmental technology, 25(6), pp. 681-687.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales. Fecha de actualización: 24 de marzo de 2016.

[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan/LAN\\_ref07\\_24mar16.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan/LAN_ref07_24mar16.pdf)



Senado de la República. Reforma Senado Ley de Aguas Nacionales para impulsar la acuicultura. Fecha de actualización: 25 de febrero de 2016

<http://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/boletines/26841-reforma-senado-ley-de-aguas-nacionales-para-impulsar-la-acuicultura.html>

**Solís, M.C.** 1995. Reporte técnico final del comportamiento de un sistema lagunar en valles altos. México: UAEM.

**Torrentera, B. L. & Tacon, A. G. J.** 1989. La producción de alimento vivo y su importancia en acuicultura. Documento preparado para el proyecto GCP/RLA/075/ITA apoyo a las actividades regionales de acuicultura para América Latina y el Caribe. Programa Cooperativo Gubernamental FAO-Italia. p. 41-53.

Trámite CNA-01-003. Concesión de aprovechamiento de aguas superficiales. Fecha de actualización: 2015

[http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/174830/CNA\\_01\\_003\\_.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/174830/CNA_01_003_.pdf)

**Velázquez, E. & Espinoza H.** 1989. Diagnóstico del Estado Actual de la Trucha Arcoíris en México. México D.F. Secretaría de Pesca. 73 p.

**Viola, S., N. Gur & G. Zohar.** 1986 Effects of pelleting temperature, binders and basic grains on water-stability of pellets and on growth of tilapia. *Bamidgeh*, 39:19–26

**Wang, W.M., Klopfenstein, C.F. & Ponte, J.G.** 1993. Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat and wheat bran and on the baking quality of the wheat bran. *Cereal Chemistry* 70, 707-711.

## **X. Anexos.**

**Anexo I. Formato de control de alimento natural.**

**Anexo II. Formato de control de alimento balanceado.**

**Anexo III. Control de uso de sustancias químicas en UPA.**

**Anexo IV. Formato de registro diario mensual de RSU.**

**Anexo V. Formato de registro de salidas de RSU.**

**Anexo VI. Formato de seguimiento de calendario de muestreo de calidad del agua.**

**Anexo VII. Formato de toma de muestra de calidad del agua**

**Anexo VIII. Análisis de Prioridades por UPA.**

**Anexo IX. FORMAS HACCP**