



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD OAXACA**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE PROYECTOS PARA EL DESARROLLO
SOLIDARIO**

“Diseño de un plan de manejo sustentable para las aguas residuales del cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en unidades piscícolas de Latuvi, Oaxaca”

Tesis que para obtener el grado de Maestra en Ciencias presenta:

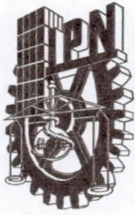
Carolina Cruz Moreno

DIRECTOR DE TESIS: DR. EMILIO MARTÍNEZ RAMÍREZ
DIRECTOR DE TESIS: M.I.A. PEDRO ALBERTO LÓPEZ GARRIDO

COMITÉ TUTORIAL:

Dra. Lidia Argelia Juárez Ruiz
Dra. Rosa María Gómez Ugalde
M. en C. Susana Margarita Navarro Mendoza

Santa Cruz Xoxocotlán, noviembre de 2022



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Ciudad de México, 13 de octubre del 2022

El Colegio de Profesores de Posgrado de **CIIDIR UNIDAD OAXACA** en su Sesión
(Unidad Académica)

ordinaria No. 10 celebrada el día 04 del mes octubre de 2021, conoció la solicitud presentada por la alumna:

Apellido Paterno:	Cruz	Apellido Materno:	Moreno	Nombre (s):	Carolina
-------------------	------	-------------------	--------	-------------	----------

Número de registro: B 2 0 0 9 3 1

del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Gestión de Proyectos para el Desarrollo Solidario.

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

“Diseño de un plan de manejo sustentable para las aguas residuales del cultivo de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) en unidades piscícolas de Latuvi, Oaxaca”

Objetivo general del trabajo de tesis:

Diseñar un plan de manejo sustentable para las aguas residuales del cultivo de trucha arcoíris en unidades piscícolas de la agencia municipal Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, mediante la acción participativa de los productores, con la finalidad de fomentar la sustentabilidad ambiental en la actividad.

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director: Dr. Emilio Martínez Ramírez 2° Director: M.I. Pedro Alberto López Garrido
No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por la alumna en:

La agencia de Latuvi, Santa Catarina Lachatao, Oaxaca y en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca.

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.-La interesada deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director de Tesis

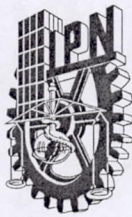
Dr. Emilio Martínez Ramírez
Aspirante

Cruz Moreno Carolina

2° Director de Tesis

M.I. Pedro Alberto López Garrido
Presidente del Colegio

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD OAXACA
Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Santa Cruz Xoxocotlán, Oax., siendo las 12:00 horas del día 24 del mes de noviembre del 2022 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR UNIDAD OAXACA) para examinar la tesis titulada:

“Diseño de un plan de manejo sustentable para las aguas residuales del cultivo de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) en unidades piscícolas de Latuvi, Oaxaca”

de la alumna:

Apellido Paterno:	Cruz	Apellido Materno:	Moreno	Nombre (s):	Carolina
-------------------	------	-------------------	--------	-------------	----------

Número de registro: B 2 0 0 9 3 1

Aspirante del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Gestión de Proyectos para el Desarrollo Solidario.

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 6% de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI** **NO** **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:

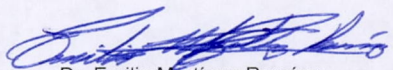
El 6% de similitud general es un porcentaje bajo; de este porcentaje, el 5% es de bases de Internet y el 1% es de bases de datos de publicaciones, esto es principalmente por la información de los capítulos de Introducción, Antecedentes y Marco Teórico, la cual contiene datos básicos y está debidamente citada. Por lo que el documento de la tesis no implica un plagio de conocimiento.


**Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.

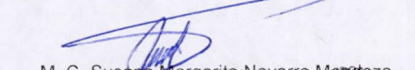
Finalmente, y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:

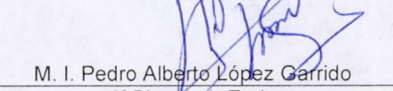
Es una investigación aplicada que propone a los piscicultores alternativas de solución para el manejo sustentable del agua residual de los cultivos de trucha arcoíris de la agencia municipal Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.


COMISIÓN REVISORA DE TESIS


Dr. Emilio Martínez Ramírez
Director de Tesis
Nombre completo y firma


Dra. Lidia Argelia Juárez Ruiz
Nombre completo y firma

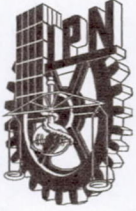

M. C. Susana Margarita Navarro Mendoza
Nombre completo y firma


M. I. Pedro Alberto López Garrido
2° Director de Tesis
Nombre completo y firma


Dra. Rosa María Gómez Ugalde
Nombre completo y firma


Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez
Nombre completo y firma
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES UNIDAD OAXACA





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN

En la Ciudad de México el día 16 del mes de noviembre del año, la que suscribe **Cruz Moreno Carolina** alumna del programa de la **Maestría en Gestión de Proyectos para el Desarrollo Solidario**, con número de registro **B200931**, adscrita al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección del **Dr. Emilio Martínez Ramírez y del M.I. Pedro Alberto López Garrido** y cede los derechos del trabajo intitulado **“Diseño de un plan de manejo sustentable para las aguas residuales del cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en unidades piscícolas de Latuvi, Oaxaca”**, al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o directores. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección de correo: cruzca29@gmail.com. Si el permiso se otorga, al usuario deberá dar agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.


Cruz Moreno Carolina


INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD OAXACA

Agradecimientos

Al CIIDIR unidad Oaxaca por abrirme sus puertas para realizar el presente trabajo de investigación, así como mis estudios de maestría.

Al Dr. Emilio Martínez Ramírez por darme la oportunidad de realizar la investigación bajo su tutoría.

Al M.I. Pedro Alberto López Garrido por darme la oportunidad de realizar la investigación bajo su tutoría.

A la Dra. Lidia Argelia Juárez Ruiz, a la Dra. Susana Margarita Navarro Mendoza y a la Dra. Rosa María Gómez Ugalde por su apoyo durante la realización del presente trabajo.

A los catedráticos del CIIDIR unidad Oaxaca, quienes compartieron su conocimiento en cada una de sus clases, así como aportaciones al tema.

A la agencia de Latuvi por abrirme las puertas de su comunidad para realizar el presente trabajo.

A los productores de trucha arcoíris de la agencia de Latuvi, por su participación, interés, y disponibilidad para la realización del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2.1 Estudios previos	4
2.2 Principales componentes de las aguas residuales acuícolas	6
2.2 Tratamientos de agua residual acuícola.....	7
2.3 Consideraciones importantes sobre el uso del agua en la acuicultura en México.....	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
4. JUSTIFICACIÓN	14
5. OBJETIVOS	15
5.1 General	15
5.2 Específicos	16
6. MARCO TEÓRICO	16
6.1 ¿Qué es la Piscicultura?.....	16
6.2 Cultivo de trucha arcoíris	18
6.2.1.Tipos de sistemas productivos en el cultivo de trucha arcoíris	18
6.2.2 Generalidades de la trucha arcoíris	20
6.2.3 Características morfológicas de la trucha arcoíris.....	20
6.2.4 Hábitat de la trucha arcoíris	21
6.2.5 Condiciones ambientales para el cultivo	21
6.2.6 El agua en el cultivo de la trucha arcoíris	22
6.3 Sustentabilidad en acuicultura.....	23
7. MARCO METODOLÓGICO	32
7.1 FODA.....	33
7.2 Misión y visión.....	33
7.3 Diálogo semi estructurado.....	36
7.4 Flujograma de producción.....	35
7.5 Cálculo de los desechos.....	36
7.6 Plan de manejo	38
8. MARCO LEGAL	39
9. ÁREA DE ESTUDIO	44

9.1 Ubicación de Latuvi	44
9.2 Población.....	47
9.3 Servicios.....	48
9.4 Uso de la tierra	48
9.5 Características abióticas y bióticas de la comunidad	49
9.6 Ubicación de las Unidades de Producción Acuícola.....	51
10. METODOLOGÍA	52
10.1 Etapa 1. Pre Investigación.....	49
10.2 Etapa 2. Contextualización.....	49
10.3 Etapa 3. Fortalecimiento de habilidades.....	49
10.4 Etapa 4. Diseño	49
11. RESULTADOS.....	56
11.1 Etapa 1. Pre Investigación.....	49
11.2 Etapa 2. Contextualización.....	61
11.3 Etapa 3. Fortalecimiento de habilidades.....	74
11.4 Etapa 4. Diseño	76
12. DISCUSIÓN	83
12.1 Etapa 1. Pre Investigación.....	84
12.2 Etapa 2. Contextualización.....	84
12.3 Etapa 3. Fortalecimiento de habilidades.....	88
12.4 Etapa 4. Diseño	88
13. CONCLUSIONES	90
14. RECOMENDACIONES	92
15. REFERENCIAS	93
16. ANEXOS.....	103

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Producción mundial de la trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>). Tomado y modificado del Estado Mundial de la Pesca y Acuicultura (FAO, 2020).	17
Cuadro 2. Taxonomía de la trucha arcoíris (Camacho et al., 2000).....	20
Cuadro 3. Leyes Normativas relacionadas con el uso del agua y la acuicultura, elaboración propia.	41
Cuadro 4. Norma Oficial Mexicana para la disposición de las aguas residuales, con enfoque para las descargas de origen acuícola, elaboración propia.....	44
Cuadro 5. Análisis FODA del grupo de representantes de cuatro unidades de cultivo de trucha arcoíris de la agencia municipal Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.....	48
Cuadro 6. Priorización a corto plazo de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del análisis FODA, según sus calificaciones de importancia (valores de 0-5, donde 0= sin importancia y 5= la mayor importancia) del grupo de representantes de cuatro unidades de producción acuícola.....	59
Cuadro 7. Preguntas y respuestas de la misión y visión de los representantes de cada unidad de producción acuícola (UPA) de la agencia municipal Latuvi, 20 de febrero del 2021.....	60
Cuadro 8. Preguntas y resultados de las entrevistas semiestructuradas a los representantes de las cuatro unidades de cultivo de trucha arcoíris de la agencia municipal Latuvi.	62
Cuadro 9. Gasto de agua promedio (l/seg), estanques (tipo, número y medidas) e insumos de cuatro unidades trutícolas de la agencia municipal Latuvi.....	63
Cuadro 10. Análisis de la calidad del agua de la unidad acuícola “El Cajete” en la agencia municipal Latuvi realizados el 17 de septiembre y 29 de octubre de 2021.	63
Cuadro 11. Análisis de la calidad del agua de la unidad acuícola “Rancho Cara de León” en la agencia municipal Latuvi realizados el 17 de septiembre y 29 de octubre de 2021.....	71
Cuadro 12. Propuestas de manejo del agua expresadas por los productores derivadas de su proceso de aprendizaje de la comunidad de Latuvi, el día el 30 de noviembre de 2021 en la UPA “Rancho Cara de León”.	76
Cuadro 13. Proceso de evaluación de los procesos implementados con indicadores en economía solidaria, elaboración propia.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equilibrio social, ambiental y económico en la acuicultura. Tomado y adaptado de Ovando (2013).	24
Figura 2. Efectos negativos de la acuicultura. Tomado y adaptado de “Orientaciones técnicas para la pesca responsable” (FAO, 2011).	25
Figura 3. Macrolocalización de la comunidad de Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, distrito Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020).	45
Figura 4. Microlocalización de la comunidad de Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, distrito Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Fuente: Google Maps (2020)	46
Figura 5. Mapa jerárquico de la organización social en la comunidad de Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, distrito Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Elaboración propia.	48
Figura 6. Ubicación de las cuatro unidades de producción acuícola en la comunidad de Latuvi, elaboración propia. Fuente: Google Earth (2022).	51
Figura 7. Fases de cada etapa de la metodología de intervención acción participativa aplicadas al grupo de piscicultores de trucha arcoíris de la agencia municipal Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, Oaxaca. Elaboración propia, con la información de la metodología de Martí-Olivé (2002).	52
Figura 8. Cantidad de alimento proporcionado, comido y desechado para 3,100 kg de trucha arcoíris. Elaboración propia con resultados del taller participativo con representantes de cuatro unidades trutícolas de la agencia municipal Latuvi, realizado el 08 de junio del 2021 en la UPA “Rancho Cara de León”. Biomasa=Peso total promedio de los organismos vivos en una producción acuícola (kg).	67
Figura 9. Preparación de la muestra por el productor para sólidos sedimentables en la UPA “El Cajete”.....	70
Figura 10. Preparación de la muestra por el técnico para sólidos sedimentables en la UPA “El Cajete”	70
Figura 11. Medición de la temperatura del agua en la UPA “El Cajete”	70
Figura 12. Medición de gasto de agua en los estanques de entrada en la UPA “El Cajete”.	70
Figura 13. Medición de pH por el productor en la UPA “Rancho Cara de León”.	73
Figura 14. Agitación de la muestra de sólidos sedimentables en el agua, por el productor en la UPA “Rancho Cara de León”.....	70

Figura 15. Preparación de la muestra de sólidos sedimentables en el agua por el productor en la UPA “Rancho Cara de León”.....	70
Figura 16. Preparación de la muestra de sólidos sedimentables en el agua por el productor en la UPA “Rancho Cara de León”.....	70
Figura 17. Resultados de la evaluación inicial de la intervención educativa “El retorno del agua”, realizada el 30 de noviembre de 2021 en la UPA “Rancho Cara de León”.....	74
Figura 18. Resultados de la evaluación final de la intervención educativa “El retorno del agua”, realizada el 30 de noviembre de 2021 en la UPA “Rancho Cara de León”.....	75
Figura 19. Proceso de extensión de conocimientos por el facilitador a los productores en la UPA “Rancho Cara de León”.....	75
Figura 20. Elaboración de filtros didácticos con el grupo de trabajo en la UPA “Rancho Cara de León”.....	75
Figura 21. Proceso de filtrado con fines didácticos en la UPA “Rancho Cara de León”.....	76
Figura 22. Aplicación de la encuesta de evaluación final en la UPA “Rancho Cara de León”.....	76
Figura 23. Evaluación del proceso de consolidación del grupo de trabajo, elaboración propia.	81
Figura 24. Evaluación del proceso de diagnóstico del grupo de trabajo, elaboración propia.	81
Figura 25. Evaluación del proceso del fortalecimiento de habilidades del grupo de trabajo.	82
Figura 26. Evaluación del proceso de diseño del plan de manejo del grupo de trabajo, elaboración propia.....	82

RESUMEN

El agua es un recurso natural de importancia fundamental, pero cada vez es más escaso, este factor abiótico es la base de muchas actividades primarias productivas, una de ellas es la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), la cual se lleva a cabo en la agencia municipal Latuvi, municipio de Santa Catarina Lachatao, distrito Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Los piscicultores de esta comunidad rural se ven afectados por las problemáticas ambientales y económicas que se generan por el manejo inadecuado de las descargas de aguas residuales de sus cultivos. El objetivo del proyecto consistió en diseñar un plan de manejo sustentable para las aguas residuales del cultivo de trucha arcoíris, mediante herramientas educativas y la acción participativa de los productores, con la finalidad de encaminar la actividad acuícola hacia la sustentabilidad. Las fases consistieron en: 1) Consolidar un grupo de productores acuícolas interesados en manejar adecuadamente las aguas residuales de sus cultivos de trucha; 2) Realizar un diagnóstico, para conocer el contexto social, productivo y ambiental de las unidades de producción acuícola (UPA); 3) Fortalecer las habilidades de los piscicultores para el manejo adecuado de las aguas residuales del cultivo de trucha; 4) Diseñar un plan de manejo sustentable para el manejo adecuado de las aguas residuales de manera conjunta con los productores; y 5) Evaluar los procesos implementados, mediante indicadores de economía social y solidaria. Los resultados permitieron conocer detalladamente el ciclo productivo de cuatro UPA y la cantidad de desechos sólidos que son derivados de la producción, así como la calidad del agua residual de dos UPA; siendo el parámetro de coliformes fecales el único que rebasó la normativa aplicable. En el aspecto social, el cultivo de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), está enfocado en su totalidad a mejorar la calidad de vida de las personas involucradas directa e indirectamente en la actividad, por lo que las leyes y normativas nacionales que rigen el uso del agua deben establecerse para fortalecer la actividad y no limitarla, basándose en acciones para el manejo adecuado del agua. Los resultados del proceso de diagnóstico y fortalecimiento de habilidades de los productores rurales de la comunidad lograron encaminar a la acuicultura hacia la sustentabilidad, buscando ser un modelo para otras UPA de la región y el estado, con la finalidad aprovechar los recursos naturales, sin comprometerlos para las futuras generaciones. Se proponen acciones en las etapas de mitigación y compensación de un plan de manejo ambiental, debido a que en la etapa de prevención ya no es aplicable por la antigüedad de producción existente; entre las que se encuentran la recirculación, implementación continua de biometrías y desinfección con hipoclorito de sodio.

Palabras clave: tratamientos, piscicultura, contaminación, límites máximos permisibles, principios.

ABSTRACT

Water is a natural resource of fundamental importance, but it is becoming increasingly scarce. This abiotic factor is the basis for many primary productive activities, one of them is the production of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), which is carried out in the Latuvi municipal agency, municipality of Santa Catarina Lachatao, Ixtlán de Juárez district, Oaxaca. The fish farmers of this rural community are affected by the environmental and economic problems generated by the inadequate management of wastewater discharges from their crops. The objective of the project is to design a sustainable management plan for rainbow trout farming wastewater, using educational tools and the participatory action of the producers, in order to steer the aquaculture activity towards sustainability. The phases consisted of: 1) Consolidating a group of aquaculture producers interested in adequately managing the wastewater from their trout farms; 2) Conducting a diagnosis, to learn about the social, productive and environmental context of the aquaculture production units (UPA); 3) Strengthen the fish farmers' skills for the adequate management of trout farming wastewater; 4) Design a sustainable management plan for the adequate management of wastewater jointly with the producers; and 5) Evaluate the processes implemented, through indicators of social and solidarity economy. The results provided detailed information on the production cycle of four UPAs and the amount of solid waste derived from production, as well as the quality of the wastewater from two UPAs; the only parameter that exceeded the applicable regulations was fecal coliforms. In the social aspect, rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farming is focused entirely on improving the quality of life of the people directly and indirectly involved in the activity, so the national laws and regulations governing water use should be established to strengthen the activity and not limit it, based on actions for proper water management. The results of the diagnostic process and the strengthening of the skills of the community's rural producers were able to steer aquaculture towards sustainability, seeking to be a model for other UPAs in the region and the state, in order to take advantage of natural resources without compromising them for future generations. Actions are proposed in the mitigation and compensation stages of an environmental management plan, since the prevention stage is no longer applicable due to the age of existing production; these include recirculation, continuous implementation of biometrics and disinfection with sodium hypochlorite.

Keywords: treatments, fish farming, contamination, maximum permissible limits, principles.

1. INTRODUCCIÓN

El planeta tierra está conformado por 75 % agua, de la cual el 97.5 % es salada y el 2.5 % dulce. Este 2.5 % se divide de la siguiente manera: 1 % en ríos, lagos y atmósfera, 30 % es agua subterránea y 69 % en glaciares y capas polares (Consejo Consultivo del Agua A.C., 2020).

De acuerdo con datos de Reyes- Martínez y Quintero- Soto (2009), México cuenta con una extensión de aguas superficiales de 2 millones de km², sin embargo, existe una inadecuada distribución de dicho elemento y un escaso manejo de las aguas residuales por cada una de las actividades en la que es utilizado este recurso (IAGUA, 2018b). La Comisión Nacional del Agua reporta 654 acuíferos distribuidos en todo el país, de los cuales 97 tienen condiciones de sobreexplotación. El agua es un recurso primordial para sostener todas las actividades de subsistencia de los seres vivos (IAGUA, 2018a); una de ellas es la acuicultura, la cual es considerada como una actividad productiva primaria que asegura parte importante de los requerimientos alimentarios de las personas en el país, además de ser una fuente de ingresos para la población dedicada de manera directa o indirecta en la producción.

En el mundo la acuicultura no es una práctica reciente, los primeros datos de producción surgieron en China aproximadamente en el año 3800 A.C. (Instituto Nacional de Economía Social, 2018). Esta actividad productiva tiene dos vertientes: a) producción de organismos para consumo humano y b) producción de peces de ornato (Velarde, 2020).

El registro más antiguo de la acuicultura en México es a finales del siglo XV, y se encuentra basado en un relato histórico, el cual menciona que Cosijopi señor de Tehuantepec ordenó trasladar a la montaña Guiengola varias especies nativas de peces, colectadas en arroyos cercanos, las cuales fueron engordadas y reproducidas, con la finalidad de alimentar a los soldados del ejército de Moctezuma II. Para ese entonces la acuicultura ya era una actividad importante, ya que era parte sustancial de la alimentación de los pueblos Mexicanos (Gutiérrez-Yurrita, 1999). En el país en el siglo XX esta actividad comenzó a tener auge en la década de los 50's, donde el objetivo era con fines de repoblación de los cuerpos de agua dulce, con la trucha arcoíris como especie introducida; para los 80's comenzó a tener objetivos de

comercialización por lo que se empezaron a multiplicar modelos productivos en todo México (Instituto Nacional de Economía Social, 2018). Actualmente las actividades acuícolas se llevan a cabo en 9,230 unidades de producción distribuidas en todo el país, de las cuales 4,000 se enfocan en los rubros de acuicultura rural y comercial con una superficie de 250,860 ha, empleando a 6,401 personas. La trucha arcoíris ocupa el tercer lugar en especies dulceacuícolas producidas en México, después de la tilapia y el camarón (Secretaría de Gobernación, 2020). La acuicultura también es considerada como una de las actividades con mayor potencial y desarrollo en los últimos años en México, la cual arroja beneficios sociales y económicos que se traducen en una fuente de alimentación para la población, con un elevado valor nutricional y costos accesibles; no obstante, la orientación de la práctica hacia la sustentabilidad ha sido poca en cada una de las etapas del proceso productivo (Álvarez et al., 2012).

En el año 2020, de acuerdo a datos de la FAO, la acuicultura alcanzó un máximo histórico de producción de 114,5 millones de t, dominada por la producción de peces de aletas con 54.3 millones de t. Es claro que la tendencia de la producción en sistemas controlados crece cada vez más, de manera contraria a la captura, la cual se mantiene por debajo de las 100 t anuales, lo que indica un claro desajuste en las poblaciones acuáticas naturales, lo que da como resultado la sobreexplotación de los organismos marinos. Lo anterior coloca a la acuicultura como una actividad prometedora para asegurar la calidad alimentaria de las personas en el mundo, que puede llegar a cumplir con las obligaciones de conservación de la naturaleza, propiciando la sustentabilidad en los ejes ambientales, económicos y sociales (García-Ulloa, 2010).

En el mundo en los últimos 20 años la acuicultura ha crecido potencialmente, aumentando a la par el uso de los recursos hídricos y de manera paralela la cantidad de aguas residuales generadas que son absorbidas por los ecosistemas adyacentes (Madera, 2010).

El cultivo de la trucha arcoíris se introdujo en México a finales del siglo XIX en el vivero natural Chile Lerma en el estado de México, con el objetivo de repoblamiento de los cuerpos naturales de agua dulce. En 1937 se formalizó la producción del cultivo en el país, creándose por decreto presidencial el centro piscícola Salazar, posteriormente para el año de 1943 se

convirtió en el centro acuícola “El Zarco”, el cual fue hasta hace algunos años el mayor proveedor de crías de trucha arcoíris en México (Instituto Nacional de Pesca, 2018).

En la acuicultura los organismos cultivados se desarrollan en todas sus fases de vida en el agua, por lo que no se puede dejar de contar con ella. Es importante mencionar que este recurso es consumido parcialmente y en poca cantidad, lo que quiere decir que no se reduce o pierde totalmente; la problemática radica en que el agua en la mayoría de los casos es devuelta hacia los cauces naturales, muchas veces sin un manejo que permita reducir los elementos contaminantes del cultivo. La descarga generada contiene principalmente una carga de materia orgánica compuesta por alimento no consumido por los peces y sus excretas, las cuales en determinadas cantidades pueden servir como fertilizantes en cultivos agrícolas y como agua para ganado, siempre y cuando tenga un tratamiento previo para minimizar las concentraciones de los elementos en ella y así ser asimilable para los ecosistemas; el volumen que entra en los sistemas acuícolas es prácticamente el mismo al momento de ser desechado, por lo que la actividad no implica un consumo del recurso, solo un uso (Delgadillo-Reyes et al., 2015).

Delgadillo-Reyes et al. (2015) mencionan que en el país no existe una reglamentación adecuada para las descargas de aguas residuales de origen acuícola, lo cual es importante para sentar los límites adecuados para la actividad, además de especificarlo para cada tipo de especie y sistema productivo. Para los productores rurales este es un tema que presenta muchas dificultades, ya que de acuerdo a las normativas y reglamentaciones que rige la CONAGUA, en materia de concesiones acuícolas, la acuicultura no es considerada como una actividad primaria, por lo que los costos de aprovechamiento y descarga del agua son muy parecidos a una actividad industrial y no a una actividad productiva primaria. Para el caso de la acuicultura en las comunidades rurales, los piscicultores de truchas inician la actividad sin conocer las obligaciones ambientales que conlleva esta actividad, por lo que si no se toman las medidas necesarias para la prevención y tratamiento del impacto de las aguas residuales en los ecosistemas, se puede derivar en problemas económicos y sociales para los productores.

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un plan de manejo sustentable para las aguas residuales del cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en la agencia municipal de

Latuvi, municipio de Santa Catarina Lachatao, distrito de Ixtlán de Juárez en el estado de Oaxaca, mediante la acción participativa de los productores, con la finalidad de promover y encaminar la actividad productiva hacia la sustentabilidad, en donde la importancia del cuidado al recurso hídrico y la contribución a la seguridad alimentaria de las personas actúen conjuntamente, impulsando el desarrollo de la actividad acuícola en esta comunidad rural y en la región de la Sierra Norte de Oaxaca.

2. ANTECEDENTES

2.1 Estudios previos

El cultivo de peces es una actividad que ha crecido exponencialmente en todo el mundo, aumentando a la par los desechos generados por la actividad. Por lo tanto, se han estudiado cada vez más los efectos que tienen las aguas residuales en el medio ambiente. Una problemática derivada de la generación de residuos acuícolas es la saturación de nutrientes en el ecosistema, también conocido como eutrofización. Los principales componentes que causan esto son el fósforo, carbono y nitrógeno, los cuales se incorporan al medio a través de las excretas, residuos de la alimentación y el proceso de respiración de los organismos (Borja, 2002).

En 2017 en el lago Tota, Colombia, se evaluó el impacto del cultivo de la trucha arcoíris al ecosistema por los desechos generados. El estudio se basó en una metodología de tipo exploratoria, catalogando la información de los acuicultores con base a su máxima capacidad de producción, localización geográfica, oferta actual y futura del cultivo. Derivado de la estimación de la capacidad de producción, se calcularon las tasas de desechos por año, basándose en los indicadores de la medida en la conversión alimenticia 1:1.4 (para producir 1 kg de trucha arcoíris se requieren 1.4 kg de alimento) y la relación que existe entre el alimento que es asimilado y transformado en carne. El segundo indicador fue: 25%-75% (25% se transforma en carne y el resto en desechos conformados por nitrógeno, fósforo, carbono, alimento no capturado y excretas). Del cálculo de desechos proyectados para 984 t año de producción de trucha arcoíris, se reportó que el ecosistema natural del lago absorbió 1000 t por año, por lo tanto, Torres-Barrera y Grandas-Rincón (2017) propusieron realizar

un estudio detallado de la capacidad de carga del ecosistema, con la finalidad de conocer si era posible que el sistema degradara o no los residuos generados por la actividad (Folke y Kautsky, 1989; Buschmann et al., 1996). Se han implementado tecnologías en otros países, entre ellos Dinamarca y Argentina, los cuales cuentan con sistemas de recirculación y tratamiento a base de plantas acuáticas que se alimentan de fósforo y nitritos, que permiten reducir la acumulación excesiva de nutrientes, disminuyendo el impacto al ecosistema (Torres-Barrera y Grandas-Rincón, 2017).

Otro estudio realizado en la laguna de Arapa, Perú en el año 2016, que se fundamentó en la metodología BACI (Before-After-Control-Impact) (Vidal, 2013), consistió en analizar el impacto antes y después en las áreas afectadas del ecosistema, por lo que se eligieron dos áreas (una sin afectación y otra con afectación por la instalación de jaulas flotantes), realizando ocho evaluaciones ex ante y ex post de la puesta en marcha del proyecto. Un elemento clave para conocer el grado de eutrofización fue el fósforo, para lo cual se aplicó el modelo matemático simplificado, según Thomann y Mueller (1987). Los resultados del estudio mostraron que el lago absorbió 611 kg de fósforo total, de los cuales 246 kg se sedimentaron y 365 kg se distribuyeron en la columna de agua. En cuanto a los fosfatos ($\text{PO}_4\text{-P}$), tuvieron una concentración de 32.79 mg/m^2 , de acuerdo a la clasificación propuesta por Vollenweider, el lago fue considerado como un sistema eutrófico, situación que el cultivo de trucha arcoíris ocasionó. Los autores argumentaron que la acuicultura es una actividad que tiene efectos directamente sobre el medio ambiente, haciéndolo susceptible de manera negativa, en donde la mayoría de los desechos se componen de la materia orgánica derivada del alimento no consumido y de la excreción de los peces, lo que produce fenómenos de saturación de nutrientes en el ecosistema (Vásquez et al., 2016).

En Colombia Luna-Imbacuan et al. (2016) analizaron la calidad del agua residual en la producción de trucha arcoíris en estanques multipropósito de la estación piscícola Chiliglo en el municipio de Cauca. Los estudios físicos y químicos del agua mostraron que el agua residual de los estanques que contenían 600 organismos presentó concentraciones de 128 mg/L en sólidos suspendidos totales (SST), 94 mg/L en demanda química de oxígeno (DQO), 25 mg/L en demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), 4.7 mg/L en nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y 0.6 mg/L en fósforo total (PT), además un índice de biodegradabilidad de 0.30. Por

lo que las aguas de los estanques presentaron limitaciones para su tratamiento biológico, debido a la alta acumulación de materia orgánica, para lo cual se emplearon operaciones físicas dentro del tren de tratamiento en la estación, como la filtración del agua residual otorgando un tiempo de retención, el cual permitió separar y sedimentar las partículas provenientes de los desechos orgánicos para el manejo adecuado de las aguas residuales.

En el estado de México durante un periodo de 150 días en el año 2009, Gallego-Alarcón (2010) evaluó y modeló un sistema de tratamiento de agua residual en el cultivo de la trucha arcoíris con agua de lluvia, el cual consistió en un sedimentador, un filtro biológico (percolador) y un filtro descendente de arena, con la finalidad de utilizar agua de lluvia en un sistema de recirculación para el cultivo de trucha arcoíris. Los resultados del estudio mostraron que los implementos para la filtración lograron la remoción de 44.54% SST (sólidos suspendidos totales), 23.15% DQO (demanda química de oxígeno), 78.99% N-NH₃⁻ (amoníaco) y 29.36 % N-NO₂ (dióxido de nitrógeno) en el sistema. Las tasas de remoción generales de los principales contaminantes considerados dentro del tren de tratamiento fueron de 96.08 g N-NH₃⁻ (66.23%), 8.87 g NNO₂⁻ (19.56%), 286.31 g SST (43.38%) y 1 404.63 g DQO (38.79%). Se llegó a la conclusión que con la implementación de un biofiltro compuesto por un filtro-percolador de arena en un sistema de recirculación, se pueden generar buenos resultados para poder ser reutilizada el agua en dicho cultivo, removiendo las partículas más importantes que se generan en los procesos biológicos de los organismos.

2.2 Principales componentes de las aguas residuales acuícolas

De acuerdo con el tipo de sistema productivo (intensivo, semi intensivo y extensivo) implementado en la unidad de producción, serán los impactos en los ecosistemas terrestres o acuáticos que se encuentren cercanos; aun así, existen componentes generales que integran la calidad del agua residual de los cultivos acuícolas, siendo los orgánicos los predominantes, los cuales la mayoría se contienen en los sedimentos disueltos y suspendidos en el agua. Los sedimentos disueltos y suspendidos están compuestos de materia orgánica, principalmente en forma particulada; altas concentraciones de nutrientes, como el fósforo y nitrógeno en fracciones orgánicas e inorgánicas y sólidos suspendidos (Casillas-Hernández et al., 2006; Miranda-Baeza et al., 2007).

En el aspecto microbiológico, los organismos coliformes que se encuentran en el agua y suelo pueden llegar a afectar de manera directa a la salud humana, debido a las enfermedades que se ocasionan por el consumo de agua con presencia de estos microorganismos. De acuerdo con Molina-Tijanero y Fernandez-Uscha (2020), no todos los coliformes presentes en el agua son considerados como una amenaza para el hombre. No obstante, los coliformes fecales si son de importancia médica, en específico *Escherichia coli* (E. coli) la cual puede llegar a ocasionar daños en el bienestar de las personas.

Munn (2004) menciona que los coliformes están presentes en el medio ambiente de manera general, en organismos vivos y no vivos, esto derivado de la descomposición natural de la materia orgánica, por lo que es imprescindible su presencia en los ecosistemas de manera natural. Las formas más comunes por las que estos organismos pueden llegar a tener presencia en el agua son: a) arrastre de material orgánico derivado de las precipitaciones estacionales y no estacionales, b) defecación directa en los cuerpos de agua por organismos de sangre caliente (mamíferos principalmente) y c) contaminación antropogénica derivada de las descargas de aguas residuales de asentamientos humanos. Los coliformes tienen amplia capacidad de sobrevivir y multiplicarse fuera del intestino, además de facilidad de adaptación a su entorno, por lo que son considerados como indicadores de contaminación fecal en el agua (Molina-Tijanero y Fernandez-Uscha, 2020).

Baldeón-Beltrán (2013) realizó un estudio en el centro piscícola “El Ingenio”, Huancayo – Junín, Perú en diciembre del 2010, para conocer la calidad bacteriológica del agua en el cultivo de trucha arcoíris; los resultados demostraron que existía la presencia de coliformes totales y fecales, los cuales la mayoría se concentran en el área de las descargas del cultivo; lo anterior puede deberse a las actividades propias de la producción (alimentación externa principalmente), en donde el alimento excedente, excretas y la reutilización del agua de los estanques sin un tratamiento previo, favorecieron el crecimiento bacteriano en el agua durante el estudio.

2.2 Tratamientos del agua residual

En la actualidad existen distintos tipos de manejo para las aguas residuales de los cultivos acuícolas, los cuales dependerán de los elementos que contengan y el tamaño de la descarga.

Por lo que a continuación se hace una recapitulación de algunos modelos de manejo de aguas residuales que han sido utilizados con fines de minimizar el impacto ocasionado al medio ambiente. Entre los principales factores que definen el tipo de afectación a los ecosistemas se encuentran: a) la especie cultivada, b) el método de cultivo, c) la densidad de organismos en el cultivo y e) las características hidrográficas del lugar (Borja, 2002).

Para implementar de manera exitosa el tratamiento de las aguas residuales en los cultivos acuícolas, es necesario considerar generalmente, aunque no limitativamente las etapas de: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario; que se describen a continuación (Salazar-Cano, 2004).

Etapa pretratamiento

De acuerdo con CONAGUA (2018a), el pretratamiento tiene como objetivo remover, reducir y/o modificar sólidos medios gruesos y finos del agua, para eficientar el sistema de saneamiento, así como minimizar los problemas operacionales que se puedan generar por sólidos grandes contenidos en el agua. De manera general se lleva a cabo por medio de filtros físicos o mecánicos, siendo los más utilizados el cribado por medio de diferentes tamaños de rejillas y/o rejillas y desarenado, con este proceso se acondicionan las aguas que se van a tratar.

Etapa tratamiento primario

Durante esta etapa existen varias tecnologías que pueden ser utilizadas, el objetivo es remover la concentración de sólidos sedimentables, aunque accidentalmente también se puede reducir la concentración de materia orgánica, siendo los sedimentadores los más recurridos debido a los bajos costos de implementación, el proceso contempla dos secciones; la sedimentación y la que concentración de elementos en el fondo. Para la acuicultura se contempla una tasa de sedimentación de 1 cm/s. Tilley et al. (2018) describen las características que debe considerarse en una laguna de sedimentación, la cual es el sistema más implementado en la acuicultura.

- Laguna de sedimentación/espesamiento: se requiere un espacio amplio de terreno dedicado exclusivamente para la sedimentación del agua de los cultivos acuícolas, donde las partículas se sedimentarán por gravedad natural. Entre las consideraciones más importantes al momento de implementarla se encuentran, considerar dos

espacios, trabajando de manera paralela, uno destinado a la recepción del agua de manera directa y otro que llevara cabo el reposo de los sedimentos acumulados, siendo la máxima eficiencia del sistema de cuatro a cinco semanas, aunque puede ser de más tiempo dependiendo de la capacidad del mismo. Una de las ventajas más importantes de este sistema radica en que los costos de implementación son muy bajos, además de que el manejo es sencillo y no requiere energía eléctrica. Para asegurar su buen funcionamiento, es primordial ejecutar los procesos de manera correcta, capacitando adecuadamente al personal que se hará cargo del sistema. CONAGUA (2018b) hace referencia al pH del agua de una laguna de sedimentación, el cual no debe ser menor a 5.5 ya que es un indicador de transformación de aguas residuales a aguas sépticas. También menciona que de operarse de manera correcta el proceso de sedimentación primaria se pueden remover hasta el 90 % de los sólidos sedimentables, del 40 al 60 % de los sólidos en suspensión y del 20 al 40 % de la demanda bioquímica de oxígeno entrante al sedimentador.

Etapa tratamiento secundario

El objetivo de esta etapa es eliminar los componentes que no se pudieron eliminar en las fases de pretratamiento y tratamiento primario, principalmente los contaminantes derivados de la materia orgánica que están contenidos dentro de las descargas de aguas residuales; para la cual es necesario implementar sistemas biológicos que permitan que los microorganismos puedan degradar la materia orgánica, por lo que existen varias tecnologías que son utilizadas en la actualidad, de ser implementado de manera exitosa el sistema en esta fase, se eliminaran hasta el 90 % de los contaminantes del agua residual.

- **Lagunas de estabilización**

Son uno de los sistemas más utilizados en la acuicultura debido a su fácil implementación, estas lagunas tienen como objetivo: a) remover la mayor cantidad de materia orgánica del agua, b) eliminar microorganismos patógenos y c) reutilizar el agua tratada del sistema en otras actividades. El éxito de una laguna de estabilización va a depender de una serie de factores, como la temperatura del ambiente, condiciones climáticas y la radiación solar principalmente. Los procesos biológicos que se llevan en las lagunas de estabilización son la oxidación de la materia orgánica, la producción fotosintética de oxígeno y la digestión

anaeróbica de la materia orgánica; estas lagunas se pueden clasificar en: a) aerobias, b) anaerobias, c) facultativas y d) maduración; cuyas características son de acuerdo con Lizana-Yarlequé (2018):

- Lagunas aerobias. Se distinguen por ser receptoras de aguas residuales que han tenido un tratamiento previo, ahí las bacterias anaerobias se encargan de degradar la materia orgánica que se encuentre en el agua, suelen tener poca profundidad (1-1.5 m); de acuerdo con el tipo de oxigenación que se lleve a cabo, se clasifican por el tipo de aireación, ya sea natural (gravedad) o mecánica a través de sistemas de introducción aire artificial.
- Lagunas anaerobias. En este sistema las bacterias anaerobias se encargan de llevar a cabo el proceso de degradación principalmente de la materia orgánica que se contiene en las aguas residuales; lo que se busca es que la mayor parte de elementos que se encuentran en suspensión queden atrapados en el fondo y así los microorganismos lleven a cabo el proceso de degradación. Por lo regular tiene una profundidad de 2 a 5 m.

Etapa tratamiento terciario

Es la etapa de desinfección del agua y la última de un tratamiento de aguas residuales, en esta se pretenden remover microorganismos patógenos para el humano que se encuentren en el agua, como virus, bacterias, huevos de helminto y helmintos, que son considerados de importancia médica para el ser humano, además de micronutrientes y metales pesados en el agua.

El método seleccionado deber ser de acuerdo con los costos, tipo de desinfección y automatización del mismo; los métodos se dividen en físicos y químicos, entre los físicos más representativos se encuentran los siguientes: filtración, temperatura y radiación (solar, luz ultravioleta, rayos gamma y procesos electrolíticos); en los químicos se utilizan sustancias químicas, como yodo, bromo, plata, ozono y cloro, para la eliminación de los agentes causales de enfermedades (CONAGUA, 2018a).

En el caso de la desinfección del agua en comunidades rurales, CONAGUA (2018b) propone algunos métodos para lugares de difícil acceso de los materiales, apoyo técnico y económico, siendo los siguientes:

- Radiación solar: La exposición prolongada a la radiación solar del agua contaminada por microorganismos, puede lograr la desinfección del medio, debido a que los rayos UV, afectan el ADN o ARN de las células. Existen tres clases de radiación solar: a) UV-A, con ondas de 400-315 nm; b) UV-B, con ondas de 315-280 nm; y c) UV-C, con ondas de 280-100 nm, en la última onda ocurre la mayor efectividad; con las ondas de tipo UV-A y UV-B y la combinación de temperaturas de 50 a 60°C, pueden inactivar la mayoría de los contaminantes microbiológicos.
- Concentrado solar: La mayoría de las bacterias mueren entre los 40 y 100°C, los hongos, protozoarios y algas entre los 40 y 60°C. El sistema del concentrador solar tiene su fundamento en un dispositivo que concentra los rayos UV que está expuesto totalmente al sol, con la finalidad de eliminar patógenos en el agua; para esto se requiere un tiempo de retención, la radiación de la zona y la turbiedad del agua (no mayor a 30 NTU Unidad de Turbidez Nefelométrica). Martín et al. (2005) realizaron un estudio en el estado de Chihuahua, donde encontraron que el agua sometida a 2 h y 65°C, es suficiente para eliminar los contaminantes microbiológicos de importancia médica.
- Temperatura: Esta metodología consiste en llevar el agua hasta el punto de ebullición arriba de los 60°C durante un periodo de 5 a 10 min; sin embargo, no es muy recomendado debido a los altos costos de inversión en lo que refiere a insumos, como agua, luz o madera, los cuales son los principales para este proceso; además de no ser factible de aplicar para grandes volúmenes de agua.
- Tamizado: En esta técnica el agua pasa a través de un manto de tela fina o un algodón, con la finalidad de remover la mayor cantidad de sólidos, donde pueden permanecer virus, bacterias, hongos, etc.; no tiene los efectos de una desinfección total, pero si reduce la concentración de microorganismos; es recomendado para uso doméstico en zonas de alta o muy alta marginación.
- Filtración: En este proceso existen varios métodos que van a depender del tipo de filtro que se puede utilizar, los cuales son filtros de cantera, cartucho y arena, siendo los últimos los más adecuados para grandes cantidades de agua.
- Desinfección por cloración: Es uno de los métodos químicos más utilizados debido a la confiabilidad del producto y bajo costo; además de que los efectos residuales se

encuentran documentados, una de las principales recomendaciones es reposar 30 min mínimamente ante de consumir el líquido, para asegurar la desinfección del agua. La NOM 127-SSA1-1994 (CONAGUA, 2018b), recomienda una concentración entre 0.5-1.5 mg/L de cloro residual en el agua destinada a consumo humano. En el caso de un afluente con un gasto grande y constante se recomiendan estas dos técnicas: a) aplicar cloro con un gotero en el punto más cercano a la salida del agua y preparar la solución en garrafas y/o tambos de plástico que deberán mantener sellados para evitar que el cloro se volatilice y baje su concentración, la concentración del cloro residual debe quedar entre 0.5 y 1.5 mg/L, y se debe preparar y tener disponible una cantidad suficiente de la solución para asegurar la desinfección por varios días de trabajo, con el fin de tener un adecuado control y facilitar la mano de obra para llevar a cabo este proceso; b) implementación de pastillas de hipoclorito calcio o sodio, en un tanque de almacenamiento se colocan las pastillas de tal manera que queden suspendidas en el agua, las cuales se disuelven por erosión hídrica.

2.3 Consideraciones importantes sobre el uso del agua en la acuicultura en México

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) es un organismo público y autónomo que se encarga de caracterizar cada uno de los sectores económicos de la población en México, de acuerdo con este instituto, la acuicultura es considerada una actividad de tipo primaria al igual que la agricultura, ganadería y pesca, siempre y cuando el producto no sea transformado o se le otorgue un valor agregado (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2021).

Desde el año 2016 la Ley de Aguas Nacionales (LAN) otorgó el quinto lugar de prelación para la acuicultura en cuanto al uso del agua, además de la prioridad para otorgar una concesión, aun con esto, los elevados costos que se generan del uso y descarga del agua, inducen al no cumplimiento de la normativa aplicable para la actividad (Ezquivel et al., 2020). Otro aspecto importante relacionado con la LAN en el mismo año (2016), refiere al uso del agua en la acuicultura como de “paso” y no consuntivo como esta descrito en el artículo tercera de la ley en mención, el cual indica que el agua utilizada en esta actividad en ningún momento pierde volumen.

El aspecto económico en cuanto al pago de derechos por el uso del agua, lo determina la Ley Federal de Derechos (LFD), la cual se renueva cada año de acuerdo con las actualizaciones en disposiciones nacionales del uso del vital líquido (CONAGUA, 2020). En las descargas de aguas residuales de origen acuícola se impone un costo muy elevado, a pesar de ser una actividad primaria como la agricultura y ganadería, las cuales están contempladas dentro de la presente ley con una tasa cero, es decir, no se les cobra el uso ni descargas, debido a su contribución a la soberanía alimentaria de México. Por lo que es importante enfatizar la diferenciación que realizan las leyes respecto a la acuicultura, catalogándola como una actividad primaria, pero sin los mismos derechos que las actividades antes mencionadas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La crisis ambiental global que se presenta en la actualidad es derivada principalmente del mal uso de los recursos naturales, uno de ellos es el agua, la cual es vital para satisfacer las necesidades básicas de los seres vivos. En la mayoría de las ocasiones las aguas residuales derivadas de actividades humanas son arrojadas a los ecosistemas sin algún tipo de manejo para reducir el impacto al medio ambiente. La comunidad de Latuvi, ubicada en la Sierra Norte del estado de Oaxaca, se dedica desde hace 18 años al cultivo de la trucha arcoíris como una de sus principales actividades productivas. Debido a que no existe un manejo adecuado de los desechos, se tiene la hipótesis de una saturación de nutrientes en el área de las descargas en los cultivos trutícolas de la comunidad, en el aspecto ambiental, por lo que en el presente trabajo se pretende responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿El cultivo de la trucha arcoíris generar algún impacto negativo al medio ambiente?, esto con actividades participativas que permitan el involucramiento de los productores de la comunidad, así como la creación de soluciones que permitan minimizar el impacto del cultivo de la trucha arcoíris.

Aunado a lo anterior, de acuerdo con la normatividad de la CONAGUA a los productores de la comunidad que cuentan con una concesión acuícola, se les indica la realización de pagos por derechos del uso del agua y descargas de aguas residuales que se generan por la actividad, los cuales son excesivos. Los desembolsos por el volumen descargado van de los \$180,000.00 a los \$300,000.00 pesos de manera trimestral. Las concesiones acuícolas asignadas por la CONAGUA por reglamentación gubernamental federal del acuerdo la Ley

de Aguas Nacionales de México (CONAGUA, 2020) tienen que ser tramitadas por los piscicultores, sin conocer las obligaciones que adquieren al obtenerlas; las cuales de acuerdo a la Ley Federal de Derechos de CONAGUA son: 1) Otorgar un tratamiento adecuado para las descargas de aguas residuales, 2) Colocar un medidor de agua en la entrada y salida de las unidades acuícolas, 3) Realizar pagos por el uso de aguas nacionales, uso de zona federal y descargas definidos por la CONAGUA en sus concesiones y 4) Analizar la calidad del agua por laboratorios certificados por la instancia, de manera cómo lo indique la concesión en sus especificaciones.

Todo lo anterior afecta la productividad, sustentabilidad, organización y seguridad alimentaria de la comunidad, ya que al no cumplir adecuadamente las condiciones establecidas por CONAGUA, se puede llegar al cierre de las unidades piscícolas lo que resulta en pérdida de empleos, clausura de las unidades que proveen nutrimentos necesarios para la alimentación de las personas de la comunidad y visitantes, además de las multas exorbitantes, las cuales son del nivel de una actividad industrial y no primaria. En el ámbito ambiental, la pérdida del equilibrio de los ecosistemas genera afectaciones severas en la biodiversidad acuática, así como especies vegetales y animales que habiten en las zonas cercanas, además de comprometer la disponibilidad del vital líquido aguas abajo y para las generaciones futuras.

4. JUSTIFICACIÓN

La preocupante escasez de agua crece cada vez más el mundo, siendo los sectores de bajos recursos de la población los más vulnerables de sufrir los estragos de esta situación (Martínez, 2019). Por lo tanto, es fundamental la inducción de prácticas sustentables en cada una de las actividades en la que es utilizada el agua, la poca implementación de labores de prevención, mitigación y remediación están generando en la actualidad problemas sociales, económicos y ambientales que ponen en riesgo el desarrollo y fortalecimiento de la seguridad alimentaria de las personas, además del bienestar de los ecosistemas naturales de las comunidades rurales del estado de Oaxaca.

El uso del agua en el cultivo de trucha arcoíris es fundamental, pero su manejo inadecuado representa una serie de problemáticas, ya que, al no administrarse adecuadamente las

descargas de aguas residuales, estas pueden generar un impacto negativo al medio ambiente. En el ámbito económico los piscicultores se ven preocupados, ya que los pagos por descargas y multas emitidos por la CONAGUA rebasan por mucho los beneficios económicos que obtienen de la actividad. El cultivo de esta especie es predominante en la región de la Sierra Norte del estado de Oaxaca, por lo que aporta considerablemente a la alimentación, obtención de dinero y generación de empleos de los habitantes de la comunidad de Latuvi y de poblaciones adyacentes que adquieren los productos acuícolas para su venta y consumo, por eso es importante el fortalecimiento de la actividad para su permanencia.

En el aspecto económico la intervención del presente trabajo ofrece la posibilidad de evitar el pago excesivo que marca la normativa por la posible contaminación que establece la ley, cumpliendo con los aspectos ambientales requeridos.

La economía solidaria como modelo socioeconómico enfatiza en uno de sus ejes, buscar la conservación y cuidado al medio ambiente, recalcando a la sustentabilidad como base de todas las actividades que busquen satisfacer los requerimientos de las personas, realizando un reconocimiento a los derechos de la naturaleza, buscando el equilibrio entre la relación del hombre y el ecosistema.

En el contexto anterior, este trabajo permitirá desarrollar las habilidades de los piscicultores de trucha arcoíris de la comunidad de Latuvi en la etapa del manejo de las descargas del cultivo, con la finalidad de reducir la problemática ambiental que se genera por una administración inadecuada del recurso, además de mejorar la economía familiar con la gestión adecuada de la alimentación en el cultivo y disminución del volumen de descarga, que se traduce en un pago considerablemente menor por derechos y aguas residuales de lo que actualmente está contemplado para los productores.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Diseñar un plan de manejo sustentable para las aguas residuales del cultivo de trucha arcoíris en unidades piscícolas de la agencia municipal Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, mediante la acción participativa de los productores, con la finalidad de fomentar la sustentabilidad ambiental en la actividad.

5.2 Específicos

- ❖ Consolidar un grupo de piscicultores de trucha arcoíris interesados en diseñar un plan de manejo, mediante estrategias de inclusión para conformar el equipo de trabajo.
- ❖ Diagnosticar el contexto social, productivo y ambiental de las unidades acuícolas, por medio de metodologías participativas, con la finalidad de identificar las necesidades de capacitación para el manejo sustentable del agua en el cultivo.
- ❖ Promover el desarrollo educativo de los piscicultores para el manejo de las aguas residuales del cultivo, por medio de la aplicación de herramientas docentes y de investigación-acción de manera conjunta con los productores.
- ❖ Diseñar las acciones del plan de manejo, de acuerdo con los resultados obtenidos de los procesos participativos anteriores, que sirva como guía en el manejo del agua durante el proceso productivo.
- ❖ Evaluar los procesos implementados durante el desarrollo del presente trabajo, mediante indicadores de economía solidaria, para conocer el nivel de participación de los productores en el proyecto.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 ¿Qué es la Piscicultura?

De acuerdo con el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2015), la piscicultura es una actividad derivada de la acuicultura enfocada a la producción de peces, realizado directamente por la mano del hombre, principalmente con la finalidad de contribuir a la seguridad alimentaria de las personas. Para que esta actividad tenga buenos resultados es necesario realizar un buen manejo de los recursos, priorizando los siguientes en su respectivo orden de importancia: a) agua, b) calidad genética de los organismos, c) alimentación, d) sanidad y e) métodos de conservación/transporte, los últimos dos enfocados a la etapa final del proceso productivo (comercialización).

A nivel mundial la piscicultura es realizada en todos los países, la Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), reportó para año el 2020, 54.3 millones de t de producción de peces. Siendo los países asiáticos los que han dominado con un 89% de productividad en comparación con otros países; Egipto, Chile, India,

Indonesia, Vietnam, Bangladesh y Noruega son los principales productores. En las unidades acuícolas las mujeres son las principales ejecutoras de la mayoría de las actividades diarias (FAO, 2020). La Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina (SAGPyA) (2019) realizó un reporte de las mayores especies producidas en el mundo; siendo la tilapia y otros peces de la familia de los cíclidos los más cultivados, seguido de los peces de la familia de los salmónidos, en donde la trucha arcoíris es integrante.

La trucha arcoíris ha tenido un importante crecimiento del cultivo en aguas continentales (aguas dulces) como se puede observar en el Cuadro 1 (FAO, 2020).

Cuadro 1. Producción mundial de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Tomado y modificado del Estado Mundial de la Pesca y Acuicultura (FAO, 2020).

Año de producción	2010	2012	2014	2016	2018
Producción (miles t)	752.4	882.1	794.9	832.1	848.1

En México el cultivo de peces es el principal, comparado con otras especies de origen acuícola que se cultivan en el país. En 2016 se colocó como segundo productor a nivel Latinoamérica y el 14° lugar en cuanto a la producción en aguas continentales a nivel mundial (FAO, 2020). Las principales especies piscícolas cultivadas en México son las siguientes ordenadas por su aportación a la producción en toneladas: 1) tilapia, 2) carpa y 3) trucha arcoíris (CONAPESCA, 2018).

En el estado de Oaxaca el Plan Estratégico Sectorial para el Desarrollo Rural Sustentable (2016-2022) elaborado por la Secretaría de Finanzas del Estado de Oaxaca (2016) en el subsector pesca y acuicultura, hace mención de dos especies cultivadas en aguas continentales con alto valor económico y social, posicionando a la tilapia y la trucha como las principales, el documento recalca la importancia de llevar a cabo acciones que fortalezcan la actividad y conservación de los ecosistemas, ya que estas aportan significativamente a la contribución de la seguridad alimentaria del estado.

6.2 Cultivo de trucha arcoíris

El crecimiento y desarrollo del cultivo de trucha arcoíris está directamente asociado a las condiciones climáticas del medio ambiente, ya que es una especie que depende de condiciones particulares para su cultivo, como la temperatura, oxigenación y turbidez del agua; por mencionar las más representativas (Instituto Nacional de Pesca, 2018). De acuerdo con datos de la Asociación Empresarial de Acuicultura Española (2021) la producción de trucha arcoíris durante el año 2018 en el mundo alcanzó un total de 848,051 t, el cual es un aproximado de 1.9% más en comparación con el año anterior.

En México la producción de trucha arcoíris se realiza en sitios que cuentan con las condiciones climáticas requeridas por la especie, por lo que el cultivo es llevado a cabo en lugares con temperaturas bajas; por lo regular en las zonas montañosas del país (García-Mondragón et al., 2013).

En 2018 el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) reportó una producción en el país de 14,196.86 t para el año 2017, siendo el estado de México el mayor productor de la especie a nivel nacional, seguido del estado de Puebla.

El estado de Oaxaca en el año 2017 produjo 48.97 t de trucha arcoíris (SIAP, 2018b), dentro del estado el consumo de la especie se realiza principalmente en el mercado local y regional, por lo que la oferta del producto aun no alcanza a satisfacer la demanda de la especie a nivel estatal. Las unidades de producción acuícolas (UPA), se localizan en las regiones de la Sierra Norte y Sierra Sur del estado de Oaxaca debido a que cuentan con las condiciones ambientales que requiere la especie, también existen algunas unidades de producción en las regiones de la Cañada y Mixteca pero en menor cantidad, del total de la producción de las UPA una parte es destinada para el consumo de las personas involucradas en el proceso productivo y lo demás es destinado para venta (Universidad del Papaloapan, 2007).

6.2.1. Sistemas productivos en el cultivo de trucha arcoíris

Los sistemas de producción piscícolas se pueden clasificar en distintos modelos de acuerdo con sus objetivos. La primera clasificación se basa en los fines económicos que éstas tengan. FAO (2011) las clasifica de la siguiente manera: a) acuicultura a gran escala (también

conocida como acuicultura industrial), b) acuicultura a pequeña escala (también conocida como acuicultura rural).

Acuicultura Rural

Las características de una UPA a nivel rural se basan en que una buena parte de la producción es destinada para el autoconsumo y fortalecimiento de la seguridad alimentaria local y regional, en donde la aportación a la economía rural es fundamental para desarrollar el crecimiento económico de las localidades ubicadas en zonas marginadas. Otros aspectos que caracterizan este sistema productivo son; la mano de obra, la cual en su mayoría es familiar, además de que va a estar asociado con otros sistemas agrícolas entre los que se encuentran la producción de maíz, frutales, hortalizas y otros cultivos (FAO, 2006).

Acuicultura Industrial

La acuicultura industrial se distingue por los siguientes aspectos: a) mayor desembolso de capital destinado a la producción, b) gestión centralizada y c) grado determinado de integración vertical. En este tipo de unidades la organización es considerada como una empresa, siendo la generación de utilidades y la comercialización del producto los objetivos principales de la actividad (FAO, 2006).

La generación de residuos químicos y de tipo industriales es más recurrente en estos tipos de sistemas ya que las densidades de manejo son más altas en comparación con los cultivos rurales.

Otra clasificación de la acuicultura es otorgada por el nivel de tecnificación en los cultivos y grado de manejo, dividiéndose en los siguientes (Navarrete, 2004):

Sistema extensivo. Se caracteriza por tener bajos costos de producción y bajas densidades de siembra. La mayoría de la alimentación de los peces es por vía natural (lo que el ecosistema provee), por lo que no hay ningún tipo de manejo, la productividad en estos tipos de sistemas va de los 50 a los 300 kg por ha al año.

Sistema semi intensivo. En este sistema la siembra incrementa de los 3000 a las 6000 crías por ciclo productivo, se implementa el uso de fertilizantes, también se introduce la alimentación artificial por nutrición balanceada comercial y existe un manejo moderado del

sistema de producción, el resultado productivo es de cantidades mayores a las 2 t por ha al año.

Sistema intensivo. El objetivo es obtener una eficiencia productiva y económica, donde el manejo del cultivo juega un papel fundamental para la obtención de buenos rendimientos. No hay otro tipo de alimentación que no sea por nutrición artificial, la tecnificación es un aspecto fundamental durante el desarrollo, por lo que la implementación de equipos tecnológicos y adecuaciones siempre van a estar presentes, además de la toma y control de parámetros. El rendimiento de estos va a estar determinado por la especie y las condiciones del manejo, en promedio las cosechas son mayores a las 7 t por ha anual.

6.2.2 Generalidades de la trucha arcoíris

El nombre común de la especie es trucha arcoíris; su nombre científico es *Oncorhynchus mykiss* y pertenece a la familia de los salmónidos originarios de América del Norte. Su clasificación taxonómica es la siguiente de acuerdo con Camacho et al. (2000) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Taxonomía de la trucha arcoíris (Camacho et al., 2000).

Reino Animal
Phylum Chordata
Subphylum Vertebrata
Superclase Pisces
Clase Osteichthyes
Subclase Actinopterygii
Orden Salmoniformes
Familia Salmonidae
Género <i>Oncorhynchus</i>
Especie <i>Oncorhynchusn mykiss</i>

6.2.3 Características morfológicas de la trucha arcoíris

La trucha arcoíris tiene un cuerpo alargado y fusiforme que consta de 60 a 66 vertebras, 4 a 6 espinas dorsales, 10 a 12 radios blandos dorsales, 3 a 4 espinas anales, 8 a 12 radios blandos anales y 19 radios caudales. Cuenta con una característica común en los salmónidos, la cual es su aleta adiposa generalmente con un borde negro, se caracteriza por tener una banda

irisada rosácea y por encima de ella una franja de color azul-verde. Por debajo del vientre otra franja de color plateada-blanca (Arregui-Maraver, 2013).

Cuando los peces están en una etapa de reproducción sexual, los machos se caracterizan por que la franja de irisada se volverá más brillante y su mandíbula de volverá más prominente con una forma de gancho; esto sucede alrededor de los 18 meses de vida. Las hembras alcanzan su madurez sexual óptima a los 24 meses, su vientre se vuelve más abultado y sus genitales se tornan de un color rojizo e hinchado (Arregui-Maraver, 2013).

6.2.4 Hábitat de la trucha arcoíris

La trucha arcoíris vive en ecosistemas con aguas frías y transparentes; entre los que se encuentran ríos, lagos y arroyos con agua corriente, es una especie originaria de América del Norte, pero debido a su gran potencial económico y social, para fines alimentarios y recreativos, es una especie distribuida en todo el mundo (Arregui-Maraver, 2013).

6.2.5 Condiciones ambientales para el cultivo

Para que la especie desarrolle favorablemente en todas sus fases es necesario que cuente con las condiciones óptimas, los siguientes son los parámetros principales para su crecimiento de acuerdo con la FAO (2014).

- *Oxígeno disuelto*

La concentración de oxígeno varía dependiendo de la fase de crecimiento en la que se encuentre el pez, los peces jóvenes requieren más de este elemento. Es fundamental para el desarrollo de los peces ya que dicta el apetito de los organismos de acuerdo con la concentración que exista en el agua, también es fundamental en otros procesos, como la degradación de la materia orgánica. Para el cultivo de la trucha arcoíris el requerimiento mínimo va de 5 a 5.5 mg/l, en el caso de los primeros estadios se recomienda una concentración de los 6 a 7 mg/l.

- *Temperatura*

La temperatura es un parámetro prioritario en el cultivo de la trucha arcoíris, ya que regula las concentraciones de otros elementos dentro del cultivo. Además de que la trucha arcoíris es un organismo poiquiloterma; es decir, no es capaz de regular su temperatura por sí solo, si que no depende de los factores ambientales de su alrededor. Esta especie puede vivir en

condiciones con rangos que van desde los 0 a los 25 °C, pero de acuerdo con las etapas de desarrollo hay temperaturas óptimas para que se lleven a cabo los procesos. En una etapa de crianza y desarrollo los intervalos son de 9 a 17 °C, los alevines requieren condiciones con temperaturas de los 10 a 12 °C.

- *pH*

Este parámetro permite conocer la concentración de los iones de hidrógeno en el agua, se expresa en los valores de 0-14, donde 0-6.9 indica acidez en el agua, 7 neutralidad y superior a 7 alcalinidad. En el cultivo de la trucha arcoíris, el rango de tolerancia va de los 6.5 a 9.

- *Turbidez*

La especie gusta de vivir en aguas cristalinas y con la menor cantidad de materia disuelta la cual se puede originar por varios factores; las partículas del suelo y vegetación que son arrastradas por la corriente, presencia de microorganismos (zooplancton y fitoplancton), entre otras diversas causas de origen antropogénico como la contaminación a los acuíferos por basura derivada de las actividades humanas. Este parámetro puede llegar a afectar la productividad de los sistemas, ya que afecta el oxígeno disponible dentro del ecosistema. Durante la época de lluvias este debe ser monitoreado constantemente debido a que los materiales que son arrastrados por las corrientes pueden llegar a causar la mortalidad de los peces debido a la obstrucción de tuberías, las truchas en estadios tempranos son las que se ven más afectadas por la turbidez, ya que puede llegar a existir mortalidad de los organismos.

- *Amonio*

Los procesos metabólicos de los peces en particular la generación de excretas puede llegar a generar grandes cantidades de amonio, el cual está directamente relacionado con el pH y la temperatura, por lo que es fundamental tener una densidad de carga adecuada en los sistemas para no saturarlos de amoniaco, resultado de los desechos de los organismos. El parámetro de concentración no debe rebasar los 0.012 mg/l en forma de amoniaco.

6.2.6 El agua en el cultivo de la trucha arcoíris

El cultivo de la trucha arcoíris está condicionado totalmente a las características del agua, situación que los productores dedicados a la actividad conocen, además de la importancia de mantener una buena calidad durante cada una de las etapas del proceso (Arregui-Maraver, 2013).

La escasez del vital líquido es cada vez más evidente, por lo que es prioritario planear estrategias que permitan optimizar el uso del recurso, para esto existen acciones en donde se pueden implementar nuevas tecnologías para eficientar su uso, además de diseñar estrategias educativas para fomentar una nueva cultura para el cuidado de la misma (IAGUA, 2018b).

6.3 Sustentabilidad en acuicultura

La acuicultura es una actividad primaria que contribuye significativamente al desarrollo económico y social de las comunidades, no obstante, existen efectos negativos que se pueden generar en el medio ambiente, por lo que la gestión ambiental adecuada de las unidades de producción es fundamental, tema que los productores acuícolas deben conocer ampliamente al momento de realizarla (Ovando, 2013).

En México esta actividad ha crecido de manera exponencial en los últimos años, Bordehore (2020) menciona que los desechos generados por estos sistemas pueden llegar a causar daños en el agua y ecosistemas. La acuicultura sostenible se fundamenta en tres principios; sostenibilidad ecológica, social y económica. El primer concepto enfatiza en la acuicultura ecológica, el cual indica que el desarrollo continuo de la actividad en ningún momento debe poner en riesgo los recursos naturales, ecosistemas y seres vivos dentro de él, evitando la alteración de los ecosistemas al llevar a cabo la actividad. El segundo concepto (acuicultura social), debe considerar la inclusión y participación de todos los sectores de la sociedad, instituciones gubernamentales, educativas, etc., para encaminar la actividad hacia el desarrollo sustentable, con el diseño e implementación de planes integrales que permitan fortalecer a la acuicultura en la sustentabilidad. El tercer concepto (acuicultura económica) hace referencia a la generación de beneficios económicos de la actividad con la finalidad de satisfacer las necesidades básicas de las personas involucradas en las labores de producción (Ovando, 2013) (Figura 1).



Figura 1. Equilibrio social, ambiental y económico en la acuicultura. Tomado y adaptado de Ovando (2013).

El inminente calentamiento global derivado en gran medida por la explotación irracional de los recursos naturales, ha propiciado la creación de estrategias en cada uno de los sectores de la cadena productiva para reducir la huella de carbono que se genera por la acuicultura (Ovando, 2013).

De acuerdo con Borja (2002) la acuicultura debe realizarse bajo cinco preceptos para conservar el equilibrio de los ecosistemas.

- a) Realizar el uso correcto de la capacidad ecológica de las áreas de explotación destinadas a la generación de productos e ingresos.
- b) Reducir los conflictos con otras actividades a través de mecanismos de gestión en todas las áreas de la cadena productiva.
- c) Prevenir y reducir los impactos ambientales.
- d) Gestionar y controlar impactos ambientales.
- e) Reducir riesgos sanitarios.

6.3.1 Efectos y medidas de mitigación en la acuicultura

Aunque la acuicultura es una actividad que tiene muchos efectos positivos como la aportación a la seguridad alimentaria de las personas, la reducción de la explotación de los mares,

mejoramiento de la calidad de vida de las personas, entre otros, existe una contraparte derivada de los resultados negativos que se pueden generar por la producción de peces.

Dentro del desarrollo de la actividad hay diferentes riesgos entre los que se encuentran: a) agentes patógenos (riesgos de patógenos en el ecosistema), b) organismos acuáticos invasores (riesgo genético, riesgo ecológico y riesgo de especies exóticas invasivas), c) introducción de agentes químicos, metales pesados o agentes biológicos (riesgo a la seguridad alimentaria), d) exceso de materia orgánica (riesgo al medio ambiente y/o ecológico) (FAO, 2011).

De acuerdo con la FAO (2011) los impactos negativos más comunes de la actividad se muestran en la Figura 2.

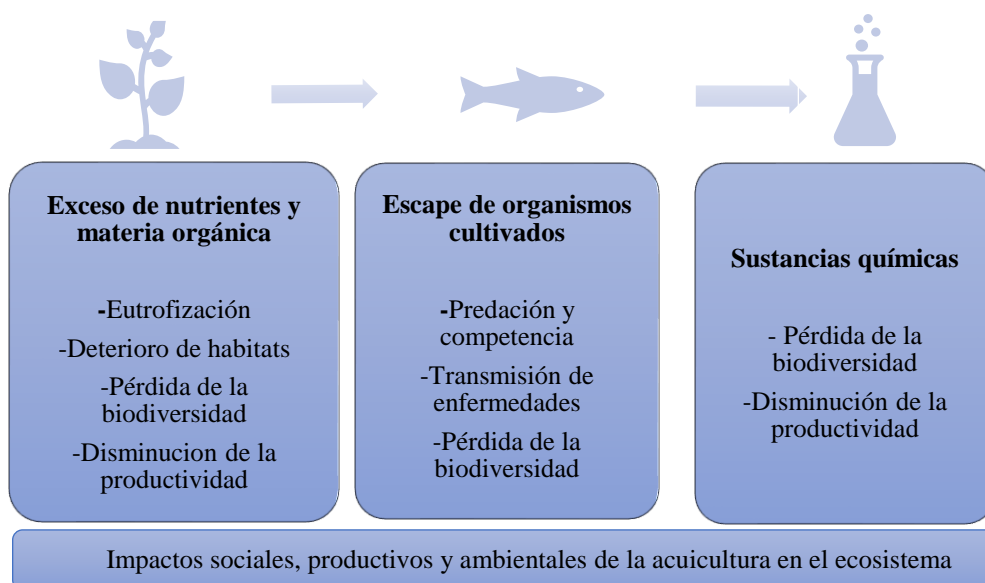


Figura 2. Efectos negativos de la acuicultura. Tomado y adaptado de “Orientaciones técnicas para la pesca responsable” (FAO, 2011).

La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales en México menciona que la utilización de los recursos naturales disponibles debe usarse racionalmente para lograr una integridad funcional de la capacidad de carga de los ecosistemas.

Este organismo considera tres diferentes tipos de medidas, de acuerdo con la etapa en la que se encuentre el proyecto. La primera es la prevención, la cual se basa en ejecutar medidas antes de implementar el proyecto para evitar daños previsibles al medio ambiente, la segunda

son las medidas de mitigación en donde el objetivo es atenuar los impactos y reestablecer las condiciones ambientales antes de la perturbación ocasionada por el proyecto, el tercero comprende las medidas de compensación, las cuales son el conjunto de acciones para recuperar la funcionalidad ecológica de los ecosistemas que hayan sido dañados por los impactos residuales de las gestiones implementadas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

6.3.2 Educación ambiental

El concepto de educación tiene distintas variantes de acuerdo con el objetivo de aprendizaje que se busque. Uno de ellos es la educación ambiental, la cual se enfoca en acciones para el cuidado del medio ambiente, lo cual es prioridad, debido a la crisis ambiental en la que se encuentra el planeta en la actualidad.

El origen de la educación ambiental nació en la cumbre de Estocolmo en 1972, derivado de esta reunión surge el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), donde la recomendación número 96 del tratado indica que los organismos implicados para el desarrollo del programa, deberían implementar medidas para que las personas adoptaran a la educación ambiental en su día a día, siendo interdisciplinaria con un enfoque intra y extraescolar, que abarcara todos los niveles de la educación y se dirigiera hacia el público en general, particularmente al ciudadano común que habita tanto en áreas rurales como urbanas, con el fin de desarrollar el aprendizaje para el cuidado al medio ambiente, mediante pasos simples dentro de sus propios medios, para aprender a conservar los ecosistemas. Esto con la finalidad de tomar de conciencia y comprensión de la magnitud de los problemas ambientales en toda su complejidad, para inducir a la acción responsable de la ciudadanía en la prevención y solución de dichos problemas (Gonzales y Arias, 2012).

Para cumplir con los objetivos es fundamental integrar los programas de educación adecuándolos a la diversidad de personas, creando un ambiente colaborativo entre los sectores públicos, privados y público en general, anteponiendo a la naturaleza y el desarrollo de las personas ante todo, por lo anterior es necesario elaborar herramientas entre las que podrían ser; recursos educativos, materiales didácticos, medios audiovisuales etc., con la

finalidad de promover el desarrollo del aprendizaje, la investigación y la experimentación para la resolución y prevención de problemáticas ambientales (Gonzales y Arias, 2012).

6.3.3 La metodología 4 MAT

En la actualidad existen diversas metodologías que propician el desarrollo del aprendizaje para potencializar los talentos de las personas. Una de ellas es el modelo 4 MAT, el cual es un modelo educativo que superpone los estilos formativos de los individuos de acuerdo con los criterios de Kolb. Se unen en uno propuesto por McCarthy uniendo los datos de la síntesis de la información del cerebro para el aprendizaje individual de las personas. El autor maneja cuatro cuadrantes de la población en general, este sistema permite desarrollar las habilidades para la adquisición de conocimiento en todos los individuos con sus particularidades (Ramírez et al., 2015).

Los cuadrantes de aprendizaje que caracterizan a las personas son los siguientes de acuerdo con McCarthy et al. (1985).

- Primero. Está asociado con las personas que adquieren aprendizaje desde las experiencias concretas, otorgado un sentido personal a las situaciones. Prefieren de las conversaciones en grupos selectos con temas específicos.
- Segundo. Caracteriza a las personas que requieren de exactitud y orden, se sienten seguros en situaciones donde las reglas estén bien establecidas. Son exigentes con las formas de expresión y metodologías bien planteadas.
- Tercero. En el tercer estilo se agrupan las personas que se lanzan a la acción, por lo que la exploración es su primer paso para conocer todas las posibilidades y aplicarlas en la resolución de problemas.
- Cuarto. Comprende a las personas que descubren las cosas por sí mismos, por lo que experimentación desde su propio espacio es el ambiente ideal para aprender, por lo general son creadoras de nuevo conocimiento por medio de la innovación.

Este sistema de aprendizaje pretende unificar los requerimientos de enseñanza en los cuatro estilos antes descritos, mediante un ciclo que comprende ocho pasos que se describen a continuación (Rasilla-Cano, 2017).

- a) Conectar. Es el primer paso para comenzar el ciclo de aprendizaje, pero no necesariamente, aquí los aspectos significativos son primordiales para los aprendices. Es importante que se expongan las expectativas por los participantes del proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que permitirá evaluar el desarrollo adquirido.
- b) Examinar. Es la segunda etapa del proceso, donde la reflexión a través de experiencias previas, sucesos etc., activándose el aprendizaje. Para lograr conectar esta etapa a la primera se puede realizar un guion de preguntas que desarrollen la adquisición de conocimiento.
- c) Imaginar. Derivado de los procesos anteriores en el que se han identificado y motivado la necesidad de aprendizaje, se comienzan a crear situaciones imaginativas que propicien el desarrollo de los talentos de las personas fomentar la formación educativa.
- d) Definir. Una vez teniendo la visualización de lo que se requiere aprender, es necesario documentar información sobre el tema específico de aprendizaje en fuentes de confianza. Se recomienda elaborar e implementar un instrumento que permita indagar sobre los conocimientos previos, el cual puede ser un formato que no sea el de un examen tradicional.
- e) Practicar. Se fortaleceran los conocimientos adquiridos en la etapa de definición de los conceptos, por lo que se eligen actividades relacionadas con el tema, estas deben ser flexibles y de acuerdo con los requerimientos de aprendizaje de los participantes. Es fundamental que la persona destinada al desarrollo las practicas tengan un amplio conocimiento del tema a desarrollar.
- f) Extender. Una vez practicado el tema, se fomentará que los participantes creen soluciones por ellos mismos de la situación que se pretende resolver con el desarrollo de los conocimientos. En esta etapa el aprendiz demostrará si realmente puede utilizar la información adquirida en algún suceso para resolver en su vida diaria. Es importante otorgar un tiempo que le permita al participante del proceso educativo madurar sus ideas en una solución concreta.
- g) Pulir. En esta etapa los participantes exponen sus ideas ante el grupo, con la finalidad de que todos aporten sus opiniones para nutrir positivamente la estrategia propuesta, induciendo la colaboración entre todos.

- h) Integrar. En esta última el ciclo de aprendizaje se cierra, por lo cual es necesario exponer nuevamente el objetivo del diseño de la planeación, evaluando todas las propuestas que nacieron del desarrollo, además de crear otras que permitan alcanzar los objetivos desde otros caminos. Se debe festejar el conocimiento adquirido, ya que es fundamental concientizar y reflexionar la utilidad del proceso educativo. En el último punto del proceso de cierre se debe fomentar otro ciclo de aprendizaje.

6.3.4 El papel de la economía solidaria en el cuidado al medio ambiente

En la carta de principios de Economía Solidaria emitida por la Red de Redes de Economía Solidaria (Red de Redes de Economía Alternativa y Solidaria, 2011), se describe el principio de la Sostenibilidad Ambiental el cual hace referencia a lo siguiente enfatizando en el objetivo del proyecto:

“Consideramos que toda nuestra actividad productiva y económica está relacionada con la naturaleza, por eso nuestra alianza con ella y el reconocimiento de sus derechos es nuestro punto de partida”.

“Queremos reducir significativamente la huella ecológica humana en todas nuestras actividades avanzando hacia formas sostenibles y equitativas de producción y consumo, promoviendo una ética de suficiencia y austeridad”.

Por lo anterior el cuidado al medio ambiente mediante actividades económicas sostenibles que permitan reducir al máximo la huella ecológica en el planeta son fundamentales para asegurar una calidad de vida digna para las generaciones presentes y futuras (Red de Redes de Economía Alternativa y Solidaria, 2011).

La agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su objetivo 13 “Acción por el clima” indica que en la actualidad el cambio climático está afectando a todas las personas en el mundo, principalmente a las poblaciones más vulnerables (Red de Redes de Economía Alternativa y Solidaria, 2011), por lo que una de sus metas listadas con el

número 13.3 está estrechamente relacionada con el objetivo de este trabajo, mencionando lo siguiente:

“Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana”.

Relacionado con lo anterior la acción social es un pilar fundamental para lograr los objetivos de mitigación y reducción del impacto al medio ambiente, preparándose para eso, estrategias educativas que permitan sensibilizar a las poblaciones sobre sus acciones y repercusiones en el medio ambiente (Organización de las Naciones Unidas, 2020).

A través de la historia se han presentado casos en los que se enfatiza el cuidado del medio ambiente y preservación de la salud de las personas antes que la obtención de capital.

El economista ecológico Herman Daly (1992), en su artículo publicado “Allocation, distribution, and scale: towards an economics that is efficient, just and sustainable”, menciona que para llegar a una economía justa, eficiente y sustentable esta debe nacer en tres conceptos donde el medio ambiente es el centro de importancia; el primero es la *asignación de recursos* para lo cual existen políticas públicas por cada país en el mundo que dictan la destino del uso que se les dará a los recursos naturales, el autor menciona que muchas veces estas políticas están viciadas y la distribución no es justa en la mayoría de los casos, el segundo concepto es la *distribución equitativa de los recursos*, en donde los instrumentos de aplicación son impuestos, los cuales se asignan en diferentes medidas a quienes hacen uso de los recursos naturales, y el último es la *escala sostenible* el cual no tiene alguna medida para ser aplicable, siendo la más importante para la preservación del medio ambiente.

La escala sostenible es un concepto que indica que los precios de los productos están otorgados por determinación social, ya que estos son fijados de acuerdo con la cantidad de recursos utilizados y muchas veces los precios de estos no compensan la sobre carga al medio ambiente que se genera, la línea de Plimsoll como hace mención Daly (1995), ayuda a estimar la capacidad de carga del medio ambiente, la relación costo beneficio y la estimación de los estándares de seguridad.

Todo lo anterior es primordial para mantener un buen equilibrio ecológico basado en la relación de la producción de un bien o servicio y el impacto que pudiera tener en el medio ambiente (Daly, 1995).

El modelo económico neoliberal por el cual nos encontramos regidos actualmente ha generado un impacto ecológico negativo, ya que la importancia de este sistema está basada en obtener, producir y acaparar cada vez más, sin tener alguna consideración al medio ambiente. La cooperación social es primordial para mantener un equilibrio adecuado entre la producción de recursos y la naturaleza, caminando hacia la sostenibilidad. En la carta de principios de economía solidaria uno de los principios relacionados con la problemática asociada al manejo de adecuado de las aguas residuales es la sostenibilidad ambiental, siendo los aspectos centrales: a) Reconocimiento de los derechos de la naturaleza, b) Reducción significativa de la Huella ecológica y c) Ética de la suficiencia y autoridad (Villalba-Eguiluz, y Pérez de Mendiguren, 2019).

Para poder llegar a un progreso en el aspecto de la sostenibilidad ambiental es necesario un proceso organizativo social, realizando la integración de la gestión en la sostenibilidad ambiental, reducción, reutilización, reciclaje de los residuos, tratamientos adecuados, uso de energías renovables y fortalecimiento de la soberanía alimentaria (Villalba-Eguiluz, y Pérez de Mendiguren, 2019). Las redes de cooperación son indispensables, en donde las normas de reciprocidad y confianza facilitan la coordinación y cooperación para el beneficio mutuo (Millán, 2006), todos integrados en un mismo nivel jerárquico de acuerdo con Putnam, 1995. Otros autores como Fukuyama (1995) citado por Rodríguez-García (2012), valorizan más a la confianza como formadora de redes de capital social y de vínculos que pueden generar un desarrollo económico.

6.3.5 Comunalidad

El concepto de comunalidad nació en el estado de Oaxaca por lo pensadores de origen indígena Jaime Martínez Luna y Floriberto Díaz, los dos pertenecientes a dos distintas localidades de la Región de la Sierra Norte del estado. Cada uno desde sus perspectivas integran el concepto como un sistema de vida en donde los hábitos y costumbres de las localidades rigen las decisiones que toman los integrantes de las comunidades rurales. Para ellos la madre tierra es el origen de cada uno de los elementos que conforman los ecosistemas

y en general de “todo” los existente, por lo que la importancia del cuidado y preservación de la misma es fundamental para los pueblos originarios. Floriberto Diaz menciona de 5 características sociales que integran las comunidades indígenas del estado de Oaxaca (Nava-Morales, 2018).

1. Un espacio territorial, demarcado y definido por la posesión.
2. Una historia común, que circula de boca en boca y de una generación a otra.
3. Una variante de la lengua del pueblo, a partir de la cual identificamos nuestro idioma común.
4. Una organización que define lo político, cultural, social, civil, económico y religioso.
5. Un sistema comunitario de procuración y administración de justicia.

Al realizar cualquier tipo de intervención en comunidades indígenas de Oaxaca en particular, es primordial conocer su organización, para que el proceso sea lo más exitoso posible y resulten beneficios para las mismas, mejorando la calidad de vida de los integrantes, bajo el concepto de que la naturaleza es el origen de todo.

7. MARCO METODOLÓGICO

Con la finalidad de cumplir los objetivos del presente trabajo de investigación participativa, se diseñó e implementó una metodología de tipo mixta que integró aspectos cualitativos y cuantitativos de las UPA. En el caso de los cuantitativos los considerados fueron; calidad del agua, producción promedio e insumos utilizados en el proceso, para los cualitativos se tomaron en cuenta principalmente los aspectos sociales por los cuales los productores realizan la actividad, siendo Investigación Acción Participativa (IAP) el método base. Este capítulo aborda descriptivamente, la metodología, métodos y herramientas de apoyo que se aplicaron durante el desarrollo del estudio.

Como se menciona anteriormente la IAP fue el método principal, el cual se caracteriza por promover la integración de un grupo de personas que busquen resolver una problemática en común, además de generar un grado de empoderamiento en los miembros de la comunidad, conduciendo hacia la justicia social en las áreas donde se aborde (Balcázar, 2003).

Martí-Olive (2002) propone cinco etapas que componen el proceso de intervención: 1) Pre-investigación (síntomas, demanda y elaboración del proyecto), 2) Diagnóstico, 3) Programación, 4) Conclusiones- propuestas, 5) Puesta en práctica, evaluación y nuevos síntomas. Para el presente trabajo de investigación se abordaron las etapas 1, 2, 3 y 4, debido a las condiciones sanitarias obligatorias ocasionadas por el virus del SARS-COV-2 que se presentaron durante el desarrollo del proyecto.

7.1 FODA

El análisis FODA es una herramienta que permite diagnosticar las potencialidades y puntos débiles, para lograr un equilibrio en la estructura interna de una organización, el cual favorece el cumplimiento de los objetivos. Para lograr esto se deben describir de manera puntual las fortalezas y debilidades las cuales son consideradas como factores internos (Rivero, 2018).

Las fortalezas pueden describirse como las habilidades físicas y mentales de cada uno de los integrantes que favorecen el desarrollo de una labor dentro de una organización cual sea su fin. Así como los recursos materiales e intelectuales que intervengan en el crecimiento de la misma, de manera contraria las debilidades que representan los factores internos en la estructura de la organización, las cuales son las vulnerabilidades que pueden afectar el desarrollo del grupo de trabajo (Rivero, 2018).

Las oportunidades y amenazas son factores externos que influyen en el crecimiento de la misma las cuales no son controlables, pero si influyen en la organización de manera directa (Rivero, 2018).

Una vez identificados cada uno de los aspectos anteriores se puede decir que se tiene una fotografía real de la organización, lo que permitirá abordar las situaciones que estén afectando el desarrollo de la misma, así como fortalecer los puntos positivos (Rivero, 2018).

7.2 Misión y visión

El principal objetivo de la misión es definir el propósito de la organización, para lo cual los integrantes deberán tener definidos los siguientes aspectos: que van a hacer, para que lo hacen y para quien lo hacen. Los anteriores pueden estar basados en procesos históricos que hayan atravesado durante un periodo, la construcción de la misión muestra de manera explícita la

razón de ser del grupo. Algunos autores la describen a la misión como la definición más precisa de lo que es una organización (Santander Universidades, 2022).

De acuerdo con Santander Universidades (2022) la misión y visión indican el camino a seguir durante la vida la organización sirve como una guía por la cual se puede dirigir el grupo de trabajo, sin perder de vista su objetivo principal.

Para la elaboración de las entrevistas semi estructuradas y el flujograma de producción se trabajó con las herramientas participativas propuestas por Geilfus (2002), las cuales se caracterizan por promover la participación activa, como lo menciona el autor la aplicación de medios inclusivos promueven en la mayoría de las ocasiones que los procesos colaborativos sean más exitosos al contrario de los individuales y técnicos.

Del libro 80 herramientas para el desarrollo participativo (Geilfus, 2002), se tomaron las siguientes, las cuales fueron implementadas en la etapa de diagnóstico del presente trabajo.

7.3 Herramientas para desarrollo participativo de Geilfus (2002)

7.3.1 Diálogo semi estructurado

El diálogo semi estructurado tiene como finalidad recabar información en específico del ámbito social, con la aplicación se evitan los sesgos de datos generados por la implementación de entrevistas y/o cuestionarios formales. Al elegir entre el diálogo semiestructurado y las entrevistas se busca una participación activa entre el aplicador y el informante clave. Debido a que esta herramienta es flexible para adaptarse a las circunstancias, los tiempos de aplicación son abiertos, el autor recomienda contar con material de papelería para tomar anotaciones (papel y bolígrafo) es muy importante tener un guion de entrevista el cual servirá como referente de los temas que se abordaran durante el proceso, el entrevistador debe tener claros los puntos abordar para que exista una fluidez en la aplicación. Geilfus (2002) propone cinco etapas para implementación de un diálogo semi estructurado, que se describen a continuación.

Paso 1. Establecer un guion con no más de 15 temas diferentes (con informantes claves) y 7 (para grupos), para prepararlo se recomienda hacerlo con personas involucradas de manera directa en el tema, como los representantes de la comunidad y técnicos de apoyo.

Paso 2. Delimitar el grupo de atención en donde se aplicarán.

De acuerdo al tema que se requiera abordar es como estará basada la guía de diálogo, por lo que la elección del grupo de trabajo es importante para disminuir los sesgos en esta etapa, siendo los siguientes los más comunes: acceso, jerárquicos, género, heterogeneidad, estacional, disponibilidad laboral y de proyecto.

Paso 3. Realización de entrevistas

A la hora de aplicar las entrevistas es importante considerar elementos que desarrollen de manera sencilla el proceso, el facilitador es el que guiará el desarrollo, para esto se debe propiciar un ambiente de confianza, mantener la atención, no interrumpir las respuestas, no ser rígidos con los temas planeados en la guía, usar preguntas abiertas y claras que generen información lo más detallada posible, profundizar las respuestas otorgadas con más preguntas que describan mejor el tema que se requiera conocer, además de no usar preguntas que cohíban de alguna manera a los informantes.

Paso 4. Análisis de los resultados

El autor propone las siguientes preguntas para evaluar los resultados.

- ¿La persona entrevistada tiene experiencia directa de lo que hablamos?
- ¿Está en condiciones de dar una información confiable?
- ¿La persona reflexiona antes de contestar, o parece contestar lo que ella piensa que queremos oír?
- ¿Podría haber una razón por la que no nos digan la verdad? ¿Hay personas presentes que podrían influir en las respuestas de la gente?
- Clasificar las respuestas en: 1. Hechos 2. Opiniones 3. Rumores

Paso 5. Realizar una triangulación de la información, es decir; comparar los resultados con otras fuentes de estudios iguales o lo más cercanos al que se esté realizando.

7.3.2 Flujograma de producción

El flujograma de producción que propone Geilfus (2002) tiene como finalidad representar de manera esquemática cada una de las etapas de un proceso productivo.

El autor propone realizar la actividad en un tiempo de media a una hora por diagrama, es necesario contar con materiales que faciliten el proceso como pizarras, rotafolios, plumones, plumas, colores etc. Comprende cinco pasos los cuales se describen a continuación:

1. Reunir a un grupo de personas interesadas en un tema en común y que cuenten con experiencia en el tema a desarrollar.
2. Iniciar el proceso con la pregunta ¿Por dónde empieza el proceso?, escribiéndola en el material con el que se cuente, motivando a los participantes a seguir con la descripción de cada una de las etapas, plasmándolas de la misma manera que las primeras, una seguida de la otra.
3. Durante el proceso pueden surgir ideas en la descripción del ciclo productivo, por lo que al diagrama se le pueden añadir ramificaciones indicando las anotaciones expuestas.
4. En este paso se cuantificará y anotaran cada uno de los insumos necesarios para llevar a cabo el proceso productivo, como las materias primas, mano de obra etc.
5. Al finalizar se debe consensuar con los participantes los resultados del flujograma de producción, solicitando su opinión del ejercicio. Es importante mencionar que los resultados se deben de compartir en su totalidad con los participantes.

7.4 Calculo de los desechos

Para el cálculo de los desechos se realizó un cálculo de los desechos provenientes de la alimentación durante el ciclo productivo basado en la medida de conversión alimenticia 1:1.4 y la relación que existe entre el alimento asimilado y desechado 25%-75% (Folke y Kautsky 1989; Buschmann et al., 1996), además de la medición de los parámetros fisicoquímicos como; sólidos sedimentables, temperatura, pH, oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno, todos basados en las normas mexicanas para aplicación, las cuales se describen a continuación:

NMX-AA-004-Determinacion de sólidos sedimentables (SST)

La determinación de este parámetro se realiza para definir la cantidad de solidos que durante un tiempo determinado se depositan en el fondo de un recipiente sin movimiento alguno, por lo que se propone un método volumétrico para la evolución cuantitativa de los componentes

de la muestra, en el Anexo1 se describen, los materiales, procedimientos y cálculos de acuerdo con la normativa mexicana para la determinación de los sólidos sedimentables (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2000).

NMX-AA-007 Medición de la temperatura en aguas naturales y residuales

La temperatura es un parámetro que se basa en demostrar de manera cuantitativa las propiedades de ciertos materiales para dilatarse o contraerse de acuerdo con el grado de temperatura que exista. Los datos que se presenten bajo los instrumentos de medición indican el grado de la misma de acuerdo a la escala de medición que se utilice, materiales, procedimientos y cálculos se proponen realizarlos de acuerdo a la normativa mexicana (Anexo 2) (Secretaría de Comercio y Fomento industrial, 2000).

NMX-AA-008 Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas

El pH es una medición que permite conocer la actividad de los iones hidrógeno en una solución, el principio está fundamentado en la diferencia de potencial de una celda electroquímica empleando un equipo adecuado para la medición. Está relacionado muy estrechamente con la temperatura debido al equilibrio de disociación, por lo tanto, este parámetro siempre se tiene que reportar con ella (temperatura), materiales, procedimientos y cálculos se proponen realizarlos de acuerdo con la normativa mexicana (Anexo 3) (Secretaría de Economía, 2016).

NMX-AA-012 Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas

La medición del oxígeno disuelto en el agua depende de los procesos químicos, físicos y bioquímicos que se lleven cabo dentro del sistema acuático. La normativa propone dos metodologías: a) Determinación por el método yodométrico y b) Determinación por el método electrométrico. Para este estudio se utilizará la determinación por el método electrométrico el cual refiere a que el equipo que se utiliza durante la medición está basado en la obtención de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, mediante electrodos de metal sensibles al oxígeno ya sean galvánicos o polarizados en contacto con un electrolito de soporte. Comúnmente el cátodo puede ser de oro o platino promoviendo la reducción del oxígeno y el ánodo (plata o plomo) llevando a cabo la oxidación de los metales. Las

membranas de los equipos son mayormente de polietileno y fluorocarbón los cuales son permeables al oxígeno molecular, materiales, procedimientos y cálculos se proponen realizarlos de acuerdo a la normativa mexicana (Anexo 4) (Secretaría de Economía, 2001).

NMX-AA-028 Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO5) y residuales tratadas

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) mide la cantidad de oxígeno aproximada que ocupa una comunidad microbiana para oxidar la materia orgánica en un periodo de 5 días con una temperatura promedio de 20°C, para esto se debe determinar la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto después de cinco días de incubación, materiales, procedimientos y cálculos se proponen realizarlos de acuerdo con la normativa mexicana (Anexo 5) (Secretaría de Economía, 2001).

NMX-AA-042-SCFI-2015 Enumeración de Organismos Coliformes Totales, Organismos Coliformes Fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli*.

La determinación de organismos coliformes totales y fecales, permite detectar la presencia de patógenos de importancia médica para el ser humano en el agua, siendo que los organismos de sangre caliente como los mamíferos son los principales hospederos, es considerado como un factor de contaminación. Para realizarlo se lleva a cabo el cultivo en un medio líquido (tubos múltiples) y el cálculo del número más probable en la muestra (aguas naturales, residuales y tratadas) (Anexo 6) (Secretaría de Economía, 2015).

7.6 Plan de manejo

Un Plan de Manejo Ambiental (PMA) incluye cada una de las actividades de manera detallada para llevar a cabo una labor de forma que esta impacte lo menos posible al medio ambiente, para esto, se deben tener claras las acciones que se implementarán de acuerdo con el tipo de proyecto. Estas tienen que estar dirigidas a prevenir, mitigar o compensar las afectaciones que se generen por cierta acción (Secretaría de Gobierno de Bogotá, 2009).

En lo que respecta a los programas enfocados a dirigidos prevenir, mitigar y/o compensar se describen cada uno a continuación.

De manera básica el PMA debe contener información con los siguientes temas, es importante mencionar que dependiendo el objetivo del mismo es la amplitud que el plan contendrá. La primera parte debe contener información básica del grupo de trabajo, como su nombre, representante, persona quien diseña el plan de manejo, ubicación, licencias y los permisos con los que cuente en materia ambiental. La segunda parte incluirá el marco legal en materia ambiental que se relacione de manera directa con la actividad (Secretaría de Gobierno de Bogotá, 2009).

La tercera parte se integrará por los objetivos y metas, así como la descripción del área de influencia, la cual deberá incluir los recursos naturales como el agua, suelo, flora, fauna, paisaje, aspectos sociales, culturales y económicos de lugar. La cuarta parte del PMA debe contemplar la identificación, evaluación de los impactos y riesgos ambientales en el desarrollo del proyecto. Una vez teniendo claro los conceptos es primordial diseñar los indicadores que servirán para evaluar los impactos de las actividades humanas en los ecosistemas, así mismo permitirá conocer la eficiencia del plan de manejo (Secretaría de Gobierno de Bogotá, 2009).

8. MARCO LEGAL

La acuicultura es una actividad donde el agua es el principal insumo para realizarla, por lo que es importante mencionar la legislación y normativa que la rigen en México, así como las facilidades y obstáculos que representan para los productores acuícolas.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el art. 27 menciona que: “La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada”, (Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión, 2021).

De la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos surgen las siguientes leyes que corresponden al uso del agua en la actividad (Cuadro 3 y 4), siendo la Ley de Aguas Nacionales y la Ley Federal de Derechos <Disposición Aplicables en Materia de Aguas Nacionales> las que obstaculizan el desarrollo de la acuicultura, debido a que no están coordinadas de manera que sean de apoyo para apoyar el desarrollo la actividad. La primera

(Ley de Aguas Nacionales), es con fines administrativos y la segunda (Ley Federal de derechos), con objetivos totalmente recaudatorios. En estas dos leyes donde algunas de las disposiciones resultan confusas, además de generarles problemas legales, económicos y sociales a las personas que tienen bajo su representación una UPA (Cuadro 3).

Cuadro 3. Leyes Normativas relacionadas en el uso del agua y la acuicultura, elaboración propia.

Ley	Disposición	Observaciones relacionadas con la acuicultura
Ley de Aguas Nacionales. (Cámara de Diputados, 2022).	Regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.	*Aprovechamiento de paso de aguas nacionales en las 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, ornamental o recreativa.
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (Cámara de Diputados, 2015).	<p>Hace énfasis en que cualquier actividad que sea susceptible de contaminar con descargas contaminadas al medio ambiente, debe implementar medidas para reducir lo más posible el impacto.</p> <p>Se requiere una autorización en materia de impacto ambiental emitida por SEMARNAT.</p>	<p>*La acuicultura es considerada actividad primaria, no hay razón para aplicar tarifas más altas que la agricultura y actividades pecuarias. Reyes et al (2015) mencionan que la acuicultura tiene descargas menos contaminantes que otras actividades de índole productivo.</p> <p>*Para la actividad es más exigente, comparada con otras actividades primarias como la agricultura y cantidades pecuarias.</p>
Ley Federal de derechos. <Disposición Aplicables en Materia de Aguas Nacionales>. (CONAGUA, 2021).	Pago de derechos por el uso o explotación del agua.	<p>*Elevados costos para el sector acuícola, por lo que deben unificarse los criterios en todas las actividades productivas primarias.</p> <p>*Eximir el pago de derechos en los rubros de</p>

aguas nacionales y descargas para el sector acuícola.

*En el caso de las descargas de uso acuícola eximir a la actividad por el pago de las mismas, como es el caso de las descargas por cultivos agrícolas.

*La Ley determina que no estarán obligados al pago de este derecho los contribuyentes cuya descarga de aguas residuales no rebase los límites máximos permisibles establecidos según el cuerpo receptor. Para ello se deberá medir el volumen y la calidad del agua.

* El procedimiento para lograr la exención del pago es complejo y costoso, lo que lo hace inaplicable para muchas explotaciones acuícola actividad acuícola, el costo por descargas va de \$4.39 hasta \$9.70 pesos por m³ según el tipo de cuerpo receptor.

*El artículo 282 señala que no estarán obligadas al pago de estos derechos las descargas provenientes del riego agrícola.

*Uso y disfrute preferente de los recursos pesqueros y acuícolas de las comunidades y pueblos indígenas.

Ley de Pesca y Acuicultura
Sustentables
(Cámara de Diputados,
2018).

Ley de Pesca y Acuicultura
Sustentables para el estado
de Oaxaca.
(Honorable Congreso del
Estado Libre y Soberano de
Oaxaca LXI Legislatura
Constitucional, 2013).

Regular, fomentar y administrar el aprovechamiento de los recursos pesqueros y acuícolas en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción

*Aprovechamiento de los recursos pesqueros y acuícolas, su conservación, restauración y la protección de los ecosistemas en los que se encuentren, sea compatible con su capacidad natural de recuperación y disponibilidad.

*Ofrecer opciones de empleo en el medio rural.

*La actividad se desarrollará desde una perspectiva sostenible, que integre y concilie los factores económicos, sociales y ambientales, a través de un enfoque estratégico y ecoeficiente.

*Procurar y promover que, a las comunidades y pueblos indígenas, les sea respetado su derecho preferente sobre los recursos pesqueros y acuícolas de los lugares que ocupen y habiten.

* El aprovechamiento de los recursos pesqueros y acuícolas de la entidad, su conservación, restauración y la protección de los ecosistemas en los que se encuentren, debe ser compatible con su capacidad natural de recuperación y disponibilidad.

* Actividad que permitirá ofrecer opciones de empleo en el medio rural, incrementar la producción pesquera y la oferta de alimentos que

En materia de acuicultura existen normas que rigen la actividad en las fases de producción, aprovechamiento, conservación, transformación etc. Pero en el caso de la calidad de las descargas de aguas residuales la NOM-001-SEMARNAT-1996 es la que establece los límites máximos permisibles en las descargas a cuerpos de agua como ríos, lagos y aguas continentales como se muestra a continuación en el Cuadro 4. Para el presente trabajo se tomaron valores de referencia de la anterior normativa, ya que durante el año 2021 cuando se desarrolló el proceso del presente trabajo la norma se encontraba en actualización, en donde fueron modificados parámetros y valores después de 25 años de no llevarse a cabo, esta última actualización entrará en vigor el tres de abril del 2023.

Cuadro 4. Norma Oficial Mexicana para la disposición de las aguas residuales, con enfoque para las descargas de origen acuícola, elaboración propia.

Norma	Disposición	Observaciones
NOM-001-SEMARNAT-1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.	Aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso.

9. ÁREA DE ESTUDIO

9.1 Ubicación de la comunidad

La localidad de Latuvi es una agencia municipal que pertenece al municipio de Santa Catarina Lachatao, distrito de Ixtlán de Juárez en la región de la Sierra Norte de Oaxaca (Figura 3) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010). Se ubica a 70 km de la ciudad de Oaxaca (Figura 4) (Google Maps, 2020). Colinda al norte con San Juan Chicomezúchil, San Miguel Amatlán y Santa Catarina Ixtepeji; al sur con Santa Catarina Ixtepeji, Teotitlán del Valle y Villa de Díaz Ordaz; al oeste con Santa Catarina Ixtepeji y al

este con San Miguel Amatlán. El municipio cuenta con una superficie de 276.85 km², representa el 0.29% de la superficie total del estado (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010).

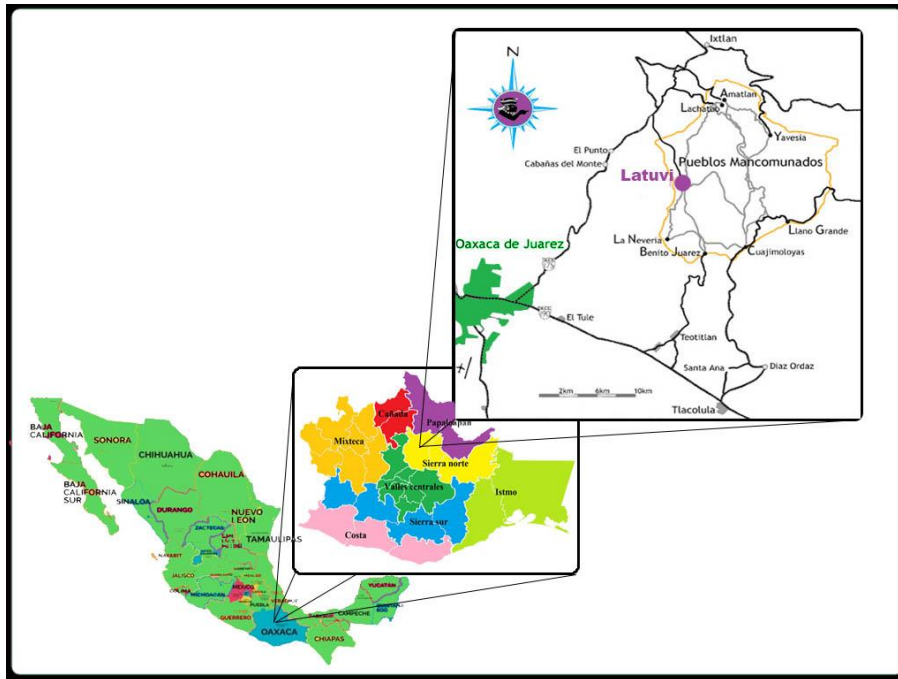


Figura 3. Macrolocalización de la comunidad de Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, distrito Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020).

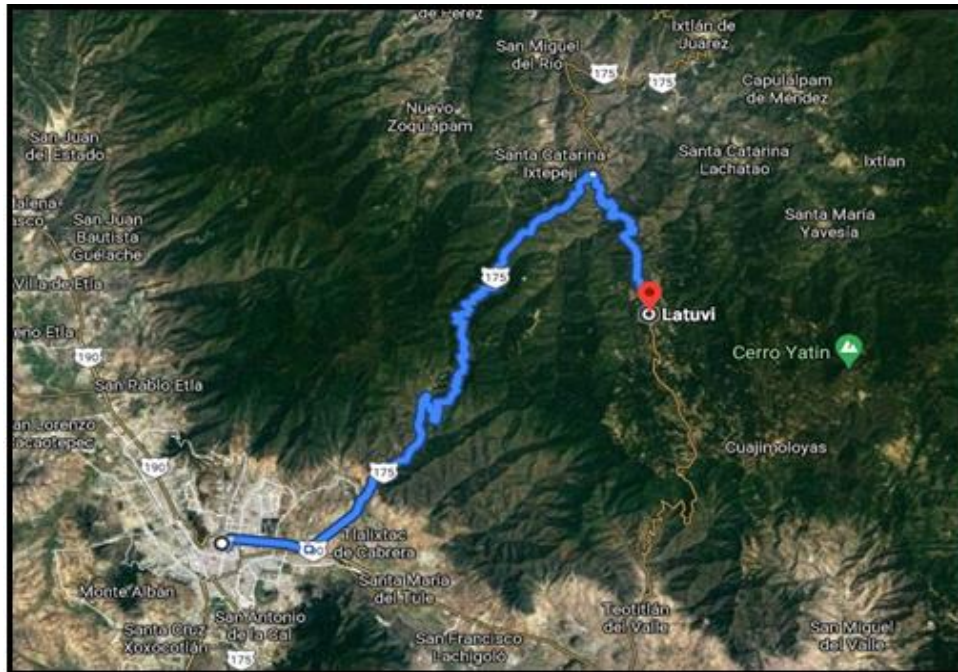


Figura 4. Microlocalización de la comunidad de la comunidad de Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, distrito Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Fuente: Google Maps (2020).

La comunidad de Latuvi es una agencia municipal de Santa Catarina Lachatao, es parte de los pueblos mancomunados los cuales son una organización de ocho pueblos forestales. La organización de los pueblos mancomunados está formada por tres municipios, cada uno con sus agencias municipales; el municipio de Santa Catarina Lachatao y sus agencias: Latuvi, Benito Juárez y la Nevería; el municipio de San Miguel Amatlán y sus agencias San Antonio Cuajimoloyas y Llano Grande; y el municipio de Santa María Yavesia (Áreas-Guzmán y Ávila-González, 2007).

Comparten un territorio comunal de 29,430 ha de extensión (Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas, 2010), pertenecen al distrito de Ixtlán de Juárez en la región de la Sierra Norte de Oaxaca, cordillera montañosa que forma parte de la cuenca del Papaloapan.

Existe información que refiere la antigüedad de la mancomunidad desde hace 400 años con documentos históricos como el Códice parroquial de Santa Catarina Lachatao, noviembre de 1598, Códice de San Miguel Amatlán mayo de 1615, también existe un mapa que establece los linderos en dialecto zapoteca de los pueblos mancomunados (septiembre de 1888), un

convenio celebrado entre las comunidades en enero de 1891, y la resolución presidencial de titulación de terrenos comunales 19 de septiembre 1961 (Áreas-Guzmán y Ávila-González, 2007).

Los orígenes de Latuvi se remontan al año de 1840, cuando en la cabecera municipal se llevaron a cabo aprovechamientos mineros, ocasionando repercusiones en la salud de los pobladores, entonces decidieron buscar otras alternativas de producción, entre ellas la actividad agrícola, por lo que llegaron a vivir en los arroyos, hoy conocidos como “Piedra larga” y “Cara de león”, para después dispersarse. Latuvi es una palabra de origen zapoteca que significa “La” hoja y “tuvi” enrollada, este árbol se encontraba ubicado en lo que hoy es el centro de la población (Áreas-Guzmán y Ávila-González, 2007).

9.2 Población

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020) el número total de habitantes de la agencia es de 484, concentrándose la mayoría de la población en personas con edades de los 15 a los 64 años. La principal actividad económica es la agricultura con el cultivo del maíz, seguido de la cría y explotación de animales y del corte o siembra de árboles.

En un estudio realizado por Áreas-Guzmán y Ávila-González en el año 2007 se identificaron cuatro grupos sociales, los cuales caracterizaron de la siguiente manera: 1. Comerciantes-tenderos, 2. Maestros-profesionistas, 3. Campesinos con trabajo eventual y 4. Campesinos-recolectores.

Latuvi se distingue por encontrarse en un sistema agrario regido por un reglamento interno, en donde la máxima autoridad es la asamblea de comuneros (Figura 5).

Se distinguen cuatro órganos administrativos básicos:

- Asamblea general la cual es la máxima autoridad y está conformada por los comuneros de la localidad (1).
- Asamblea de caracterizados quienes son la instancia de consulta rápida y está conformada por 10 comuneros y estos son nombrados en la asamblea (2).
- El comisariado de bienes comunales quien es la autoridad que vigila el uso de los recursos y junto con las autoridades municipales están encargados de la gestión (3).

- Regidores encargados de distintas tareas de la vida comunal de la población, entre los que se encuentran los regidores de educación, regidor de salud, regidor de obras, regidor de fiestas etc. (4).

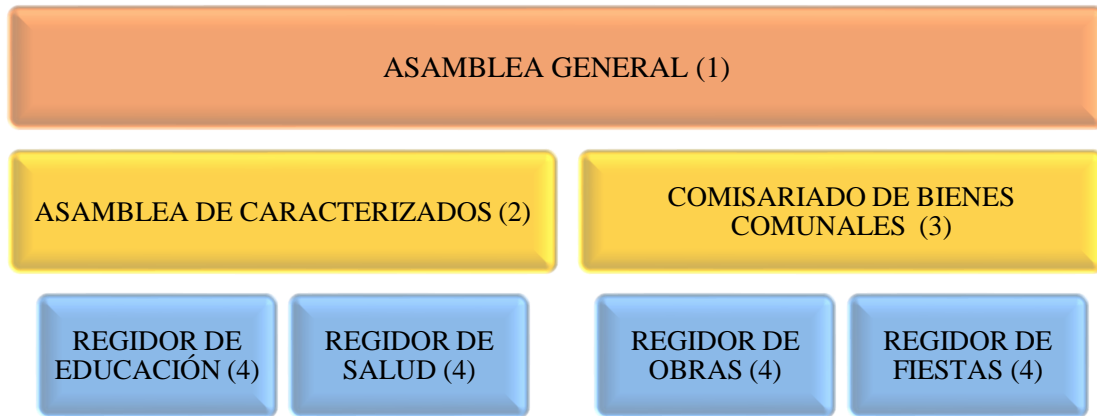


Figura 5. Mapa jerárquico de la organización social en la comunidad de Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, distrito Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Elaboración propia.

9.3 Servicios

La comunidad cuenta con un centro de salud, teléfono público, internet, además de televisión de paga (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020). También cuenta con cuatro cabañas de adobe con chimenea y todos los servicios ya mencionados, albergue turístico para 16 personas, comedores comunitarios con platillos preparados con insumos de la región, granjas piscícolas, y siete rutas de caminata guiadas por los mismos pobladores los cuales se pueden recorrer a pie en bicicleta de montaña o a caballo. La comunidad también posee áreas destinadas al campismo y servicio de temascal (Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas, 2010).

9.4 Uso de la tierra

El 100% de la superficie perteneciente a la comunidad es de régimen comunal, las actividades principales están enfocadas a las actividades primarias como la agricultura en la que destacan: el cultivo de frijol, calabaza y tomate de cáscara, también la superficie territorial con la que cuentan las familias les permiten sembrar y criar aves de corral, árboles frutales tales como

manzana, durazno, pera, tejocotes ciruelas, algunas hortalizas tales como papa, habas, chícharos o alverjas y chayotes (Gobierno del Estado de Oaxaca, 2011).

9.5 Características abióticas y bióticas de la comunidad

- **Geología**

La geología se encuentra en un periodo Terciario (50.37 %), Cretácico (45.86 %) y Neógeno (3.77 %), con los tipos de rocas; Ígnea intrusiva: Monzonita (0.97 %) Ígnea extrusiva: Andesita (49.40 %) y arenisca-toba intermedia (3.77 %) Sedimentaria: Lutita-arenisca (33.44 %) y caliza-lutita (12.42 %). Los suelos dominantes van de Acrisol (55.02 %), Cambisol (41.26 %), Regosol (2.97 %) y Luvisol (0.75 %) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010).

- **Hidrología**

La hidrología de la comunidad es la siguiente; se encuentra en la región hidrológica del Papaloapan (99.13 %) y Costa Chica-Río Verde (0.87 %), cuenca R. Papaloapan (99.13 %) y R. Atoyac (0.87 %), sub cuenca R. Quiotepec (99.13 %) y R. Atoyac-Oaxaca de Juárez (0.87 %) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010).

- **Clima**

Los habitantes del municipio de Santa Catarina Lachatao distinguen cuatro tipos de sitios con climas diferentes de acuerdo con su conocimiento tradicional, estos son: tierra caliente, tierra templada, tierra fría, y tierra muy fría. En tierra caliente son zonas de cultivo alejados de la población que aprovechan para cultivar algunos productos propios de este clima; la zona templada la comprende parte de Latuvi y Lachatao; la zona fría con presencia de heladas la comprende La Nevería y la zona más fría del municipio la comprende Benito Juárez (Gobierno del Estado de Oaxaca, 2011).

De acuerdo con datos del prontuario estadístico del INEGI, la comunidad de Latuvi, tiene un intervalo de temperatura ambiental que va de los 10 a los 20 °C, con un rango de precipitación de los 800 a los 1000 mm, templado subhúmedo con lluvias en verano (95.84 %), semicálido subhúmedo con lluvias en verano (2.31 %) y templado húmedo con abundantes lluvias en verano (1.85 %) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010).

- Uso de suelo

En el ámbito del uso de suelo y vegetación se encuentra distribuido de la siguiente manera: agricultura convencional (37.92 %), zona urbana (0.62 %), bosque (61.46 %), con un potencial de la tierra para la agricultura manual continua (0.78 %) y agricultura manual estacional (11.81 %) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010).

- Fauna y Flora

La fauna de la región de los Pueblos Mancomunados a la que pertenece Latuvi es extremadamente diversa debido a la gran variedad de hábitat que ahí se desarrollan, es posible encontrar desde especies como: puma, venado cola blanca, y algunas aves endémicas como la urraca enana, entre otras especies estacionarias y migrantes (Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas, 2010).

En esta región de bosque húmedo de pino y encino en donde coexisten cuatro variedades de clima: frío, templado frío, frío semitropical y tropical; se encuentran especies endémicas de orquídeas, helechos arborescentes, palma camedor, diversos tipos de flores, así como musgos, líquenes, cactus y hongos (Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas, 2010).

De acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal de Santa Catarina Lachatao elaborado en el año 2011, la actividad acuícola tomo importancia en los últimos cinco años a nivel municipal, con el establecimiento de granjas para la producción de truchas, en el marco de los proyectos ecoturísticos. En la comunidad de Latuvi existen cuatro unidades piscícolas para el cultivo de truchas mismas que se comercializan en la misma comunidad tanto frescas como preparadas. El precio en fresco va de los \$110.00 a los \$130.00 pesos por kg, preparadas en diferentes platillos tienen un costo de \$100.00 a los \$130.00 por unidad de pescado preparado; brindando el servicio de comedor a propios y turistas. Los insumos y materia prima son adquiridos con empresas en la ciudad de Oaxaca. Su producción hace diez años por temporada anual era en promedio de 1 t de producto fresco; en la actualidad se tiene un promedio de 8 t por unidad de producción por periodo productivo (CONAPESCA, 2015).

Es una actividad económica a cargo de cuatro unidades familiares como principal fuente de ingresos, a su vez diversifican sus productos para ofrecerlos al turismo que los visita (Gobierno del Estado de Oaxaca, 2011).

9.6 Ubicación de las Unidades de Producción Acuícola

Las UPA se encuentran ubicadas en la cuenca río Grande de la región hidrológica del Papaloapan (28), las unidades piscícolas “El Manzanal” y el “Cajete” se proveen agua del río Manzanillo. La unidad “El Manzanal” se encuentra a una altitud de 2,595.02 m aguas, está arriba de la unidad “El Cajete”, por lo que todo el flujo del agua utiliza para estos dos cultivos de trucha arcoíris (Figura 6).

En el caso de las UPA “El Rincón de Linda Vista” y “Rancho Cara de León” el agua la toman del río San Juan. La distribución es igual que las dos unidades de producción antes descritas, la primera se ubica a una altura de 1,543.42 m aguas arriba de la segunda, por lo que también el agua del río se utiliza para estos dos cultivos (Figura 6).

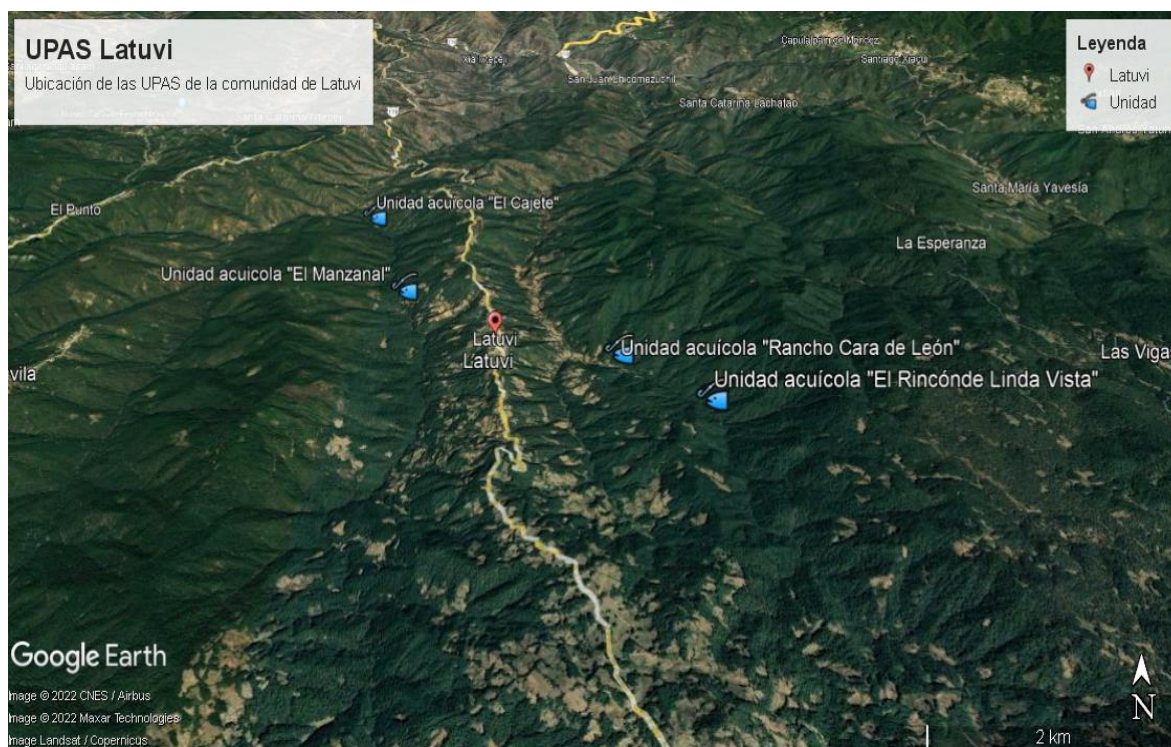


Figura 6. Ubicación de las cuatro unidades de producción acuícola en la comunidad de Latuvi, elaboración propia (Fuente: Google Earth, 2022).

10. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos, se implementó la metodología de intervención acción participativa (IAP), propuesta por Martí-Olivé (2002), dividida en cuatro etapas y fases de cada etapa, las cuales se ajustaron a los requerimientos del grupo de trabajo (Figura 7).



Figura 7. Fases de cada etapa de la metodología de intervención acción participativa aplicadas al grupo de piscicultores de trucha arcoíris de la agencia municipal Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, Oaxaca. Elaboración propia, con la información de la metodología de Martí-Olivé (2002).

10.1 Etapa 1. Pre Investigación

10.1.1 Fases 1 y 2. Demanda directa y planteamiento del problema

El presente trabajo nació de una demanda previa de atención por los productores acuícolas de la agencia, por lo que se trabajó con el 100 % de las UPA, por una problemática de tipo ambiental que repercute en el aspecto económico ya que, al no realizar un manejo adecuado a las descargas de agua de los cultivos de trucha arcoíris, podrían resultar sanciones monetarias impuestas a los truticultores por parte de la CONAGUA, autoridad administradora del agua a nivel nacional; debido a que los productores cuentan con concesiones acuícolas que implican obligaciones, como el tratamiento del agua utilizada.

10.1.2 Fase 3. Delimitación

Para la delimitación del objetivo de estudio, se llevó a cabo un análisis FODA (Rivero, 2018), el cual debido a la situación sanitaria de la pandemia SARS-CoV-2, se validó mediante la aprobación de los acuicultores de manera virtual con videoconferencias en la plataforma Zoom. Es fundamental mencionar que todos los productores contaban con acceso a internet satelital para poder llevar a cabo esta actividad. Para la realización del análisis FODA se motivó una lluvia de ideas en cada uno de los apartados (fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas), con la finalidad de priorizar las acciones que se realizaron.

10.1.3 Fase 4. Consolidación del grupo

Una vez priorizados los temas en el análisis FODA y seleccionado el problema que se abordó en el presente trabajo, se llevó a cabo la consolidación del grupo integrado por los cuatro representantes de las unidades acuícolas de Latuvi y cuatro productores familiares de las distintas UPA, quedando conformado por ocho personas, mediante la construcción de la misión y visión del grupo de trabajo, esto les permitió sentar las bases de su objetivo en común y avanzar hacia él, de acuerdo a sus posibilidades. Para lograr esto, se aplicó una encuesta electrónica, con la aplicación para formularios de Google Forms, con preguntas que permitieron conocer los ideales de cada productor, para posteriormente redactar la misión y visión del grupo de trabajo; la validación, se realizó en una reunión virtual en la plataforma Zoom.

Se analizaron las propuestas de preguntas de Martos (2009), para la construcción de la misión de un grupo de trabajo; las preguntas estuvieron basadas y adaptadas para el contexto del cultivo de trucha arcoíris en la zona de trabajo, siendo las siguientes:

1. ¿Quiénes somos? Esta pregunta permitió identificar los talentos y capacidades de cada uno de los integrantes del grupo de trabajo.
2. ¿A que nos dedicamos? Esto para conocer el alcance de la actividad y cada una de las consecuencias que genera la actividad dentro del entorno social, productivo, turístico, económico y ambiental.
3. ¿Para qué lo hacemos? Para conocer las causas que inspiran a cada productor a realizar esta actividad.

Para la construcción de la visión, se respondieron las siguientes preguntas basadas y adaptadas en Martos (2009), donde las respuestas fueron de opción múltiple y abiertas.

1. ¿Cuánto tiempo tiene contemplado dedicarse a la actividad?
2. ¿Le gustaría que su familia continuara con la actividad?
3. ¿Le gustaría que su comunidad sea reconocida como un ejemplo de producción de trucha arcoíris en la Sierra Norte de Oaxaca?

10.2 Etapa 2 contextualización

10.2.1 Fase 5 Diagnóstico

10.2.1.1 Diagnóstico Social

En la recolección de información se utilizó el método de dialogo semi estructurado, propuesto por Geilfus (2002), que fue aplicado a los representantes de los grupos focales que integran las cuatro familias de los productores acuícolas, se hizo de manera virtual, por la aplicación Google Forms, recabando la información de las encuestas, para ser analizada posteriormente. La herramienta utilizada fue un guion de entrevista informal en donde plasmaron de manera escrita las preguntas que sirvieron como guía la cual se conformó de 10 preguntas sencillas con una duración de 10 a 15 min aproximadamente, por todo el bloque de preguntas. Las preguntas que se implementaron abarcaron tres ejes: social, productivo y ambiental.

10.2.1.2 Diagnostico Productivo

El diagnóstico del proceso productivo se realizó con un flujograma de producción en un taller participativo basándose en la metodología de Geilfus (2002) y con recorridos etnográficos en campo, con la finalidad de describir de manera esquemática y escrita cada una de las actividades del proceso productivo, se siguieron tres pasos para adecuar la descripción al cultivo de trucha arcoíris, los pasos fueron:

Paso 1. Convocar y reunir al grupo de representantes de las unidades acuícolas interesados en diseñar un plan de manejo para las aguas residuales del cultivo de trucha arcoíris de la comunidad.

Paso 2. Preguntar a los participantes: ¿por dónde empieza el proceso? Anotando la primera etapa del proceso productivo, pasando a las demás etapas una por una, plasmando la información en un material didáctico para escritura hasta terminar el proceso.

Paso 3. Pedir a los participantes su opinión sobre el ejercicio y si están de acuerdo con cada una de los pasos antes descritos. Se registraron Anotar los resultados y entregó una copia de la información recabada a los representantes de las UPA.

10.2.1.3 Diagnostico Ambiental

Para el diagnostico ambiental, se calcularon los residuos de alimento por ciclo de producción, mediante los indicadores de desechos propuestos por Merino et al. (2013), quienes determinaron que por cada kg de trucha arcoíris se necesitan 1.4 kg de alimento. Otro indicador para los desechos aplicado fue el aprovechamiento del alimento balanceado que es transformado por el organismo, cuyos intervalos son tanto de 25-35 % se transforma en carne y del 75-65 % son desechos conformados por carbono, fósforo y nitrógeno, elementos que forman parte del alimento no capturado, fecas no digeridas y excretas (Folke y Kautsky, 1989; Buschmann et al., 1996).El cálculo de estos indicadores se basó en los resultados del diagnóstico productivo, donde se obtuvo la cantidad aproximada de alimento utilizado en las unidades de producción acuícolas objeto del estudio.

De igual manera se analizó la calidad del agua residual de dos unidades de producción: “El Cajete” y “Rancho Cara de León”, las cuales se encuentran aguas abajo en cuanto a la ubicación de las UPA en la comunidad. Se analizaron ocho parámetros físicos, químicos y biológicos de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, estos fueron considerados de acuerdo a los antecedentes del tipo de residuos que se generan en el agua durante el proceso productivo del cultivo de la trucha arcoíris. El motivo por el cual solo se analizaron dos unidades de producción, fue que; durante el presente estudio estaba en su apogeo la pandemia ocasionada por el SARVS- COV. -2, por lo que la comunidad solo permitió el acceso a las dos unidades de producción antes mencionadas.

10.3 Etapa 3. Fortalecimiento de habilidades

10.3.1 Fase 6. Proceso de apertura de conocimientos

En esta etapa se implementó el método de aprendizaje 4 MAT (Rasilla-Cano, 2017) en el ciclo “El retorno del agua”, el cual es un diseño de intervención educativa enfocada en el desarrollo de habilidades para el uso correcto del agua en productores acuícolas en edad adulta (Anexo 7), el documento incorpora cada uno de los estilos de aprendizaje de los participantes, con la finalidad de involucrar de manera activa a los participantes.

Los resultados del proceso de apertura de conocimientos funcionaron como base para el diseño de las acciones del plan de manejo de las aguas residuales del cultivo. El cual consistió en propuestas para la mitigación y compensación del impacto ambiental generado por la actividad.

10.4 Etapa 4. Diseño

10.4.1 Fase 7. Redacción de las propuestas de manejo

La redacción de las propuestas de manejo surgió al final del taller de intervención educativa derivado de la etapa tres de fortalecimiento de habilidades con los productores acuícolas para el manejo adecuado del agua, es importante mencionar que las ideas de manejo surgieron de acuerdo a la infraestructura e insumos con los que cuentan, por lo que se llevó a cabo una mezcla de conocimientos entre especialistas del agua y los participantes, quienes fueron los representantes de las UPA y productores.

Fase 8. Plan de Manejo

Esta fase comprendió la elaboración del plan de manejo para las aguas residuales del cultivo. Dicho plan cuenta con las etapas de mitigación y compensación de acuerdo con los resultados del diagnóstico, además de los resultados del proceso de apertura de conocimientos.

Fase 9. Evaluación

Como última fase se contempló la evaluación de cada uno de los objetivos específicos realizados, los cuales fueron; participación, solidaridad, trabajo en equipo, sustentabilidad ambiental y adopción de prácticas sustentables del agua, basándose en los criterios de la economía social y solidaria, con la finalidad de visualizar los avances y aportaciones del presente trabajo a los productores acuícolas de la agencia municipal de Latuvi.

11. RESULTADOS

Etapa 1. Pre investigación

Fases 1 y 2. Demanda directa y planteamiento del problema

De acuerdo con la problemática existente, surgió la demanda de atención directa de los productores acuícolas, para lo cual se buscaron estrategias desde la perspectiva económica y ambiental para solucionar la problemática del efecto negativo que tienen las descargas de

aguas residuales del cultivo de trucha arcoíris, con la finalidad de evitar el impacto al medio ambiente y las posibles sanciones económicas por CONAGUA por descargas de aguas residuales.

Fase 3. Delimitación

El análisis FODA se realizó por el facilitador y validó por los productores en una reunión virtual en el mes de febrero del 2021 por la plataforma ZOOM, debido a que en la fecha que se realizó no se permitía la concentración de personas en la agencia municipal Latuvi por las restricciones sanitarias. Como se puede observar en el Cuadro 5 las principales fortalezas con las que cuentan los productores para realizar el cultivo de la trucha arcoíris son: a) habitan en un lugar óptimo para el desarrollo de la especie, b) creciente aumento de la demanda por consumo, c) experiencia en el manejo de la trucha arcoíris y d) cierto grado de consolidación del grupo de productores. Las debilidades importantes son a) desconocimiento de la normativa del uso del agua, b) desconocimiento del impacto ambiental del cultivo y c) falta de manejo adecuados para las descargas de aguas residuales del cultivo. La oportunidad importante es la disponibilidad de apoyos de instituciones nacionales e internacionales, organizaciones no gubernamentales y gubernamentales, la sociedad civil y otros organismos, de acuerdo con el requerimiento de los productores y los recursos existentes. Las amenazas de tipo ambiental como la posible saturación de nutrientes en el ecosistema y legislativo (sanciones por no cumplir con la normativa) son las que más afectan al sector acuícola además de la escasez de agua, cambio climático, normativa del uso del agua y sanciones por deterioro ambiental.

Cuadro 5. Análisis FODA del grupo de representantes de cuatro unidades de cultivo de trucha arcoíris de la agencia municipal Latuvi, municipio Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.

FORTALEZAS	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
Condiciones ambientales óptimas.	Desconocimiento de la normativa del uso del agua.	Apoyo de instituciones nacionales, internacionales, organizaciones gubernamentales, sociedad civil etc.	Escasez de agua. Cambio climático.
Aumento de demanda del producto.	Desconocimiento del impacto ambiental del cultivo de trucha.	Existencia de profesionales especialistas en sanidad, inocuidad, administración, manejo del cultivo, gestión, legislación y otras disciplinas.	Normativa del uso del agua que hace vulnerable el cultivo de trucha.
Conocimiento del manejo del cultivo.	Las unidades acuícolas no tienen sistemas de tratamiento de aguas residuales.	Oferta de capacitación en sanidad, inocuidad, administración, manejo del cultivo, gestión, legislación y otros temas.	Sanciones por deterioro ambiental.
Cierto grado de cohesión del grupo.			

El Cuadro 6 muestra la priorización de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del análisis FODA a corto plazo (tres años) y su importancia de acuerdo a la consideración del grupo de representantes de las cuatro unidades de cultivo de trucha arcoíris de la agencia municipal Latuvi. En fortalezas, las condiciones ambientales óptimas y la demanda en aumento del producto fueron las que obtuvieron mayor calificación (5). En debilidades el desconocimiento de las consecuencias ambientales que genera la actividad fue la calificada como la más alta (5). En oportunidades los técnicos de apoyo del gobierno, hasta hace algunos años y la oferta de capacitación fueron consideradas como las más importantes para los productores (5). El cambio climático y la escasez de agua fueron las amenazas inmediatas consideradas por los productores que afectan el cultivo de la trucha arcoíris.

Cuadro 6. Priorización a corto plazo de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del análisis FODA, según sus calificaciones de importancia (valores de 0-5, donde 0= sin importancia y 5= la mayor importancia) del grupo de representantes de cuatro unidades de producción acuícola.

PRIORIZACIÓN	
	FORTALEZAS
Condiciones ambientales optimas.	5
Demanda en aumento del producto.	5
Conocimiento del manejo del cultivo.	4
Cierto grado de cohesión del grupo de trabajo.	4
	DEBILIDADES
Desconocimiento de las normativas aplicables para el uso del agua.	4
Desconocimiento de las consecuencias ambientales que genera la actividad.	5
No se cuenta con un sistema adecuado para el tratamiento de sus aguas residuales.	4
Exceso de confianza.	3
	OPORTUNIDADES
Apoyo de diferentes instancias.	3
Técnicos de apoyo.	5
Oferta de capacitación.	5
	AMENAZAS
Escasez de agua.	5
Cambio climático.	5
Normativas para el uso del agua que ponen en riesgo la actividad.	4

Fase 4. Consolidación de grupo

Los resultados de las preguntas de la misión y visión de las encuestas electrónicas que se realizaron en febrero del 2021 a los representantes de las cuatro unidades de cultivo de trucha arcoíris de la agencia municipal Latuvi, fueron: los cuatro representantes consideran que su mayor fortaleza es la experiencia en el cultivo de trucha arcoíris, porque es su principal actividad productiva y fuente de ingresos, siendo su segunda actividad la agricultura; por lo tanto, pretenden dedicarse a la piscicultura toda su vida y su deseo es que su familia conserve esta actividad por varias generaciones; también les gustaría ser un ejemplo de producción de trucha a nivel regional y estatal. El 75 % de ellos están dispuestos a establecer medidas de prevención y mitigación para reducir el impacto al medio ambiente, y el 25 % mencionó que tal vez podrían aplicar dichas medidas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Preguntas y respuestas de la misión y visión de los representantes de cada unidad de producción acuícola (UPA) de la agencia municipal Latuvi, 20 de febrero del 2021.

Preguntas	UPA	UPA	UPA	UPA
	El Manzanal	El Cajete	Rancho Cara de León	El Rincón de Linda Vista
¿Fortalezas y actividad principal?	Experiencia Cultivo de trucha arcoíris	Igual	Igual	Igual
¿Para qué lo hace?	Sustento de la familia	Igual	Igual	Igual
¿Hasta cuándo quiere dedicarse a la actividad?	Toda la vida	Igual	Igual	Igual
¿Le gustaría que su familia continuara con la actividad?	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Le gustaría que la comunidad sea un ejemplo	Sí	Sí	Sí	Sí

de producción de trucha a nivel estatal?

¿Tiene disposición para adoptar de medidas de mitigación al medio ambiente por la actividad?

Tal vez

Sí

Sí

Sí

Una vez concluido el proceso anterior se redactó y validó la misión y visión de las cuatro unidades de cultivo de trucha arcoíris, con la finalidad de consolidar a sus miembros, quedando de la siguiente manera:

Misión. Ofrecer un producto de calidad en el mercado local y regional para aportar al desarrollo de la economía familiar y fomentar la sustentabilidad del cultivo de trucha, este fomento con el fin de reducir el impacto al medio ambiente y contribuir significativamente a la seguridad alimentaria de las comunidades rurales de la región de la Sierra Norte de Oaxaca.

Visión. Ser una comunidad rural líder en la producción de trucha arcoíris en el estado de Oaxaca, encaminando la actividad piscícola hacia la sustentabilidad y siendo un ejemplo para otras unidades de producción de trucha de la región de la Sierra Norte de Oaxaca.

Etapa 2. Caracterización

Fase 5. Diagnóstico

5.1 Social

Los resultados de las entrevistas semi estructuradas de los representantes de las cuatro unidades de cultivo de trucha arcoíris son los siguientes:

Los ocho productores (100 %) son de origen étnico zapoteco. Todos los representantes son varones y sus edades oscilan entre los 50 y 70 años ; el número de personas de cada familia en promedio es de siete y en una unidad trutrícola el número máximo de integrantes es de siete y el menor número es tres; la mano de obra está conformada en un 95 % por familiares, siendo las mujeres quienes realizan las labores diarias, como la alimentación, limpieza y cosecha; el cultivo de la trucha arcoíris es su principal actividad productiva, pero también realizan otras actividades productivas primarias, como el cultivo de maíz, hortalizas, frutales y frijol; la mayor producción promedio es de ocho t/año y la menor es de tres t/año. El 100 % de los productores acuícolas han escuchado alguna vez el termino de contaminación, al

menos una vez; el 50 % sabe que el cultivo de trucha arcoíris podría afectar al medio ambiente, el otro 50 % no conoce si estos cultivos tienen efectos negativos; y el 100 % de los productores tiene la disponibilidad para realizar un manejo adecuado de las aguas residuales de sus cultivos trutícolas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Preguntas y resultados de las entrevistas semiestructuradas a los representantes de las cuatro unidades de cultivo de trucha arcoíris de la agencia municipal Latuvi.

Pregunta	Unidad	UPA “El Manzanal”	UPA “Rancho Cara de León”	UPA “El Cajete”	UPA “El Rincón de Linda Vista”
Cantidad de personas que integran su familia.	número	7	7	7	4
Edad del representante de la UPA.	años	58	68	55	59
Familiares dedicados cultivo de trucha.	número	7	4	4	3
Años dedicados al cultivo de trucha.	años	15	18	15	14
Capacidad de producción anual promedio.	t	8	5	8	7
Cultivos secundarios.	Tipo de cultivo	Maíz, frijol, hortalizas y árboles frutales	Igual	Igual	Igual
¿Participará en la elaboración del plan de manejo?	-	Tal vez	Sí	Sí	Sí
¿Alguna vez ha escuchado el término de contaminación ambiental?	-	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Conoce si el cultivo de la trucha tiene algún impacto al medio ambiente?	-	No	Sí	Sí	No

En las unidades de producción con las que se colaboró, todos los representantes son varones (adultos mayores), la mano de obra está conformada en un 95 % por familiares, siendo las mujeres en mayoría quienes realizan las labores diarias como lo son la alimentación, limpieza y cosecha.

5.2 Productivo

El taller participativo del diagnóstico productivo se llevó a cabo con las medidas de prevención contra el COVID, se hizo en la unidad acuícola “Rancho Cara de León” el ocho de junio del 2021, donde cada uno de los productores elaboró su esquema productivo, con el acompañamiento de la facilitadora.

En un año el número promedio de juveniles de trucha arcoíris sembrados en cada unidad de producción es de 10,000 juveniles de una talla de 4-5 cm, estimando una tasa de mortalidad del 10 %, debido a labores de manejo y cambios ambientales.

De acuerdo con el número de juveniles de trucha arcoíris sembrados en cada unidad piscícola junto con los truticultores, se estimaron los insumos utilizados por cada unidad de cultivo. La infraestructura básica de cuatro unidades trutícolas se compone de estanques de material de concreto y ladrillo, que son circulares y rectangulares, cuyas características se encuentran en el Cuadro 9, este cuadro muestra el gasto promedio de agua por unidad (18 l/seg el máximo y 15 l/seg el mínimo), como los principales insumos que se utilizan durante el proceso productivo, siendo el alimento el principal.

Cuadro 9. Gasto de agua promedio (l/seg), estanques (tipo, número y medidas) e insumos de cuatro unidades trutícolas de la agencia municipal Latuvi.

Nombre de unidad acuícola	Gasto de agua promedio(l/seg)	Infraestructura	Principales insumos utilizados
“El Manzanal”	18	9 estanques circulares cada uno de 6 m de diámetro 1 estanque rectangular 6 m de ancho, 1.20 m de profundidad y 10 m de largo.	Agua Cal Sal Alimento balanceado Antibióticos (en caso de requerirse, debe ser diagnosticado y aplicado por el Comité de Sanidad Acuícola de Oaxaca (COSIA).

"Rancho Cara de León"	15	2 estanques circulares cada uno de 8 m de diámetro	Los mismos
		2 estanques circulares cada uno de 6 m de diámetro	
		2 estanques circulares cada uno de 5 m de diámetro	
		1 estanque circular 4 m de diámetro	
		2 estanques rectangulares cada uno de 5 m de largo, 4 m de ancho y 1.20 de profundidad.	
"El Cajete"	18	7 estanques circulares cada uno de 7 m de diámetro	Los mismos
		4 estanques circulares cada uno de 5 m de diámetro	
Unidad acuícola "El Rincón de Linda Vista"	17	6 estanques circulares cada uno de 6 m de diámetro	Los mismos
		2 estanques circulares cada uno de 4 m de diámetro	
		1 estanque redondo de 1 m de diámetro	
		1 estanque rectangular de 9x6 m	
		2 estanques cada uno rectangulares de 4x2 m	

Se describen cada una de las cinco fases del proceso de producción de trucha arcoíris de las cuatro unidades acuícolas, resultado del taller participativo.

▪ **Acondicionamiento**

El objetivo es mantener y procurar la sanidad e inocuidad de las UPA, lo que previene enfermedades en los peces y permite un buen desarrollo de los mismos. Se utilizan los siguientes recursos:

- Cal. En promedio 15 kg para esterilizar todos los estanques, preparándose de la siguiente manera:

Paso 1. Con los estanques sin agua y una escoba dedicada exclusivamente para la limpieza se asean los excedentes de basura, como hojas, palos y tierra.

Paso 2. Mezclar cuatro kg de cal en 20 l de agua en una cubeta, revolver hasta obtener una solución espesa y homogénea, con la ayuda de una escoba comenzar a esparcir el agua con la cal en toda el área del estanque, a fin de que las paredes queden “pintadas de blanco” con la solución.

Paso 3. Dejar secar al sol el fondo del estanque por lo menos tres días antes de la siembra de los juveniles.

Paso 4. Un día antes de la siembra implementar el lavado de cada estanque para la eliminación del exceso de cal.

Paso 5. Llenar con agua los estanques destinados para la siembra, un día antes de esta actividad.

La esterilización de los estanques se realiza una vez por cada siembra (cada 10 meses), el agua de los estanques es por flujo continuo con un gasto un promedio de 12.4 l/seg.

- **Siembra cuarentena**

Los truticultores previamente deben elegir el proveedor de juveniles, el cual debe contar con los certificados del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) de incubación y transporte que son: a) certificado para unidades de cuarentena y b) permiso de movilización de especies acuáticas vivas; con la finalidad de asegurar que los organismos estén libres de enfermedades y así ofrecer un producto sano e inocuo a los consumidores. Para la siembra de “semilla” (juveniles) de trucha arcoíris, los piscicultores deben tener la cantidad de alimento de crianza que necesitarán, por ejemplo, 10,000 juveniles sembrados se alimentan con 50 kg de alimento de crianza de 1.5 mm de diámetro para un periodo de 45 días, cuando los peces son alimentados de tres a cuatro veces al día.

La cuarentena es muy importante, debido a que es donde se detecta si el lote sembrado proviene con algún tipo de enfermedad que pueda dispersarse en la unidad acuícola, por lo

que el productor esté atento a cualquier síntoma anormal que puedan presentar los organismos recién sembrados.

- **Crianza**

Tiene una duración de 45 días y se utilizan 120 kg de alimento con una medida de 2.5 mm de diámetro. La alimentación se realiza tres veces al día, procurando distribuir uniformemente el alimento en todo el estanque, con la finalidad de procurar el crecimiento homogéneo de los animales.

- **Desarrollo**

Los peces ingieren alimento balanceado, para que tengan un mayor crecimiento en talla y peso, se utilizan en promedio 700 kg promedio del tamaño de 3.5 mm de diámetro durante 60 días; en esta etapa se alimenta dos veces al día, procurando la distribución uniforme del mismo, con la finalidad de obtener tallas similares durante el desarrollo.

- **Engorda**

Los peces se alimentan y cuidan hasta conseguir la talla comercial, se utilizan 1,200 kg de alimento con un tamaño de partícula de 5.5 mm de diámetro durante 90 días, esta talla la alcanzan en promedio en ocho meses, sin embargo, el lote no es comercializado en su totalidad en el octavo mes, ya que la venta es paulatina y la alimentación se puede prolongar hasta tres meses más, ocupando una cantidad adicional de 1,050 kg de este mismo tipo de alimento.

Las marcas de alimento más utilizadas por los productores de trucha arcoíris en Latuvi son El Pedregal (Silver Cup) y Nutripec (Purina), la primera es la preferida por estos productores, debido a que las truchas consiguen mayor velocidad de crecimiento, aunque es más difícil la disponibilidad en el mercado del estado. La cantidad de alimento total es 3,120 kg aproximadamente por cada ciclo de producción. En la Figura 8 se presenta la cantidad de alimento administrado, consumido y desechado para producir 3,100 kg de carne de trucha arcoíris.

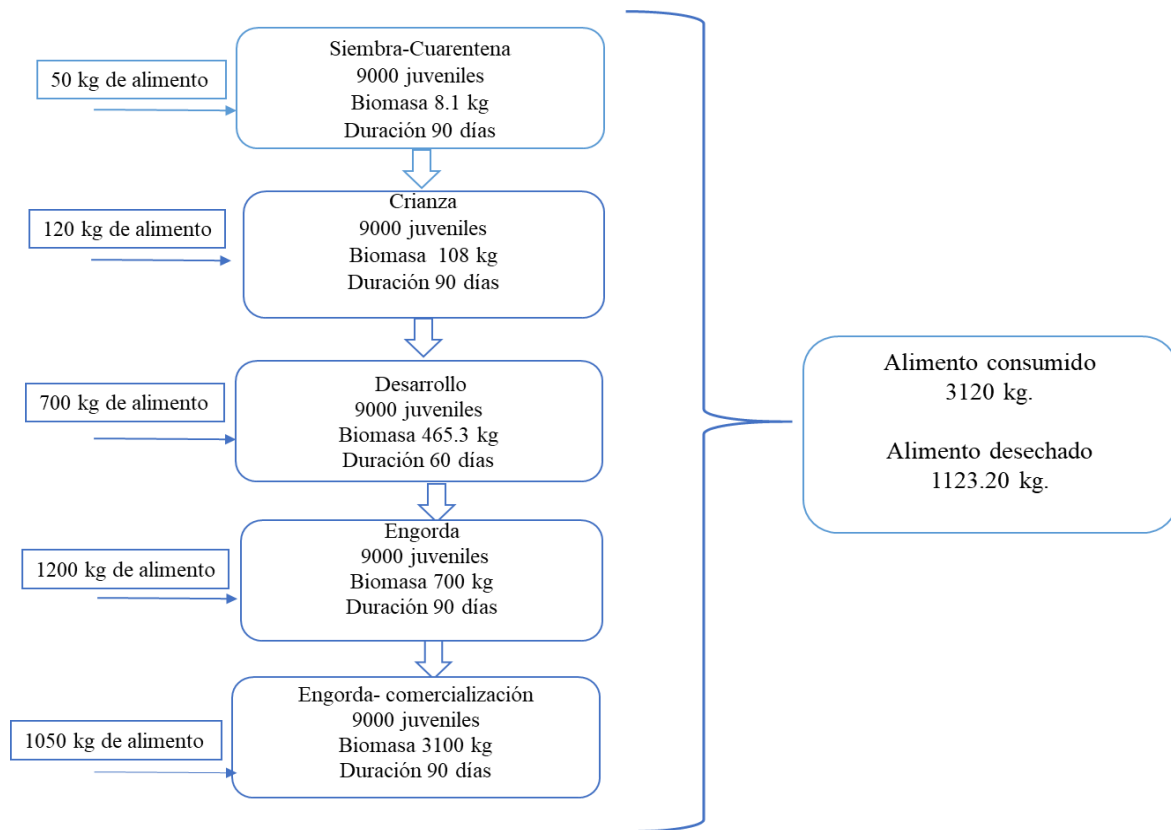


Figura 8. Cantidad de alimento proporcionado, comido y desechado para 3,100 kg de trucha arcoíris. Elaboración propia con los resultados del taller participativo con los representantes de cuatro unidades trutícolas de la agencia municipal Latuvi, realizado el 08 de junio del 2021 en la UPA “Rancho Cara de León”. Biomasa=Peso total promedio de los organismos vivos en una producción acuícola (kg).

5.3 Ambiental

El diagnóstico ambiental se realizó en dos unidades acuícolas, debido a que estas forman parte de los pueblos mancomunados, la comunidad otorgó acceso solo a dos unidades trutícolas durante la pandemia COVID, siendo los resultados los siguientes:

- Unidad acuícola “El Cajete”

El muestreo de la calidad del agua del cultivo se llevó a cabo el 17 de septiembre del 2021, comenzado a las 8:10 a. m., los puntos de muestreo en cada unidad acuícola fueron en la entrada del agua hacia la UPA, la salida de los estanques y la laguna de sedimentación. Para el muestreo del agua se utilizaron los siguientes materiales y equipos: dos garrafas de 1.5 l de capacidad para transportar las muestras a laboratorio, 4 cubetas de 10 l, guantes de látex, hielera, termómetro marca Taylor de mercurio con un intervalo de -30 a 50 °C, tiras de pH marca Mquant (0-14 intervalo de medición), así como un potenciómetro portátil marca

Rabbitstorm con un intervalo de 0-14, oxímetro portátil marca Hanna Modelo HI 9146 AZ 8403, medidor digital de conductividad eléctrica (TDS) marca Dinner modelo TDS meter y un cono Imhoff marca Thermo Scientific de 1 l de capacidad para la medición de sólidos sedimentables.

El muestreo de coliformes totales y fecales se realizó en la salida de los estanques, el 29 de noviembre de 2021, para las muestras de agua se utilizaron dos garrafas de plástico de 1.5 l de capacidad, estas garrafas con muestras de agua se pusieron en hielo y fueron transportadas al laboratorio de la Comisión Estatal del Agua (CEA), Departamento de Operación y Mantenimiento de la Calidad del Agua, ubicado en San Juan Bautista “La Raya”, Oaxaca.

Como se puede observar en el Cuadro 10, de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, la mayoría de los parámetros analizados no rebasan los límites máximos permisibles, a excepción de coliformes totales y fecales. En plan de manejo se centró en este último, con la finalidad de cumplir con la normatividad para la actividad respecto al uso del agua.

Cuadro 10. Análisis de la calidad del agua de la unidad acuícola “El Cajete” en la agencia municipal Latuvi realizados el 17 de septiembre y 29 de octubre de 2021.

PARÁMETRO	NORMA MEXICANA Y MATERIAL O EQUIPO	ENTRADA (Estanques de agua)	HORA	SALIDA (Estanques de agua)	HORA	LAGUNA DE SEDIMENTACIÓN	HORA
Temperatura In situ	NMX-AA-007 Aguas Termómetro de mercurio	14 °C	08:14 a.m.	14 °C	8:45 a.m.	14 °C	9:23 a.m.
pH In situ	NMX-AA-008 Aguas Potenciométrico portátil	7	8:16 a.m.	6.5	8:53 a.m.	7	09:30 a.m.
Oxígeno disuelto In situ	NMX-AA-012 Oxímetro	18.17 %	08:20 a.m.	17.2%	8:49 a.m.	15.2%	09:25 a.m.
Sólidos sedimentables In situ	NMX-AA-004 Método del cono Imhoff	0.1 mg/l	08:09 a.m.	0.1 mg/l	09:20 a.m.	7 mg/l	10:27 a.m.

TDS (Total de sólidos disueltos) In situ	Medición digital	075 ppm	08:12 a.m.	076 ppm	08:50 a.m.	077 ppm	9:27 a.m.
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) Ex situ	NMX-AA-028 Método de incubación por diluciones	13.0	11:40 a.m.	6.8	11:46 a.m.	94.52	12:05 p.m.
DQO (Demanda química de oxígeno) Ex situ	NMX-AA-030 Método de tubo sellado a pequeña escala	19.0	11:40 a.m.	10.0	11:46 a.m.	139.0	12:05 p.m.
Coliformes totales Ex situ	NMX-AA-042 Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales.			≥2400	01:15 p.m.		

Como se puede observar en las Figuras 9, 10, 11 y 12, todos los parámetros fueron muestreados con el apoyo de dos especialistas y un miembro de la UPA. La zona de la laguna de sedimentación solo fue muestreada para esta unidad acuícola, debido a que es la única que la tiene.



Figura 9. Preparación de la muestra por el productor para sólidos sedimentables en la UPA “El Cajete”.



Figura 10. Preparación de la muestra por el técnico para sólidos sedimentables en la UPA “El Cajete”.



Figura 11. Medición de la temperatura del agua en la UPA “El Cajete”.



Figura 12. Medición de gasto de agua en los estanques de entrada en la UPA “El Cajete”:

- Unidad acuícola Rancho Cara de León

El muestreo de la calidad del agua del cultivo se llevó a cabo el 17 de septiembre del 2021, comenzado a las 11:00 a. m., los puntos de muestreo en cada unidad acuícola fueron en la entrada del agua hacia la UPA, la salida de los estanques y la laguna de sedimentación. Para

el muestreo del agua se utilizaron los siguientes materiales y equipos: dos garrafas de 1.5 l de capacidad para transportar las muestras a laboratorio, 4 cubetas de 10 l, guantes de látex, hielera, termómetro marca Taylor de mercurio con un intervalo de -30 a 50 °C, tiras de pH marca Mquant (0-14 intervalo de medición), así como un potenciómetro portátil marca Rabbitstorm con un intervalo de 0-14, oxímetro portátil marca Hanna Modelo HI 9146 AZ 8403, medidor digital de conductividad eléctrica (TDS) marca Dinner modelo TDS meter y un cono Imhoff marca Thermo Scientific de 1 l de capacidad para la medición de sólidos sedimentables.

El muestreo de coliformes totales y fecales se realizó en la salida de los estanques, el 29 de noviembre de 2021, para las muestras de agua se utilizaron dos garrafas de plástico de 1.5 l de capacidad, estas garrafas con muestras de agua se pusieron en hielo y fueron transportadas al laboratorio de la Comisión Estatal del Agua (CEA), Departamento de Operación y Mantenimiento de la Calidad del Agua, ubicado en San Juan Bautista “La Raya”, Oaxaca.

Como se puede observar en el Cuadro 11, de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, la mayoría de los parámetros analizados no rebasan los límites máximos permisibles, a excepción de coliformes totales y fecales, por lo tanto, el plan de manejo se centró en este último, con la finalidad de cumplir con la normatividad para la actividad respecto al uso del agua.

Cuadro 11. Análisis de la calidad del agua de la unidad acuícola “Rancho Cara de León” en la agencia municipal Latuvi realizados el 17 de septiembre y 29 de noviembre de 2021.

PARÁMETRO	NORMA MEXICANA Y MATERIAL O EQUIPO	ENTRADA (Estanques de agua)	HORA	SALIDA (Estanques de agua)	HORA
Temperatura In situ	NMX-AA-007 Aguas Termómetro de mercurio	11 ° C	11:00 a.m.	11.5 °C	12:00 p.m..
pH In situ	NMX-AA-008 Aguas Potenciométrico portátil	6	11:10 a.m.	6	12:15 p.m.
Oxígeno disuelto In situ	NMX-AA-012 Oxímetro	11.9%	11:20 a.m.	29 %	12:30 a.m.

Sólidos sedimentables In situ	NMX-AA-004 Método del cono Imhoff	0.1 mg/l	11:00 a.m.	0.2 mg/l	12: 00 p.m.
TDS In situ	Medición digital	040 ppm	11:30 a.m.	043 ppm	12:30 p.m.
DBO Ex situ	NMX-AA-028 Método de incubación por diluciones	2.4	11:35 a.m.	2.3	11: 50 a.m.
DQO Ex situ	NMX-AA-030 Método de tubo sellado a pequeña escala	5.0	11:40 a.m.	5.2	11:55 a.m.
Coliformes totales Ex situ	NMX-AA-042 Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales			≥2400	01:15 p.m.

El muestreo de coliformes totales y fecales se llevó a cabo en la salida de los estanques, el cual se realizó el 29 de noviembre de 2021, para las muestras de agua se utilizaron dos garrafas de plástico de 1.5 l de capacidad, estas garrafas con muestras de agua se colocaron en hielo y fueron transportadas al laboratorio de la Comisión Estatal del Agua (CEA), Departamento de Operación y Mantenimiento de la Calidad del Agua, ubicado en San Juan Bautista “La Raya”, Oaxaca.

En las Figuras 13, 14, 15 y 16 se puede observar cómo los parámetros fueron muestreados con el apoyo de dos personas miembros de las UPA, además del técnico-facilitador.



Figura 13. Medición de pH por el productor en la UPA “Rancho Cara de León”.



Figura 14. Agitación de la muestra de sólidos sedimentables en el agua, por el productor en la UPA “Rancho Cara de León”.



Figura 15. Preparación de la muestra de sólidos sedimentables en el agua por el productor en la UPA “Rancho Cara de León”.



Figura 16. Preparación de la muestra de sólidos sedimentables en el agua por el productor en la UPA “Rancho Cara de León”.

Etapa 3. Fortalecimiento de habilidades

Fase 6. Proceso de apertura de conocimientos

El taller participativo se llevó a cabo el día 30 de noviembre del 2021 en la unidad acuícola “Rancho Cara de León” con la participación ocho personas que forman parte de las cuatro unidades acuícolas del estudio, para lo cual se llevó cabo la implementación de la metodología MAT (Rasilla-Cano, 2017), con la intervención educativa que llevó por nombre “El retorno del agua”, siendo los resultados los siguientes, de acuerdo con la herramienta de evaluación aplicada (Figura 17).

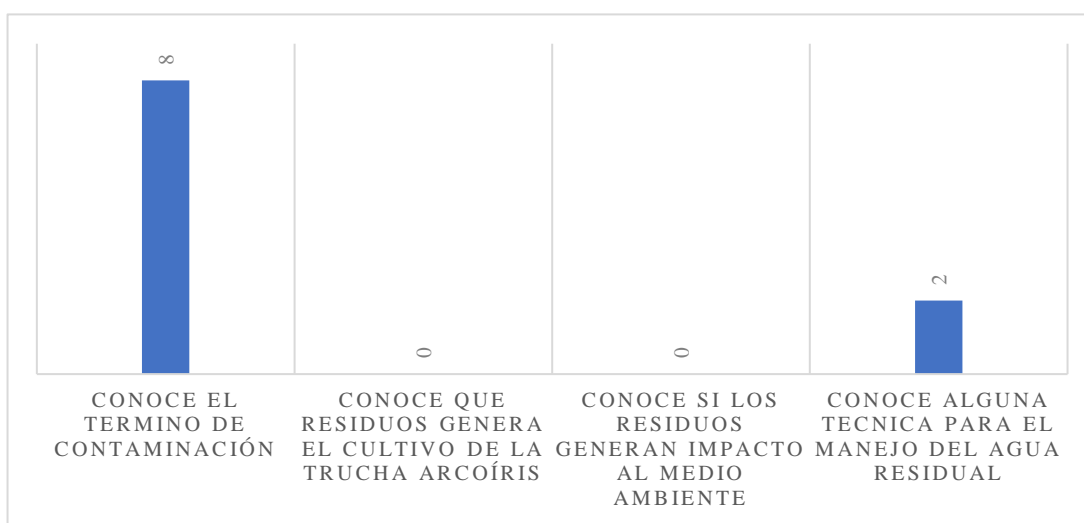


Figura 17. Resultados de la evaluación inicial de la intervención educativa “El retorno del agua”, realizada el 30 de noviembre de 2021 en la UPA “Rancho Cara de León”.

Como se puede observar en la Figura 17, la herramienta de evaluación inicial mostró que de los ocho participantes en el taller, seis habían escuchado hablar sobre el término de contaminación, dos conocían o habían escuchado hablar de alguna técnica para el manejo del agua residual del cultivo de la trucha arcoíris y ninguno conocía los residuos que genera el cultivo de la trucha arcoíris, ni el impacto que existe al medio ambiente por la actividad.

La herramienta de evaluación final implementada (Figura 18) muestra que todos los participantes, después de la aplicación del taller, comprendieron de manera básica el término de contaminación, además de identificar los residuos que son generados por la actividad, así como lo impactos que se generan al medio ambiente por el cultivo de la trucha. De igual

manera aprendieron las técnicas básicas para el filtrado de los residuos durante el desarrollo del taller (Figuras 19-22).

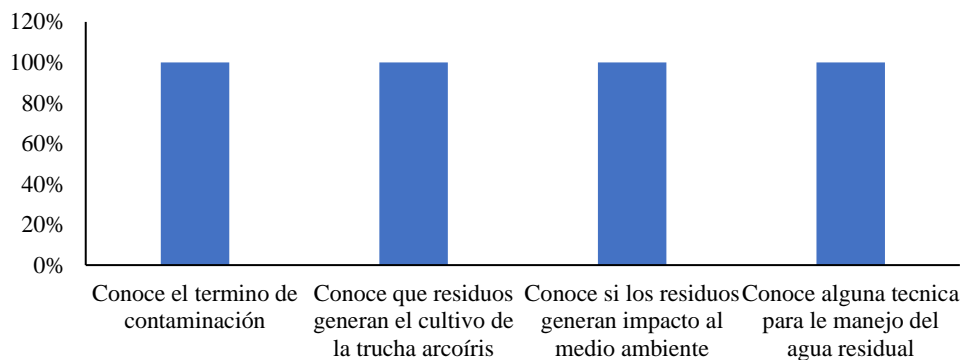


Figura 18. Resultados de la evaluación final de la intervención educativa “El retorno del agua”, realizada el 30 de noviembre de 2021 en la UPA “Rancho Cara de León”.



Figura 19. Proceso de extensión de conocimientos por el facilitador a los productores en la UPA “Rancho Cara de León”.



Figura 20. Elaboración de filtros didácticos con el grupo de trabajo en la UPA “Rancho Cara de León”.



Figura 21. Proceso de filtrado con fines didácticos en la UPA “Rancho Cara de León”.



Figura 22. Aplicación de la encuesta de evaluación final en la UPA “Rancho Cara de León”.

Etapa 4. Diseño

Fase 7. Redacción de las propuestas de manejo

Una vez implementado el taller participativo, al final surgieron las propuestas de los productores para el manejo del agua residual en sus cultivos, siendo las siguientes que se exponen en el Cuadro 12. Como se puede observar las UPA “El Manzanal”, “Rancho Cara de León” y “El Rincón de Linda Vista” contemplan implementar manejo en el agua residual de sus cultivos en un mediano plazo, la UPA “El Cajete” ejecutará a corto plazo. Todos cuentan con la disponibilidad de materiales en la comunidad, además de que comprendieron de manera básica el concepto de sustentabilidad aplicado al cuidado del medio ambiente derivado del cultivo de la trucha arcoíris.

Cuadro 12. Propuestas de manejo del agua expresadas por los productores derivadas de su proceso de aprendizaje de la comunidad de Latuvi, el día el 30 de noviembre de 2021 en la UPA “Rancho Cara de León”.

Nombre de la unidad	Interés de instalación de filtros en la upa	Propuesta de manejo	Lapso de implementación	Disponibilidad de materiales en la comunidad	Comprensión básica del concepto de sustentabilidad
---------------------	---	---------------------	-------------------------	--	--

Unidad acuícola “El Manzanal”	Sí	Laguna de sedimentación, más tratamiento físico-biológico	Mediano plazo	Igual	Igual
Unidad acuícola “Rancho Cara de León”	Igual	Mecánico, obra de retención con materiales filtrantes	Mediano plazo	Igual	Igual
Unidad acuícola “El Cajete”	Igual	Laguna de sedimentación, más tratamiento físico-biológico	Corto plazo	Igual	Igual
Unidad acuícola “El Rincón de Linda Vista”	Igual	Mecánico, obra de retención con materiales filtrantes	Mediano plazo	Igual	Igual

Fase 8. Plan de Manejo

Esta fase consistió en proponer las acciones a ejecutar, las cuales conforman el plan de manejo para las aguas residuales en los cultivos de trucha arcoíris en la comunidad. Lo anterior basado en los procesos implementados anteriormente que involucraron, el diagnóstico social, productivo y ambiental, así como la consolidación y el proceso de aprendizaje con la participación de los productores.

Debido a que las UPA se encuentran activas en promedio desde hace 15.5 años la etapa de prevención ya no es posible de proponerse, por lo que las acciones se diseñaron para la mitigación y compensación.

8.1 Acciones para la etapa de mitigación

- a) Para disminuir la cantidad de excremento y alimento no consumido se propone realizar biometrías semanales para el ajuste adecuado de las tasas de alimentación en el cultivo, además de evitar la saturación de los sistemas, para esto es necesario conocer detalladamente la capacidad máxima productiva de las UPA.
- b) Disminuir el volumen de agua residual implementando un sistema de recirculación, el cual debe cumplir con los parámetros específicos para el cultivo de la trucha arcoíris, siendo los más importantes la temperatura y niveles de oxígeno.
- c) Recircular el agua al 80% cuidando que no se comprometa la producción, para esto es necesario contar con un equipo para la medición de oxígeno y temperatura, además de los equipos necesarios para llevar a cabo la recirculación como lo son bombas de agua eléctricas o a gasolina y manguera de PVC.

Además de mitigar el impacto ambiental que se genera por la actividad, con las acciones propuestas se disminuirán los costos de producción, debido al ahorro del alimento balanceado en un 20 % aproximadamente, además de los costos que se establecen por normativa para el aprovechamiento y descargas del agua, los cuales se disminuirán en 80 %, en caso de implementarse.

De acuerdo con los resultados obtenidos del diagnóstico ambiental de los parámetros analizados coliformes totales y fecales es el único que rebasó los límites máximos permisibles de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, por lo que a continuación se proponen las siguientes acciones con la finalidad de cumplir con lo que establece dicha normativa.

- d) Desinfección con cloro

Una vez analizados los diferentes sistemas de desinfección en áreas rurales que propone CONAGUA (2018b), para el presente trabajo se plantea la implementación de un sistema de desinfección con pastillas de hipoclorito de sodio, para lo cual se requiere un estanque de contacto y desinfección con las siguientes características de acuerdo con el flujo promedio de las UPA.

Se propone la construcción e implementación de un estanque rectangular con dimensiones de 4.35 m de ancho, 4.30 m de largo y 1.40 m de profundidad (Anexo 8). Se recomienda la

construcción de acuerdo con el presupuesto económico con el que se cuente y los materiales pueden ser de cemento, ferrocemento, gavión etc.

Para la desinfección se recomienda la aplicación semanal de seis pastillas de hipoclorito de sodio de siete gramos, suspendidas en la entrada del estanque con una malla flotante de tela o plástico.

Con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de cloro residual en el agua se recomienda como última etapa oxigenar el agua mediante gravedad, implementando una caída mínima de 1 m, con la colocación de piedras que permitan el choque de partículas eliminando el cloro residual, lo cual evitará la posible afectación de los ecosistemas por el compuesto químico.

8.2 Acciones para la etapa de compensación

En cuanto a la etapa de compensación esta tendrá la finalidad de amortizar los daños que llegasen surgir del cultivo de trucha arcoíris.

Para esto se proponen las siguientes acciones en la presente etapa.

- a) Debido a la gran cantidad de nutrientes que contienen los lodos derivados de la actividad, estos pueden ser utilizados en suelos principalmente con aptitudes agrícolas-forestales que requieran fertilización para el sembradío de cultivos y reforestación.
- b) Reforestación en las zonas aledañas a los ríos para promover la infiltración del agua, así como disminuir la erosión hídrica por la desembocadura constante de agua en las UPA, derivado del cultivo de la trucha arcoíris.

Fase 9. Evaluación

Esta fase contempló la evaluación de los objetivos específicos implementados con base en indicadores de la economía solidaria, para realizarlo se tomaron en cuenta el alcance y cumplimiento de los objetivos específicos del presente trabajo, en el Cuadro 13 se describe la evaluación de cada proceso implementado durante el presente estudio.

Cuadro 13. Proceso de evaluación de los procesos implementados con indicadores en economía solidaria, elaboración propia.

Resultado esperado	Línea base	Meta	Unidad de medida	Indicador	Medio de verificación
Un grupo de productores consolidados (Ob.1)	0	1	Número de productores participantes	Participación Solidaridad Trabajo en equipo	-Lista de asistencia -Encuestas electrónicas
Diagnóstico del grupo de trabajo realizado (Ob.2)	0	1	Número de productores participantes	Participación Solidaridad Equidad	-Bitácora de campo -Listas de asistencia -Encuestas -Análisis de laboratorio
Proceso de fortalecimiento de habilidades implementado (Ob.3)	0	1	Número de productores participantes	Trabajo en equipo Equidad Participación	-Bitácora de campo -Listas de asistencia -Evaluación inicial -Evaluación final
Plan de manejo elaborado (Ob.4)	0	1	Número de productores participantes	Productores que adoptan practicas sustentables en el manejo de agua Sustentabilidad ambiental (mediano plazo)	-Manual para el manejo del agua en los cultivos de trucha de la agencia de Latuvi.

El primer resultado esperado; un grupo de productores consolidados se evaluó con indicadores de economía social y solidaria como participación, solidaridad y trabajo en equipo. En total de productores involucrados fueron nueve, de los cuales, para este proceso participaron cinco (Figura 23), por lo que la asistencia fue de la mayoría de los miembros del grupo, la solidaridad y trabajo en equipo se observaron durante la aplicación de las encuestas ya que al ser a distancia (por la aplicación de Google-forms) los productores se cuestionaban el uno al otro de cómo responder dichos formularios o con apoyo de sus hijos y/o familiares, por lo que los indicadores de economía si se pudieron ver reflejados de manera clara.

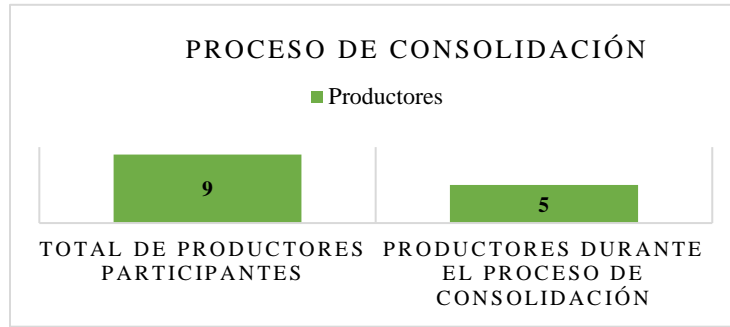


Figura 23. Evaluación del proceso de consolidación del grupo de trabajo, elaboración propia.

En el caso del cumplimiento del segundo resultado esperado, diagnóstico del grupo de productores realizado, para la evaluación de este proceso se aplicaron los siguientes indicadores de economía social y solidaria: *participación*, *solidaridad* y *equidad*, durante el proceso en el caso de la participación y la equidad se midió con el número de productores que asistieron de manera presencial o virtual, los resultados se pueden observar en la figura 24. Como se puede observar la equidad es baja, ya que la participación de las mujeres fue mínima.

La solidaridad se evaluó mediante la observación de manera directa la cual estuvo presente en todo momento debido a que el facilitador se percató de la comunicación antes y después de haber contestado las encuestas, así como el compartir del sentir particular de cada productor con la aplicación del instrumento.

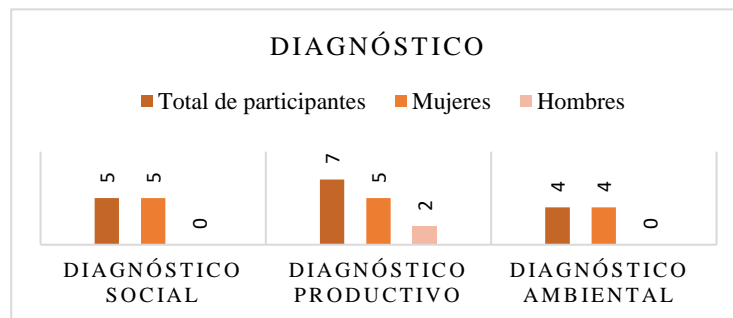


Figura 24. Evaluación del proceso de diagnóstico del grupo de trabajo, elaboración propia.

El proceso de fortalecimiento de habilidades implementado se evaluó con los indicadores de economía solidaria como: trabajo en equipo, equidad y participación. En la figura 25 se puede observar cómo en esta etapa la participación de las mujeres fue mayor que en los procesos

anteriores, por lo que la equidad se vio reflejada de manera clara. El trabajo en equipo se analizó mediante la observación durante el taller participativo, donde cada uno de los participantes colaboró el uno con el otro para realizar cada una de las actividades.

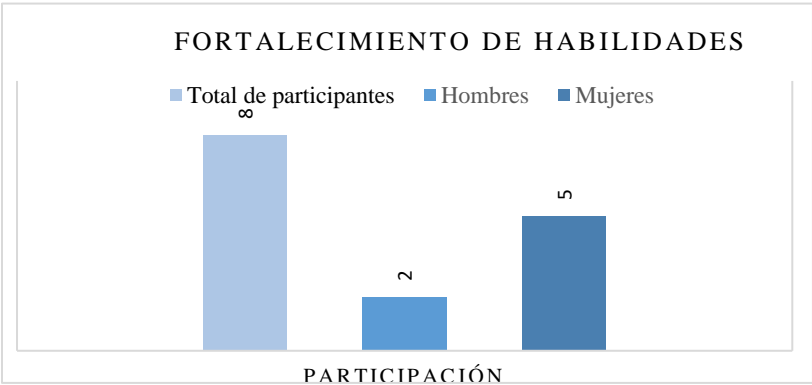


Figura 25. Evaluación del proceso del fortalecimiento de habilidades del grupo de trabajo.

La evaluación en la elaboración del plan de manejo llevo a cabo considerando el número de productores que adoptaron prácticas sustentables en el manejo del agua, lo cual se vio reflejado en el número de participantes que realizaron las propuestas al momento de diseñar el plan de manejo (Figura 26). En el caso del indicador de sustentabilidad, se consideró evaluarlo en un mediano plazo, para poder percatarse si existe un cambio para la mejora del recurso hídrico con el presente trabajo.

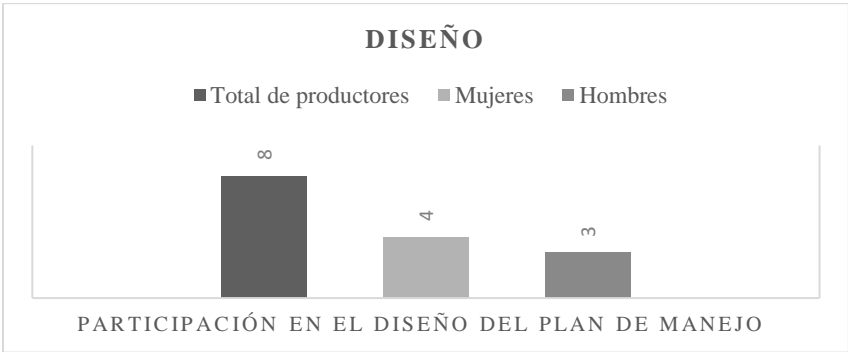


Figura 26. Evaluación del proceso de diseño del plan de manejo del grupo de trabajo, elaboración propia.

12. DISCUSIÓN

Para que el cultivo de la trucha arcoíris en Latuvi pueda alcanzar la sustentabilidad de manera integral es necesario considerar cada uno de los aspectos que forman parte de esta actividad productiva, por lo tanto, a continuación, se discuten y analizan las etapas de la intervención implementadas durante el desarrollo del presente trabajo.

Etapa 1. Pre investigación

De acuerdo con Ovando (2013), la acuicultura es una actividad que propicia el desarrollo económico de las personas involucradas de manera directa o indirecta, por lo que la preservación de la misma es primordial para favorecer el bienestar de las familias que se dedican a la misma. Debido a que la presente investigación nació de la demanda de atención directa de los productores trutícolas, se pudo constatar el interés por seguir practicando el cultivo de truchas, priorizando las actividades como el filtrado, desinfección y manejo alimentación adecuada, que fueron consideradas como las más importantes; esta importancia se centra en el aspecto económico, ya que es la principal fuente de ingresos para ellos y sus familias, de ahí la relevancia de crear soluciones para los problemas que afectan a sus unidades acuícolas.

Debido a lo anterior se hace énfasis en la organización social la cual es fundamental para poder cumplir con los objetivos de los piscicultores. El análisis FODA permitió conocer las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que tienen en sus cultivos de trucha, priorizando las que les afectan en un corto plazo. Ovando (2013) menciona que en los años 70's (siglo XX) cuando el cultivo de trucha arcoíris comenzó a tener auge en el mundo, no se consideraba ningún tipo de consecuencia ambiental, ya que solo importaba el desarrollo económico y social de la población humana; sin embargo desde hace más de una década esto ha cambiado en el mundo; ya que las personas dedicadas a la actividad acuícola han comenzado a tener mayor conciencia sobre el uso sustentable de los recursos naturales, para lo cual en los últimos diez años se han organizado socialmente, realizando acciones y gestiones necesarias en la acuicultura, priorizando el manejo sustentable de sus recursos naturales, como es el caso de los truticultores de Latuvi.

Una vez conociendo el contexto interno y externo de las unidades trutícola, se llevó a cabo la consolidación de los miembros de dichas unidades, para lo cual se obtuvo la misión y la visión que fomenta el trabajo colaborativo y la participación democrática. Como refiere Nava-Morales (2018) el trabajo colaborativo y la participación democrática son características propias de las comunidades rurales, por lo que Latuvi, al ser un pueblo indígena zapoteco y parte de los pueblos mancomunados de la Sierra Norte del estado de Oaxaca, representa claramente las características de la comunalidad, en cada una de las esferas sociales.

Etapa 2. Diagnóstico

Como lo menciona Martí-Olivé (2002) la IAP procura el involucramiento de un grupo de personas que tienen un objetivo en común, por lo que parte importante del presente trabajo fue la etapa de diagnóstico social, productivo y ambiental.

De acuerdo con Millán (2006), las relaciones de confianza son fundamentales para el desarrollo del capital social de un grupo. Debido a la antigüedad de producción de los productores acuícolas de la comunidad y al pertenecer a una misma comunidad, en ellos existe cierto grado de cohesión que les permite organizarse para poder cumplir con los objetivos que se dispongan de alcanzar, el diagnóstico social identificó las características familiares y personales de los productores, así como el grado de interés por resolver la problemática planteada, siendo el bienestar familiar el principal motivo para realizar el cultivo de la trucha arcoíris.

En el aspecto productivo las UPA de la comunidad de Latuvi, son semi intensivas de acuerdo a lo que propone FAO (2014), siendo la implementación de alimento artificial la labor principal del cultivo, cada una cuenta con pequeñas diferencias una de la otra en cuanto a infraestructura principalmente, esto se debe a la capacidad económica de los productores; ya que la mayoría de los estanques productivos, además del equipamiento son financiados por el truticultor, así como la totalidad de los insumos que son utilizados en el proceso productivo. El alimento balanceado representa el 70 % de los costos de producción del cultivo de trucha arcoíris, siendo la mayor inversión de los productores, en varias ocasiones no se encuentra el tamaño adecuado para la etapa de desarrollo del organismo, lo que puede llegar a comprometer la producción, además de la inversión y el beneficio económico esperado por

los productores acuícolas. Lo demás insumos utilizados en la producción son de fácil accesibilidad, entre ellos el agua que de acuerdo a las normativas de usos y costumbres por las que se rige la comunidad son gratuitos para el uso de la actividad, sin embargo al ser un recurso federal los productores acuícolas también cuentan con una concesión para uso en la actividad emitida por CONAGUA, de dicho trámite la información es poco clara o nula, por lo que los productores de origen indígena desconocen los derechos y obligaciones que derivan de dicho permiso, lo que resulta confuso y problemático para ellos.

Resultado del cálculo de los insumos utilizados existe una cantidad de residuos sólidos (sedimentos), derivados de la producción. De acuerdo con el índice propuesto por Folke y Kautsky (1989) y Buschmann et al. (1996), la cantidad de desechos por el cultivo de la trucha en la comunidad es de 1,123.20 kg por ciclo productivo (7-8 meses), por unidad de producción. En el estudio realizado por Wilfrido-Vázquez et al. (2016), el fósforo total es uno de los elementos con más concentración resultado de la acuicultura, por lo que en sistemas con agua lénticas como las lagunas pueden llegar a causar más afectaciones, a diferencia de aguas lólicas, como es el caso de la comunidad, debido a que el movimiento del agua permite la filtración natural de la misma. Otro punto importante es que, al existir una concentración considerable de fósforo y nitrógeno, estos sedimentos pueden ser utilizados como potenciales fertilizantes agrícolas, forestales y regeneradores de suelos en situación de degradación extrema.

En el aspecto ambiental de los ocho parámetros analizados, coliformes totales y fecales fue el que rebasó los límites máximos permisibles de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, siendo >2400 NMP, el resultado indicado en los análisis de laboratorio. Los coliformes son considerados organismos bioindicadores de la calidad del agua, se pueden encontrar de manera natural en el agua y suelo, regularmente son habitantes del tracto digestivo de animales homeotermos (mamíferos), pero también pueden ser hospederos de otros seres vertebrados como los peces, esto dependerá de la calidad del agua en la que estos se desarrollen (Cruz-Lombardo, 2018). Para el cultivo de la trucha arcoíris, el impacto se ve reflejado en la calidad del agua residual del cultivo. Esta contaminación puede originarse por diferentes causas ya que, al tomarse el agua de fuentes superficiales, es probable que organismos

silvestres depositen sus heces cerca de los márgenes del río, pudiendo ser una causa de la alteración en este parámetro, por el lavado que existe de manera natural en la cuenca (bajada), debido a las condiciones topográficas del terreno. Después de 25 años la normativa NOM-001-SEMARNAT-2021 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022), sufrió una actualización eliminando el parámetro de coliformes totales y fecales como referencia, el lugar del anterior *Escherichia Coli* entra como análisis sustituyente, debido a la importancia médica de este microorganismo en el humano, aun así, los análisis realizados pueden indicar la presencia de la bacteria ya que es perteneciente al grupo los coliformes.

En el caso del cultivo de la trucha arcoíris en la agencia municipal de Latuvi, el agua es reutilizada en las unidades acuícolas por la ubicación en la que se encuentran y hasta el momento no ha existido ningún problema en cuanto a la producción derivado del reusó del agua.

Como lo menciona Phillips et al., (2017), la temperatura es considerada como un parámetro estricto para el cultivo de la trucha arcoíris (9-17°C), siendo uno de los indicadores con más relevancia, al igual que el pH, el cual debe estar en un rango de 6 a 9.5 óptimamente. En los análisis de laboratorio realizados para las UPA, la temperatura fue de 14°C en la unidad acuícola “El Cajete” y de 11.25°C promedio para la UPA “Rancho Cara de León”. En el caso de la turbidez el parámetro analizado más cercano fue sólidos sedimentables, el cual se encontró muy por debajo de los límites máximos permisibles con 0.1 mg/l en la UPA “El Cajete” para la entrada y salida y 7 mg/l en la laguna de sedimentación, situación lógica debido a que ahí es donde se depositan de los residuos del cultivo en la unidad. Para el caso de la UPA “Rancho Cara de León”, los valores fueron; 0.1 mg/l en la entrada y 0.2 mg/l en la salida, estando por debajo de los valores que marca la normativa para la descarga de aguas de uso agrícola en ríos (2 mg/l).

De acuerdo a la actualización de la NOM-001-SEMARNAT-2021, que entrará en vigor el tres de abril del 2023, la variabilidad de los resultados de acuerdo a los parámetros medidos y sus respectivas modificaciones son que: oxígeno disuelto, sólidos sedimentables, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales, ya no están contempladas en las nuevas actualizaciones de la norma, aun así, existe un enlace con los nuevos parámetros de mediciones establecidos, siendo, *E. coli* y color verdadero los que

guardan relación con los realizados en este trabajo. Sin embargo, el parámetro de Enterococos fecales, que pertenece a otra familia de bacterias, con el presente proyecto no se logró conocer si existen alteraciones por este último.

En cuanto a la problemática económica derivada del impacto ambiental que tiene el cultivo se debe considerar a la brevedad unificar los criterios administrativos del agua, así como de índole recaudatoria para la actividad, realizando estudios especializados para los cultivos acuícolas que permitan conocer el impacto real que tienen sobre los ecosistemas y así establecer el costo por deterioro ambiental adecuado, ya que en la actualidad estos no son claros y objetivos en cuanto a las cuotas, deducciones, exenciones exige la CONAGUA. En México el Senado de la República en el año 2016 aprobó una reforma en la Ley de Aguas Nacionales con la finalidad de impulsar la actividad, adicionando el concepto de “aprovechamiento de paso” en la acuicultura, lo que quiere decir que la cantidad de agua utilizada durante el proceso de producción no se pierde. En esta reforma se clasifica y prioriza a la acuicultura dentro las labores primarias al igual que la agricultura y la ganadería, por lo tanto, los costos del aprovechamiento del agua deberían ser iguales para la acuicultura al igual que en estas dos últimas, situación que a la fecha no se ha actualizado en la Ley Federal de Derechos, la cual encarga de establecer y recaudar los costos para el uso del agua en el país, por lo que es necesario alinear y ejecutar simultáneamente la leyes y normas en cuanto al uso del agua en la acuicultura para evitar las problemáticas que presentan los productores para utilizar el recurso hídrico el cual es fundamental para desarrollar la actividad, además de que esta sea considerada plenamente dentro de las actividades productivas primarias en el país.

En el estado de Oaxaca solamente existe un laboratorio certificado por CONAGUA para realizar análisis de la calidad del agua. Dicho laboratorio se encuentra en la planta de PEMEX transformación industrial, refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime”, por lo que la disponibilidad para que los productores acuícolas realicen los análisis que les exige la normativa en materia de agua puede llegar a ser imposible debido a que es de uso exclusivo para labores petroleras y sus derivados, teniendo que buscar otras alternativas fuera del estado lo que les resulta complicado y costoso.

La evaluación de esta etapa con indicadores de economía social y solidaria evidencio mayor participación de los hombres que de las mujeres, por lo que la equidad fue nula, esto pudo

deberse a la situación sanitaria del mundo que se encontraba en ese momento, además que en el aspecto de la toma de decisiones el género masculino es quien lo manifiesta de manera social, en específico en las unidades de producción acuícola de la comunidad.

Etapa 3. Fortalecimiento de habilidades

En relación con la metodología implementada para el proceso de apertura de conocimientos (4 MAT), (Rasilla-Cano, 2017), en el taller realizado (“El retorno del agua”) y de acuerdo a los resultados de evaluación inicial y final se pudo observar de la apropiación básica del concepto de sustentabilidad basado en el manejo adecuado del agua, además de conocer de manera general el contenido de las aguas residuales de los cultivos de trucha arcoíris. Como lo menciona Gonzales y Arias (2012), la importancia del desarrollo de las habilidades personales y enfocadas a el cuidado del medio ambiente, son primordiales para la conservación y uso adecuado de los recursos.

A diferencia de la etapa anterior en esta se observó una mayor participación de las mujeres, ya que esta se realizó de manera presencial pudiendo ser un factor que fomenta una mayor asistencia, la sesión se tornó más interactiva y creativa por lo que la participación de las mujeres es primordial para generación de nuevos conocimientos y/o alternativas en donde se busque un beneficio en común. De acuerdo a la Organización Alianza por la Solidaridad (2017) la colaboración de las mujeres en los diferentes procesos de desarrollo de la sociedad implicara el desarrollo personal de las mismas, por lo que el bienestar se verá relegado no solo en ellas si no en todo su círculo social (hombres, niños, niñas, personas de la tercera edad etc.), por lo que es esencial fomentar y gestionar espacios de cualquier índole para que las mujeres se puedan desarrollar. En el caso de este trabajo el fortalecimiento de habilidades fue en el aspecto del cuidado ambiental, por lo que al ser las mujeres la mayoría de las ocasiones las encargadas de la crianza de las hijas e hijos, el conocimiento puede llegar a ser transmitido a las siguientes generaciones, fomentado la sustentabilidad como un principio de economía social y solidaria en las familias de la comunidad de Latuvi.

Etapa 4. Diseño Redacción de propuestas

La fase de la redacción de propuestas surgió derivado del proceso de fortalecimiento de habilidades en las productoras y productores acuícolas, siendo la participación el pilar para

poder desarrollar la actividad, es importante mencionar que cada una de las propuestas se basaron en el fortalecimiento de las habilidades de cada uno, además de la disponibilidad de materiales de la región para la implementación de sus sistemas de filtrado con los que contaban cada uno de ellos. Con la lluvia de ideas y el apoyo de herramientas didácticas como los filtros elaborados para conocer el proceso de filtración del agua como lo proponen Gonzales y Arias (2012) se logró fomentar la idealización del diseño de filtrado adecuado para cada UPA, por lo que la inducción de prácticas sustentables para el manejo adecuado del agua promovió la educación ambiental en el marco de colaboración que estuvo presente durante el proceso.

Plan de manejo

En el caso del plan de manejo la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018) propone tres etapas para la implementación de un proyecto nuevo: prevención, mitigación y compensación, en el caso del presente trabajo se propusieron acciones para dos etapas solamente: mitigación y compensación, debido a que las unidades de producción tienen mucho tiempo de funcionamiento por lo que el diseño de la etapa de prevención ya no es aplicable. Las acciones propuestas se diseñaron con la finalidad de mitigar el impacto actual que tiene la actividad en el ecosistema que todavía no es preocupante ya que la mayoría de los parámetros analizados no rebasa la normativa aplicable. En el caso de la compensación gracias a la cantidad de desechos sólidos que se generan por la actividad es factible transformar y aplicar estos residuos para el beneficio de suelos degradados por falta de materia orgánica ya sea en la comunidad o en otra parte de la región, esto se encuentra estrechamente relacionado con el concepto de sostenibilidad ambiental de la Red de Redes de Economía Social y Solidaria (2011), ya que la prioridad de los productores se centra en la conservación y aprovechamiento sustentable de sus recursos naturales para que de ahí pueda partir su actividad productiva, además de reducir lo más posible el impacto al medio ambiente por el cultivo de la trucha arcoíris. En la comunidad se comienzan a notar poco a poco los estragos que está teniendo el calentamiento global en el mundo, como las sequías cada vez más evidentes en las temporadas de calor, las personas de la comunidad se han podido percatar de las fuertes ondas de calor en ciertas temporadas del año, además de la disminución del agua de los ríos en tiempo de sequía, situación que antes no existía, por lo tanto la

sensibilización para la adopción de prácticas que estén enfocadas al cuidado de la naturaleza son prioritarias en la comunidad de Latuvi, así como en los productores acuícolas.

Evaluación

Debido a las restricciones que se tuvieron que tomar de manera forzosa por la pandemia del SARVS-COV-2 como ya es mencionado los procesos de implementación se realizaron por dos distintas vías (internet y presencial).

En el caso de los procesos implementados por vía remota a pesar de que los productores y el facilitador contaban con los recursos necesarios para llevarlos a cabo, hubo una menor participación de las mujeres, aun así, no hubo dificultades para captar la información, esto pudo deberse que el facilitador tenía experiencia de trabajo previo con el grupo de trabajo.

Por lo contrario, al momento de realizarse las actividades de manera presencial el ánimo y participación fue mucho mayor. De acuerdo con los tipos de aprendizaje que describe Rasilla-Cano (2017) basados en la metodología 4 MAT. La interacción personal propicio el fortalecimiento de las habilidades de los productores, basados en la confianza que existió en el grupo de trabajo, por lo tanto, la equidad de género fue mucho mayor que en los procesos implementados por vía remota.

13. CONCLUSIONES

De acuerdo a los análisis de la calidad del agua de las unidades trutícolas de Latuvi, se concluye que estas unidades no provocan alteraciones significativas en el recurso hídrico de los afluentes donde se toma el vital líquido para la producción. Por lo tanto, surge la hipótesis de que el parámetro de coliformes totales y fecales se encuentra arriba de los límites máximos permisibles debido a situaciones externas del medio ambiente, que los productores no pueden controlar, como las heces de organismos mamíferos en las aguas superficiales, las cuales en parte son propias de los ecosistemas naturales cercanos a las unidades de producción acuícola. Los parámetros estrictos para el cultivo de la trucha arcoíris como lo son: temperatura, demanda bioquímica de oxígeno y pH, se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que establece la normativa, siendo los adecuados para el desarrollo de la trucha en el agua.

Aunque los parámetros analizados de la calidad del agua del cultivo de trucha en la localidad no sean graves, las acciones del plan de manejo permitirán prevenir posibles afectaciones a el agua en un mediano o largo plazo, con el proceso de fortalecimiento de habilidades queda una base sólida para enfocarse no solo en la producción, sino también en cuidar y conservar de manera adecuada los recursos naturales con los que cuentan, encaminando la actividad hacia la sustentabilidad.

De acuerdo la literatura revisada durante el presente trabajo de investigación acción participativa se encontraron casos en los cuales el cultivo si afecta gravemente a el ecosistema, por lo que el costo de la degradación ambiental es alto, a partir de esto la generación de conciencia de los productores de la comunidad sobre estas problemáticas y las acciones que están dispuestos para evitar lo anterior, refleja de manera clara como el principio de sustentabilidad ambiental está presente y permanecerá en el grupo de trabajo.

En la actualidad en el aspecto gubernamental las políticas públicas enfocadas al uso del agua en la acuicultura, no favorecen el desarrollo y continuidad de la actividad, ya que al existir y no aplicarse la modificación reciente a la ley en la cual dicta establecer a la acuicultura como actividad primaria como es el caso de la agricultura y la ganadería, las cuales son actividades que generan una gran cantidad de residuos muchas veces tóxicos para el ecosistema, deja de lado la importancia de la acuicultura como una labor que aporta significativamente a la seguridad alimentaria del país, proveyendo proteína de calidad a bajo costo tanto económico y ambiental, además de su importancia en la generación de empleos que se traduce en un bienestar para las familias involucradas en cada uno de los eslabones del proceso productivo primario.

El sistema globalizado en el que actualmente se encuentra el mundo ha llevado a sobre saturar la capacidad de recuperación de la naturaleza, debido a que el objetivo principal de este, es el consumo basado en la sobre satisfacción del género humano sin pensar en las consecuencias para lo demás seres vivos, lo cual está teniendo consecuencias catastróficas llevando a la extinción de muchas especies, además de ya no existir recursos para satisfacer las necesidades básicas de las personas y otras seres vivos afectando siempre y con mayor fuerza a las poblaciones más vulnerables. La economía social y solidaria es otro sistema económico que busca el equilibrio de todas las esferas en la cual el ser humano se

desenvuelve (social, económico y ambiental), sin dejar a un lado la importancia que tienen todos los habitantes del mundo. Es necesario comenzar a transitar poco a poco en cada una de las actividades del hombre (en este caso; la acuicultura) buscando la sustentabilidad, la cual tiene como característica principal el mantenimiento de los sistemas biológicos con el paso del tiempo, aprovechando de manera sustentable los recursos naturales que brindan, sin comprometer los de las generaciones futuras (Larrouyet, 2015), en cada uno de los ámbitos en los que se desarrolla la humanidad.

14. RECOMENDACIONES

- a) Realizar estudios de caracterización y aplicación de los lodos derivados del proceso de producción de trucha arcoíris, para conocer la factibilidad de los residuos como abono en procesos agrícolas o de restauración de suelos con poca fertilidad.
- b) Llevar a cabo los análisis de agua con un laboratorio certificado de acuerdo al padrón establecido por la CONAGUA y de acuerdo a la nueva normativa, para lo cual se recomienda elegir uno del estado de Puebla o Veracruz ya que son los estados con más cercanía a Oaxaca y los costos derivados de viáticos o transporte pueden ser menores, con la finalidad de dar cumplimiento y así evitar posibles sanciones. De igual manera realizarlos en conjunto y al mismo tiempo para obtener un precio de mayoreo (menores costos).
- c) Una vez realizada la recomendación dos, llevar cabo los análisis de laboratorio durante un periodo de seis meses (realizando un análisis mensual) para verificar que la calidad del agua no rebasa los límites máximos permisibles, seguido de esto, solicitar la exención de pago a CONAGUA por no contaminación en las UPA como lo establece la normativa.
- d) Compartir con productores de trucha arcoíris de otras localidades y/o regiones las acciones implementadas para mitigar el impacto de la producción en el medio ambiente, con la finalidad de que el modelo de implementación del presente trabajo pueda ser replicable y de utilidad para otras personas dedicadas a la actividad, siendo el pilar el cuidado y conservación del recurso hídrico.
- e) Adquirir como grupo los equipos necesarios básicos para el monitoreo del agua del cultivo, para lo cual un multiparamétrico que mida los valores del oxígeno,

termómetro y pH es la recomendación, así como un cono Imhoff para el monitoreo de los sólidos sedimentables, con la finalidad de determinar la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos en el tiempo (día, semana, mes, temporada del año y al año) y espacio (estanques, unidades trutícolas y zonas o regiones) y comparar los cambios de los valores de cada parámetro con los intervalos que establece la normativa.

- f) Los truticultores junto con los gestores deben conseguir apoyos nacionales e internacionales que fortalezcan las actividades en el buen manejo del agua, gobernanza del agua a nivel comunitario y todas las que coadyuven a utilizar de manera sostenible y sustentable el recurso hídrico, como la capacitación continua, el compartir de la experiencia entre otras.
- g) Los truticultores junto con los gestores deben realizar los trámites correspondientes para que la acuicultura quede sentada como una actividad primaria de la misma índole que la agricultura y la ganadería, antes las instancias que se encargan de sectorizar y catalogar a los sectores de la población en México.

15. REFERENCIAS

- Alianza por la Solidaridad. 2017. Mujeres y participación social <https://participamostransformamos.org/mujeres-y-participacion> (Consulta: 10/05/2022).
- Álvarez, T.P., Soto, F. Avales, Q.S., Díaz, L.C. y C.L. Treviño. 2012. Panorama de la investigación y su repercusión sobre la producción acuícola en México. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca-Instituto Nacional de la Pesca. 30 p.
- Arregui-Maraver, L. 2013. El Cultivo de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Fundación Observatorio Español de Acuicultura. 106 p.
- Asociación Empresaria del Acuicultura Española. 2021. Informe 2021. España. 111 p.
- Baldeón-Beltrán, J.R. 2013. Calidad bacteriológica del agua de cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) del centro piscícola “El Ingenio”, Huancayo – Junín. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional del Centro del Perú Huancayo. Perú. 61 p.

- Bordehore, C. 2020. Problemas ambientales, problemas humanos. Sociedad Ambiental Granada. Grupo Editorial Universitario. España. 41 p.
- Borja, A. 2002. Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. Fundación AZTI. España. 9 p.
- Buschmann, A.H., Troell, M., Kautsky, N., y L. Kautsky.1996. Integrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta). *Hydrobiologia*. 326(1):75-82.
- Camacho, E., Moreno, R.M, Rodríguez, M.G., Luna Romo. C. y M. Vásquez. 2000. Guía para el cultivo de trucha. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México D.F. 135 p.
- Cámara de Diputados de Honorable Congreso de la Unión. 2021. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Constitución publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de febrero de 1917. México. 354 p.
- Cámara de Diputados LXV Legislatura. 2015. Ley General del Equilibrio y la Protección al Medio Ambiente.<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf>. (Consulta: 08/05/2021).
- Cámara de Diputados LXV Legislatura. 2018.Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPAS_240418.pdf. (Consulta: 08/10/2021).
- Cámara de Diputados LXV Legislatura. 2022. Ley de Aguas Nacionales. México. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan.htm> (Consulta: 10/05/2022).
- Casillas-Hernández, R., Magallón-Barajas, F., Portillo, C.G. y Páez-Osuna, F. 2006. Nutrient mass balance in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico, using two feeding strategies: trays and mechanical dispersal. *Aquaculture* 258: 289-298.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. 2015. La Acuicultura. Cámara de Diputados de México. Secretaria de Gobernación. México. 16 p.

- CONAGUA. 2018a. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Pretratamiento y tratamiento primario. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México 94 p.
- CONAGUA. 2018b. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México 94 p.
- CONAGUA. 2022. Ley Federal de derechos, <Disposición Aplicables en Materia de Aguas Nacionales>. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/723707/Ley_Federal_de_De_rechos_2022.pdf. (Consulta: 08/08/2021).
- CONAPESCA. 2018. Produce Acuicultura Mexicana más de 400 mil toneladas de pescados y mariscos. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuicultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466>. (Consulta: 05/11/2021).
- Cruz-Lombardo, A. 2018. Impacto del cambio climático sobre la prevalencia de indicadores microbiológico, patógenos y parámetros fisicoquímicos de aguas superficiales del rio la Villa usadas para actividades agrícola y humana. Tesis de maestría. Universidad de Panamá. Panamá. 94 p.
- Daly, H. 1992. Allocation, distribution, and scal: towards an economics that is efficient, just and sustainable. *Ecological Economics*. 6 (1992) 185-193.
- Delgadillo- Reyes, A., Gámez-Flores, H. y P. Reyes- Lomellin. 2015. Marco jurídico normativo para el desarrollo de la acuicultura en México. Situación, retos y tendencias para el desarrollo rural sustentable. Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria, Cámara de Diputados, LXII legislatura. México. 186 p.
- Ezquivel, L.G., Ruelas, M.L.C. y Villada, C.M. 2020. Uso y disposición del agua en la acuicultura: ¿falta o exceso de regulación? Universidad de Quintana Roo. *Revista teoría y praxis*. 26-46.
- FAO. 2006. The status of world fisheries and aquaculture 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Electronic Publishing Policy and Support Branch, Communication Division. Rome, Italy, 180 p.

- FAO. 2011. Orientaciones técnicas para la pesca responsable. Desarrollo de la acuicultura. 4 enfoque sistémico de la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma. 77 p.
- FAO. 2014. Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Guatemala. 44 p.
- FAO. 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. ISSN 1020-5500. Roma. 243 p.
- Folke C. & Kautsky N. 1989. The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio*. 18(4): 234-243.
- Gallego-Alarcón, I. 2010. Evaluación y modelación de un tren de tratamiento de agua residual acuícola con recirculación y del cultivo de trucha arco iris alimentado por cosecha pluvial. Tesis doctoral. Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Interamericano de Recursos del Agua. México. 253 p.
- García-Mondragón, D., Gallego- Alarcón,I., Espinoza-Ortega, A. y Arriaga-Jordán, C.M. 2013. Desarrollo de la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el Centro de México. *AquaTIC*, núm. 38, enero-junio. Universidad de Zaragoza Zaragoza, España. 46-56.
- García-Ulloa, M. 2010. Acuicultura Rural en la costa sur de Jalisco: caso de estudio. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*. 21 p.
- Geilfus, F. 2009. 80 herramientas para el desarrollo participativo. Diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 218 p.
- Gobierno del Estado de Oaxaca. 2011. Plan municipal de desarrollo de Santa Catarina Lachatao, trienio 2011-2013. Oaxaca. 152 p.
- Gonzales, G.E. y M.A. Arias. 2012. La Educación Ambiental Institucionalizada: Actos Fallidos y Horizontes de Posibilidad. Universidad Pedagógica Nacional. *Revista Perfiles Educativos*. México. 19 p.

- Gutiérrez-Yurrita., P. 1999. La acuicultura en México: I. Época prehispánica y colonial. *Biología Informa*. https://www.researchgate.net/publication/256458517_La_acuicultura_en_Mexico_I_Epoca_prehispanica_y_colonial. (Consultado: 12/10/2020).
- Honorable Congreso del Estado Libre y Soberano de Oaxaca LXI Legislatura Constitucional. 2013. Ley de Pesca y Acuicultura Sustentables para el Estado de Oaxaca. <http://cdam.unsis.edu.mx/files/Gestion%20ambiental/Legislacion/Estatal/Ley%20de%20Pesca%20y%20Acuicultura%20Sustentables%20para%20el%20Estado%20de%20Oaxaca.pdf>. (Consulta: 09/10/2021).
- IAGUA. 2018a. En México, solo el 57% de las aguas residuales son tratadas correctamente. *UNAM Magazine*. México. <https://www.iagua.es/noticias/unam/investigadores-unam-senalan-necesidad-tratar-aguas-residuales-mexico> (Consultado: 31/09/2020).
- IAGUA. 2018b. La importancia del agua en el planeta y como cuidarla. *UNAM Magazine*. México. <https://www.iagua.es/noticias/imta/importancia-agua-planeta-y-como-cuidarla> (Consultado: 31/09/2020).
- Instituto Nacional de Economía Social. 2018. Acuicultura, historia y actualidad en México. <https://www.gob.mx/inaes/es/articulos/acuicultura-historia-y-actualidad-en-mexico?idiom=es> (Consultado: 03/10/2020).
- Instituto Nacional de Pesca. 2018. Acuicultura/ Trucha Arcoíris. <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-trucha-arcoiris>. (Consultado: 06/09/2020).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Santa Catarina Lachatao, Oaxaca. 9 p.
- Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. 2010. Ecoturismo Latuvi. http://www.cdi.gob.mx/turismo/index.php?option=com_content&view=article&catid=56:corredor-de-expediciones-sierra-norte-de-oaxaca&id=157:ecoturismo-la-tuvi. (Consulta:06/06/2021).
- Larrouyet, C. 2015. Desarrollo sustentable. Origen, evolución y su implementación para el cuidado del planeta. (Trabajo final integrador). Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina.

Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/154>. (Consulta:10/08/2021).

Lizana-Yarlequé, P. 2018. Tratamiento de aguas residuales para el Caserío Villa Palambra. Tesis de Licenciatura. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. 142 p.

Luna-Imbacuan, M.A., Campos-Bermúdez, F. y O. Medina-Gutiérrez. 2016. Evaluación de las aguas residuales del lavado de estanques multipropósito con cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Carpicua Cienc Tecnol Agropecuaria*. 17(2): 191-2020.

McCarthy, B., Samples, B. y Hammond, B. 1985. "4MAT and Science toward wholeness in science education". Barrington, Illinois: EXCEL.

Madera, P. 2010. Las aguas residuales y su uso en la piscicultura: Normas de Calidad y tecnologías de tratamiento. Universidad del Valle. Escuela EIDENAR. Colombia. 14 p.

Martí-Olivé, J. 2002. La investigación acción participativa estructura y sus fases. Universidad Complutense de Madrid. España. 123 p.

Martín, A., Alarcón, T., Martín, I., y A., González. 2005. Efficiency in the disinfection of water for human consumption in rural communities using solar radiation solar energy. *Revista Solar Energy*. 31-40 p.

Martínez, T. 2019. I Diplomado Políticas Públicas para el Sector Agropecuario en México, Texcoco, Universidad Autónoma Chapingo. México.

Martos, C.R. 2009. Cultura Corporativa: Misión, Visión y Valores en la Gestión Estratégica de las empresas del sector de la Automoción en España. Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Cataluña. España. 206 p.

Merino, M.C., Bonilla, S.P. y Bages, F. 2013. Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36592>. (Consulta:10/04/2021).

Millán, R. 2006. Confianza y participación en México: ¿Dimensiones de la cooperación social y de la valoración del gobierno? *Opinião pública*. Campinas, vol. 12, nº 2. Instituto de Investigaciones sociales. Universidad Autónoma de México. México. 30 p.

- Miranda-Baeza, A., Voltolina, D., Brambila-Gómez, M.A., Frías-Espiricueta, M., y Simental, J. 2007. Effluent characteristics and nutrient loading of a semi-intensive shrimp farm in NW Mexico. *Vie Milieu* 57: 21-27 p.
- Molina-Tijanero, C. D., y Fernández- Uscha.P.L. 2020. El costo de reparación del recurso agua por contaminación de coliformes fecales en el estero de salado, sector de Chala. Tesis de licenciatura. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Económicas. Ecuador. 81 p.
- Munn, C. B. 2004. *Marine Microbiology: ecology and applications*. New York. BIOS Scientific Publisher.
- Nava-Morales, E. 2018. *La Comunalidad Oaxaqueña - Lucha y Pensamiento Indígena*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social – Occidente. 195 p.
- Navarrete, N.R.A. 2004. Situación de la actividad acuícola en México en el periodo 1997 a 2002. Tesis de licenciatura. FMVZ.UNAM. México.126 p.
- Organización de las Naciones Unidas. 2020. Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano. <https://news.un.org/es/story/2020/11/14842327> (Consulta:07/04/2021).
- Ovando, M. 2013. La acuicultura y sus efectos en el medio ambiente. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 2 (3), 61-80 p.
- Phillips, V., Tschida, R., Hernández, M. y Aquino, M. G. 2017. Manual básico para el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Manual de capacitación para la participación comunitaria. México. 26 p.
- Rasilla-Cano, M. 2017. Elementos para la docencia multidisciplinaria. Biblioteca virtual de Derecho, Economía y Ciencias Sociales. <https://www.eumed.net/libros/1734/index.html>. (Consulta:07/04/2021).
- Red de Redes de Economía Alternativa y Solidaria. 2011. Carta de Principios de la economía solidaria.http://deveconomiasolidaria.devtopia.coop/sites/default/files/pages_attachments/CARTA_ECONOMIA_SOLIDARIA_REAS.pdf. (Consulta: 11/05/2021).

- Reyes- Martínez, A. y M.A. Quintero- Soto. 2009. Problemática del agua en los distritos de riego por bombeo del estado de Sonora. Revista Digital Universitaria. UNAM. México. ISSN 1067-6079.
- Reyes, D.E, Gámez, F.H., y L. Reyes. 2015. Marco Jurídico Normativo para el Desarrollo de la Acuicultura en México. Central de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. México. 186 p.
- Rivero, H.M. 2018. Matriz FODA herramienta para la estrategia. Universidad la Salle. Revista Horizontal, comunicación y cultura. México. 18 p.
- Rodríguez-García, M. 2012. Economía y cultura en La confianza de Francis Fukuyama. Ciencia Económica. 99-105 p.
- Salazar-Cano, R. 2004. Tratamiento de aguas residuales en acuicultura. Departamento de Diseño y Construcción. Universidad de Nariño. Colombia. 48 p.
- Santander Universidades. 2022. Misión, visión y valores de una empresa: qué son y cómo definirlos. <https://www.becas-santander.com/es/blog/mision-vision-valores.html> (Consultado 28/05/2022).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina. 2019. Producción de acuicultura destinada al consumo humano en Argentina durante el año 2019. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina. 14 p.
- Secretaría de Bienestar de México. 2015. Catálogo de comunidades. México. <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=20&mun=365>. (Consulta:09/05/2021).
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2000. Análisis de agua - determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la nmx-aa-004-1977). Diario Oficial de la Federación. México.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2000. Análisis de agua - determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la nmx-aa007-1980). Diario Oficial de la Federación. México.

- Secretaría de Economía. 2001. Análisis de agua - determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la nmx-aa-012-1980). Diario Oficial de la Federación. México.
- Secretaría de Economía. 2001. Análisis de agua - determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (dbo5) y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la nmx-aa-028-1981). Diario Oficial de la Federación. México.
- Secretaría de Economía. 2015. Análisis de agua - enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* – método del número más probable en tubos múltiples (cancela a la nmx-aa-42-1987). Diario Oficial de la Federación. México.
- Secretaría de Economía. 2016. Análisis de agua. - medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - método de prueba- (cancela a la nmx-aa-008- scfi-2011). Diario Oficial de la Federación. México.
- Secretaría de Finanzas del Estado de Oaxaca. 2011. Plan Municipal de Desarrollo de Santa Catarina. 2012. Municipio de Santa Catarina Lachatao 2012. 152 p.
- Secretaria de Finanzas del Estado de Oaxaca.2016. Plan estatal de desarrollo 2016-2022. Oaxaca. México.203 p.
- Secretaria de Gobierno de Bogotá. 2009. Guía técnica para la elaboración de planes de manejo ambiental (PMA). Alcaldía local de Tunjuelito. Bogotá, Colombia. 26 p.
- Secretaria de Gobernación. 2020. Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020-2024. México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609194&fecha=30/12/2020 (Consulta:07/04/2021).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT 1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México.35 p.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2018. Criterios de Evaluación de Impacto Ambiental. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/criterios-de-evauacion-de-impacto-ambiental>. (Consulta:30/04/2021).

- Sedgwick, S.D. 1990. Trout Farming Handbook 5th edition. Fishing News Books (Blackwell Science), Oxford, England. 192 pp.
- Senado de la República Mexicana. 2016. Reforma Senado Ley de Aguas Nacionales para impulsar la acuicultura. Coordinación de comunicación social. México. <http://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/boletines/26841-reforma-senado-ley-de-aguas-nacionales-para-impulsar-la-acuicultura.html> (Consulta: 05/05/2022).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2018. Acuicultura. http://www.campomexicano.gob.mx/raw_pesca_gobmx/seccionar.php.(Consulta:12/04/2021).
- Sistema de Información Agroalimentaria. 2018. Producción acuícola en México. <https://www.gob.mx/siap>. (Consulta: 15/08/2021).
- Tilley, E., Ulrich, L., Luthi, C., Reymond, P., Shertenleib, R. y C. Zurbrugg. 2018. Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Hábitat para la Humanidad. 178 p.
- Thomann, R y Mueller, J. 1987. Principles of surface water quality modelling and control. New York: Harper & row.
- Torres-Barrera, N.H. y Grandas-Rincón, I.A. 2017. Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de Tota, Colombia. Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria. 18(2):247-255.
- Universidad del Papaloapan. 2007. Programa Maestro de Trucha Arcoíris en Oaxaca. 242 p.
- Vásquez, Q.W. Talavera, N., M. y M. Inga-Guevara. 2016. Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi intensiva de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la laguna Arapa – Puno. Rev. Soc. Quím. Perú vol.82 no.1 Lima. Perú.
- Velarde, D. 2020. Situación de la acuicultura en México. <https://cuartoslimpiosmexico.com/situacion-actual-de-la-acuicultura-en-mexico/> (Consultado: 29/09/2020).

- Vidal, S.P. 2013. Diseño BACI: Efectos ambientales de una piscifactoría de Jaulas Flotantes en el Mediterráneo y su recuperación tras el cese de la actividad. Tesina de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia. España. 45 p.
- Villalba-Eguiluz, U., Pérez-de-Mendiguren, J. C. 2019. La economía social y solidaria como vía para el buen vivir. *Iberoamerican Journal of Development Studies*, vol. 8(1):106-136. 31 p.
- Wilfrido-Vázquez Q., Talavera -Núñez M., y M. Inga-Guevara. 2015. Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi intensiva de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la laguna arapa – puno. *Rev Soc Quím Perú*. 81(1) 2016.

15. ANEXOS

Anexo 1.



MAESTRÍA EN GESTIÓN DE PROYECTOS PARA EL DESARROLLO SOLIDARIO

INTERVENCIÓN EDUCATIVA” EL RETORNO DEL AGUA”

LÍNEA: RECURSOS HÍDRICOS

MEDIADORA: CRUZ MORENO CAROLINA

Septiembre 2021

Contenido

	pág
Introducción.....	3
Objetivo de aprendizaje.....	3
Objetivo de enseñanza.....	4
Población de atención.....	4
Caracterización de los aprendices.....	4
Perfil docente.....	4
Competencia adquirida del proceso educativo.....	4
Duración total del proceso.....	4
Contexto.....	5
Proceso de apertura de conocimientos basado en el proceso 4 mat.....	6
Conclusiones.....	9
Anexos.....	9
Referencias consultadas.....	12

- **Introducción**

El aprendizaje es un proceso de desarrollo donde la adquisición de conocimientos, competencias y habilidades se basa en la mayoría de las ocasiones, por la búsqueda de resolver una problemática en tu tema específico, pero también se puede adquirir por intereses propios donde se quiera aprender a cerca de algo en especial, por lo tanto existen distintas líneas que derivan del aprendizaje para atender cada uno de los temas en lo que se requiere el desarrollo de capacidades (Psicología y mente, 2021).

La educación ambiental es un concepto que tiene muchos años de existir, sin embargo, han faltado estrategias que permitan la aplicación de este concepto mediante metodologías que aborden cada uno de los estilos de aprendizaje (Rasilla, 2018), y así integrar a todos los sectores de la sociedad interesados en el cuidado al medio ambiente, mediante la mitigación y/o remediación de las actividades que se realizan en el día a día.

En la actualidad se presenta una problemática ambiental que deriva en lo económico (sanciones por un manejo NO adecuado de las aguas residuales del cultivo de trucha arcoíris), con los productores de la comunidad de Latuvi, Santa Catarina Lachatao, Oaxaca. Por lo tanto, se planeó la presente estrategia educativa con la finalidad de fomentar las capacidades para el manejo de las aguas residuales y así obtener un plan de manejo para los desechos generados por la actividad

La presente estrategia de enseñanza-aprendizaje tiene como fin desarrollar las capacidades de los productores acuícolas de la comunidad de la Latuvi, para tratar las aguas residuales de sus cultivos, fomentando la sostenibilidad ambiental desde una perspectiva educativa, generando como resultado un plan de manejo sustentable diseñado por los productores de la comunidad.

- ***Objetivo de aprendizaje***

Desarrollar habilidades para el manejo adecuado del agua residual en los cultivos de trucha arcoíris de la comunidad de Latuvi.

- ***Objetivo de enseñanza***

Los productores identificarán el contenido de las aguas residuales del cultivo de trucha arcoíris y posibles tratamientos para ellos, diseñando un plan de manejo adecuado para los desechos que se generan de la actividad.

- ***Población de atención***

Productores involucrados en cada una de las etapas del proceso productivo de trucha arcoíris de las 4 unidades de producción en la comunidad de Latuvi.

- ***Caracterización de los aprendices***

Los aprendices son hombres y mujeres dedicados a la producción de trucha arcoíris en la comunidad de Latuvi, sus edades de los representantes oscilan entre los 50 y 60 años (hombres), las mujeres son las que se encargan en la mayoría de las labores productivas (alimentación, cosecha y preparación) las edades de las mujeres se

encuentran entre los 50 y 60 años, también está la presencia de jóvenes dentro de las labores en la etapa de limpieza y manejo de estanques se encuentran en una edad promedio de los 18-30 años. Todos son pertenecientes a la etnia indígena zapoteca de la Sierra Norte del estado de Oaxaca.

- ***Perfil docente***

Para el desarrollo de los temas aprendizaje se requiere una persona que conozca el ciclo productivo de la trucha arcoíris, formación de grupos sociales, biología de la especie, sustentabilidad en la acuicultura, calidad de agua, tratamientos para aguas residuales y capacidad para propiciar la adquisición de habilidades.

Competencia adquirida del proceso educativo

Los productores de trucha arcoíris de la comunidad conocerán el impacto que genera el cultivo de trucha arcoíris en el ecosistema, además del manejo adecuado para la etapa de mitigación y remediación de los residuos acuícolas.

- ***Duración total del proceso***

39 horas con 45 minutos

- ***Contexto***

La aplicación de la estrategia educativa se aplicará en la comunidad de Latuvi, Santa Catarina Lachatao Oaxaca. Latuvi es una agencia municipal que pertenece al municipio de Santa Catarina Lachatao, distrito de Ixtlán de Juárez en la región de la Sierra Norte de Oaxaca, se ubica a 70 km de la ciudad de Oaxaca (Figura 2) (INEGI,2015). Colinda al norte con San Juan Chicomezúchil, San Miguel Amatlán y Santa Catarina Ixtepeji; al sur con Santa Catarina Ixtepeji, Teotitlán del Valle y Villa de Díaz Ordaz; al oeste con Santa Catarina Ixtepeji y al este con San Miguel Amatlán. El municipio cuenta con una superficie de 276.85 km², representa el 0.29% de la superficie total del estado (INEGI, 2010).

De acuerdo a las 8 fases del proceso de aprendizaje de la metodología 4 mat (Rasilla, 2018) se aplicarán las siguientes actividades, con sus respectivos requerimientos para la aplicación.

PROCESO DE APERTURA DE CONOCIMIENTOS BASADO EN EL PROCESO 4 MAT

Nombre del proceso educativo: El Retorno del agua

ETAPAS	SUB ETAPAS	DURACIÓN	ACTIVIDADES	ESPACIO DE APRENDIZAJE	RECURSOS NECESARIOS	INDICADORES DE EVALUACIÓN	FACILITADOR DE LAS ACTIVIDADES
Experimentar	Conectar	30 min	<ul style="list-style-type: none"> Se realizará como primera instancia un lavado de manos con jabón y cierta cantidad de agua (no suficiente para todos). Se generará una molestia por no alcanzar agua para lavarse todos, se pretende que los participantes recuerden experiencias similares a la situación actual. 	Área de lavado de manos dentro de la unidad acuícola.	Agua	Número de productores admirados por el proceso	Biól. Carolina Cruz Moreno
	Examinar				Jabón		
Conceptualizar	Imaginar	1 hora	<ul style="list-style-type: none"> Derivado de la situación anterior, se aplicará la pregunta por el facilitador ¿Qué podemos hacer?, con la finalidad de buscar posibles soluciones. Realizar una exposición por el facilitador con el siguiente contenido, que son las aguas residuales, que elementos contienen los desechos de los cultivos acuícolas, como afectan al medio ambiente, medidas de mitigación y remediación, tipos de filtros utilizados en acuicultura, causas de contaminación por residuos acuícolas, atendiendo dudas en cualquier momento del taller participativo 	Espacio de reuniones dentro de la unidad acuícola	Una mesa redonda	Número de productores presentes durante el proceso de conceptualización	Biól. Carolina Cruz Moreno
	Definir	15 min			10 sillas		
Aplicar	Practicar Extender	2 horas	<ul style="list-style-type: none"> El facilitador con una maqueta de filtrado para cada participante, solicitará a cada uno de los participantes traer 3 litros de la zona de las descargas de sus unidades, para realizar el proceso de filtrado. Cada uno de los participantes realizará un dibujo con una idea de tratamiento para sus cultivos. El facilitador orientará, acompañará y responderá todo tipo 	Espacio de reuniones dentro de la unidad acuícola	Una maqueta del filtro	Número de productores que realizan la actividad práctica	Biól. Carolina Cruz Moreno
					Soluciones		
					Hojas		
					Colores		

			de cuestiones durante el proceso				
			<ul style="list-style-type: none"> Exponer su dibujo con todos los participantes. El facilitador propiciará el debate, con la finalidad de aportar nuevas ideas para fortalecer la idea. Cada productor aplicara su diseño en su unidad de producción, con el apoyo de los demás compañeros Se aplicará una herramienta que permita indagar los conocimientos adquiridos. Se pondrá sobre la mesa el objetivo de aprendizaje del proceso. Se redactará en un documento que integrará la información del proceso, lo que será el punto de partida para la elaboración del plan manejo. 	Espacio de reuniones dentro de la unidad acuícola	Juego de tercias para valoración	Número de productores que aplican en tratamiento en sus unidades de producción	
Crear	Pulir Integrar	36 horas			Hojas para apuntes Plumas Lista de asistencia		Biól. Carolina Cruz Moreno

• **Conclusiones**

Con la implementación de la presente estrategia de enseñanza-aprendizaje se pretende que los productores acuícolas desarrollen sus habilidades para el proceso de tratamiento de las aguas residuales sus cultivos, debido a que en la actualidad los productores tienen una problemática ambiental que deriva en lo económico para ellos, por lo tanto se encuentran interesados en aplicar el proceso, y así ellos poder realizar gestiones que impliquen en la adecuación de las normativas en la leyes mexicanas para el uso y regulación del agua, ya que esta actividad no es considerada bajo la normativa con debiera ser “una actividad primaria”, por lo que al contrario cuenta con tarifas consideradas como si esta fuera una actividad de tipo industrial.

- *Anexos*



Productores acuícolas de la comunidad de Latuvi en la unidad acuícola “El Manzanal”.



Integrantes de las unidades de producción integrado por sus familias



Estanques de producción acuícola unidad acuícola “El Manzanal”.

Anexo 2

FORMATO PARA REGISTRO DE MUESTRAS

FECHA:
UNIDAD ACUICOLA:
PERSONA ENCARGADA DEL MUESTREO:
GASTO DE AGUA PROMEDIO:

PARÁMETRO	ENTRADA	HORA	SALIDA	HORA	LAGUNADE SEDIMENTACIÓN	HORA
Temperatura						
pH						
Oxígeno disuelto						
Solidos sedimentables						
TDS						
DBO						

Observaciones:

Anexo 3.

NMX-AA-004-SCFI-2000

ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-004-1977)

MATERIALES

- Frasco de polietileno o vidrio con una capacidad mínima de 1,5 L, con tapa de boca ancha.
- Cono de sedimentación tipo Imhoff de vidrio o plástico.
- Bases para conos Imhoff.
- Agitador largo
- Reloj o cronómetro.

PROCEDIMIENTO

1. Mezclar la muestra original a fin de asegurar una distribución homogénea de sólidos suspendidos a través de todo el cuerpo del líquido. 7.2 Colocar la muestra bien mezclada en un cono Imhoff hasta la marca de 1 L. Dejar sedimentar 45 min
2. Una vez transcurrido este tiempo agitar suavemente los lados del cono con un agitador o mediante rotación, mantener en reposo 15 min más y registrar el volumen de sólidos sedimentables del cono como mL/L. Si la materia sedimentable contiene bolsas de líquido y/o burbujas de aire entre partículas gruesas, evaluar el volumen de aquellas y restar del volumen de sólidos sedimentados.
3. En caso de producirse una separación de materiales sedimentables y flotables, no deben valorarse estos últimos como material sedimentable.

Anexo 4.

NMX-AA-007-SCFI-2000

ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA007-1980)

MATERIALES

- Termómetro o juego de termómetros de mercurio en vidrio, con graduaciones de 0,1 °C, en un intervalo de temperatura que abarque por lo menos desde -1 °C hasta 101 °C, de buena calidad de fabricación que satisfaga o supere las especificaciones de alta exactitud de la NOM-011-SCFI-1993, trazable(s) a la ITS90, con certificado de calibración vigente y gráfico(s) o tablas para correcciones expedidos por un organismo de calibración reconocido.
- Cualquiera de los termómetros seleccionados que abarquen el intervalo de temperatura antes señalado debe incluir las marcas de graduaciones necesarias para controlar el punto del hielo fundente.
- Termómetro o juego de termómetros de uso general, de mercurio en vidrio, de preferencia de inmersión parcial, con graduaciones mínimas en 0,1 °C, en un intervalo de temperatura que incluya la de los diferentes tipos de aguas por examinar, de buena calidad de fabricación que satisfaga las especificaciones de alta exactitud de la NOM-011-SCFI-1993, o termómetro con sensor de termistor, de termopar o de resistencia de platino, con precisión de lectura de 0,5 °C en un intervalo de temperatura que incluya la de los diferentes tipos de aguas por examinar, cuya exactitud se haya establecido en el laboratorio, por calibración con el (los) termómetro(s) certificado(s) especificado(s).
- Estuches metálicos de protección para los termómetros de uso en campo.
- Envases de polietileno o de vidrio limpios, de 500 mL de capacidad.

- Vasos térmicos de doble pared tipo Dewar, uno de capacidad aproximada de 1 L, provistos de su respectiva tapa de espuma de poliestireno.

PROCEDIMIENTO

1. Siempre que sea posible se debe realizar la medición directamente en el cuerpo de agua, se debe tomar en un volumen suficiente de muestra tal que el instrumento quede debidamente inmerso, esperar el tiempo suficiente para obtener mediciones constantes
2. Enjuagar con agua destilada el instrumento de medición. Las lecturas se obtienen directamente de la escala del aparato medidor de temperatura, y se informan en grados Centígrados (°C), con aproximación a la décima de grado (0,1°C).
3. En el caso de aguas residuales, todas las lecturas deben hacerse en las descargas. En caso de que no sea posible, ésta puede determinarse en un punto accesible del conducto más próximo a la descarga.
4. En el caso de tuberías curvadas, se recomienda la inserción del vástago del termómetro en posición a lo largo del eje del tubo y de frente a la corriente aguas arriba. En tuberías de pequeño diámetro, esta posición es obligatoria.
5. En aquellos casos en que el fluido no se encuentre bien mezclado, debe usarse un dispositivo que produzca turbulencia aguas arriba del punto de medición.
6. Determinación de la temperatura en aguas superficiales o poco profundas cuando se requiere tomar muestra.
7. Introducir el recipiente para muestreo, moverlo de manera circular durante 1 min para que se equilibre su temperatura con la del agua y retirar el recipiente con la muestra.
8. Sumergir el termómetro de mercurio para uso rutinario, en posición centrada en el recipiente, hasta la marca de inmersión parcial o hasta una graduación apropiada si el termómetro es de inmersión total. Imprimir ligeros movimientos circulares por lo menos durante 1 min hasta que la lectura del termómetro se estabilice
9. Si la temperatura de la muestra difiere en más de ± 5 °C de la del ambiente, repetir el muestreo utilizando el vaso de doble pared.
10. Si el termómetro es de sensor, éste debe sumergirse en el volumen mínimo de muestra y a la profundidad que recomienda el fabricante y las lecturas deben efectuarse después del tiempo de equilibrio recomendado en el manual del usuario.
11. Registrar la lectura y la altura de la columna emergente si el termómetro utilizado es de inmersión total.
12. Determinación de la temperatura en aguas residuales cuando se requiere tomar muestra: La temperatura debe determinarse en el punto de la descarga o en un punto accesible del conducto más próximo al de la descarga.
13. El recipiente para toma de muestra debe dejarse en contacto con el fluido durante un tiempo suficiente para que equilibre su temperatura con la del fluido y se procede como se indica anteriormente.

Anexo 5.

NMX-AA-008-SCFI-2016

ANÁLISIS DE AGUA. - MEDICIÓN DEL pH EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. - MÉTODO DE PRUEBA- (CANCELA A LA NMX-AA-008- SCFI-2011).

EQUIPO

1. Recipiente de muestreo: Utilizar un recipiente con capacidad mínima de 500 mL, fondo plano hecho con vidrio de baja alcalinidad, por ejemplo, vidrio de borosilicato, recipientes de plástico que puedan ser impermeables a los gases, o vasos térmicos de doble pared, provistos de su respectiva tapa.
2. Instrumento para la medición de la temperatura.

3. Termómetro con resolución de al menos 1 °C 7.2.2 Sensor de temperatura Independiente o integrado en el electrodo de pH.
4. PHmetro- Equipo electrónico para medición del pH; con una resolución de la lectura de pH de al menos 0,01 unidades.
5. Electrodo de vidrio y electrodo de referencia.
6. Los electrodos convencionales están conformados por 2 medias celdas e involucran reacciones de óxido reducción; pueden ser de varios tipos.
7. Se describen los más comúnmente empleados para la medición del pH:

- Clase 0; Compuestos de metales inertes y celdas de óxido-reducción electrolítica

- Clase 1; Compuestos de un metal embebido en una solución electrolítica del mismo metal, por ejemplo Ag/Ag⁺

- Clase 2; Compuestos de un metal embebido en una sal del mismo metal, por ejemplo Ag/AgX/X⁻ El cuerpo del electrodo puede estar construido de diferentes materiales.

El valor práctico de la pendiente debe ser de al menos 95%, de la pendiente teórica, a menos que el fabricante del equipo especifique otro valor. Por lo general los equipos cuentan con la función de intervalo permisible de la pendiente, el cual realiza el cálculo automáticamente, basta con seguir las instrucciones del fabricante para configurar el equipo adecuadamente. En caso de que no se cuente con esta función, llevar a cabo el cálculo de la pendiente de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Almacenar los electrodos de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

PROCEDIMIENTO

Preparación

1. Para asegurar la buena funcionalidad del electrodo de pH, se debe realizar el mantenimiento, limpieza y verificación periódica, de acuerdo a las instrucciones del fabricante y a lo establecido por el propio laboratorio, todo lo anterior debe quedar documentado.
2. Atemperar las disoluciones patrón de referencia para la calibración y patrones de trabajo para la verificación (muestra control), que serán utilizadas, siempre que sea posible éstas no deberán variar en ± 5 °C, de la muestra problema. 3.
3. La selección de las disoluciones patrón de referencia indicadas en el párrafo anterior, estará en función del pH esperado en la muestra problema, lo cual se puede saber mediante un análisis rápido, por medio de una tira indicadora de pH, la cual se humedece con la muestra problema y con ayuda de la escala de colores provista por el fabricante de las tiras indicadoras, realiza una estimación del valor esperado de pH, esto es importante sobre todo cuando se realiza la calibración solo a dos puntos.
4. En caso de que el equipo cuente con compensador de temperatura, verifique que este se encuentre activado, en equipos que cuenten con intervalo permisible de la pendiente, asegúrese que esta sea de al menos 95% de la pendiente teórica, a menos que el fabricante del equipo especifique otro valor.
5. En caso de que el equipo no cuente con esta función, deberá realizar el cálculo de la pendiente una vez que se haya calibrado el equipo para asegurarse que cumpla con lo anterior.
6. Cuando se usa un electrodo de pH sin un sensor de temperatura interno, sumergir el sensor de temperatura o el termómetro en la disolución, al mismo tiempo, para todas las mediciones que se efectúen. 7.

Anexo 6

NMX-AA-012-SCFI-2001

ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-012-1980)

EQUIPO Y MATERIALES

1. Medidor de oxígeno disuelto con electrodo de membrana sensitiva al oxígeno, de tipo galvánico o polarizado.
2. Parrilla de agitación magnética.
3. Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.

Método yodométrico

1. Balanza analítica con precisión de 0,1 mg 5.2

Método electrométrico

1. Barras de agitación magnética de PTFE.

Método yodométrico

1. Matraces volumétricos de 500 mL y 1 000 mL.
2. Matraces Erlenmeyer de 250 mL y 1 000 mL.
3. Bureta de 25 mL con soporte.

RECOLECCIÓN, PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

1. Se debe evitar que la muestra se agite o entre en contacto con el aire.
2. El análisis de la muestra debe realizarse inmediatamente después de su recolección, por lo cual no es necesario adicionar ningún conservador.
3. Si la muestra tiene que ser transportada, se debe mantener a 4°C aproximadamente y no se debe almacenar por más de 8 h.
4. Si se va a utilizar el método yodométrico en laboratorio se recomienda fijar el OD en campo.

PROCEDIMIENTO

Método electrométrico

Posterior a la calibración del instrumento proceder a hacer la medición de la(s) muestra(s) siguiendo el procedimiento descrito a continuación.

1. Introducir el electrodo previamente lavado con agua a la muestra.
2. Agitar uniformemente y leer directamente del instrumento la concentración de oxígeno.

Método Yodométrico

Determinación de OD

1. Para fijar el oxígeno, adicionar a la botella tipo Winkler que contiene la muestra (300 mL), 2 mL de sulfato manganoso
2. Agregar 2 mL de la disolución alcalina de yoduro-azida.
3. Tapar la botella tipo Winkler, agitar vigorosamente y dejar sedimentar el precipitado.

4. Añadir 2 mL de ácido sulfúrico concentrado, volver a tapar y mezclar por inversión hasta completa disolución del precipitado.
5. Titular 100 mL de la muestra con la disolución estándar de tiosulfato de sodio 0,025 M agregando el almidón hasta el final de la titulación, cuando se alcance un color amarillo pálido. Continuar hasta la primera desaparición del color azul.

Anexo 7

NMX-AA-028-SCFI-2001

ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO5) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-028-1981)

EQUIPO Y MATERIALES

1. Equipo de aireación con difusor
2. Incubador: Controlado por termostato a $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Eliminar toda la luz para evitar la posibilidad de producción fotosintética de oxígeno disuelto.
3. Balanza analítica con precisión de 0,1 mg 6.1.4 Medidor de oxígeno disuelto.
4. Material Limpieza del material.
5. Todo el material usado en la determinación debe ser exclusivo para este procedimiento. Para el lavado del material remojar durante 1 h en una disolución de ácido sulfúrico al 10 % y enjuagar con agua. Los detergentes con base de amoníaco no deben usarse para la limpieza del material.
6. Los contenedores de las muestras deben lavarse con disolución de detergente no iónico, libre de metales, enjuagarse con agua, remojarse en ácido toda la noche y volver a enjuagarse con agua libre de metales.
7. Para el material de cuarzo, politetrafluoroetileno o material de vidrio debe dejarse remojando de 12 h a 24 h con HNO_3 (1:1), HCl (1:1) o con agua regia (3 partes de HCl concentrado + 1 parte de HNO_3 concentrado) a 70°C solo en los casos que presente material adherido, después debe ser enjuagado con agua libre de metales.
8. En los casos de que el material presente grasas, enjuagar con acetona y/o hexano. 6.2.5 Botellas Winkler de vidrio para incubación con capacidad de 300 mL de aforo total y con boca estrecha, reborde y tapón de vidrio esmerilado, de forma cónica.
9. Contratapa de politetrafluoroetileno u otro material plástico para botella Winkler.
10. Bureta

RECOLECCIÓN, PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

1. En el caso de aguas naturales debe tomarse un mínimo de 1 L de muestra en un envase de polietileno o vidrio.
2. En el caso de aguas residuales (DBO5 mayores a 50 mg/L) deben tomarse mínimo 100 mL. Pueden utilizarse muestras simples o compuestas.
3. No se debe agregar ningún preservador a las muestras. Solo deben conservarse a 4°C hasta su análisis.
4. El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 24 h.

Anexo 8

NMX-AA-42-1987

ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACION DEL NUMERO MAS PROBABLE (NMP) DE COLIFORMES TOTALES, COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y ESCHERICHIA COLI PRESUNTIVA

APARATOS Y EQUIPO

Aparte de los equipos que se suministran estériles, el material de vidrio y el resto del equipo deben esterilizarse.

1. Incubadora capaz de mantener una temperatura de $308 \pm 1\text{K}$ ($35 \pm 1^\circ\text{C}$) ó $310 \pm 1\text{K}$ ($37 \pm 1^\circ\text{C}$) y $317 \pm 0.5\text{K}$ ($44 \pm 0.5^\circ\text{C}$).
2. Estufa capaz de mantener una temperatura de 453 a 473K (180 a 200°C).
3. Autoclave u olla de presión con manómetro. 5.4 Potenciómetro. 5.5 Balanza analítica con sensibilidad de 0.0001 g. 5.6 Pipetas serológicas.
4. Pipeteros de aluminio o acero inoxidable; se pueden sustituir por papel aluminio o papel Kraft.
5. Tubos de ensaye de cristal refractario de 15 mm x 150 mm, con tapón de baquelita, aluminio o algodón.
6. Frascos muestreadores, de vidrio resistente o cristal refractario de 125 cm³, con tapón de cristal esmerilado.
7. Tubos de fermentación (Durham). 5.11 Asas de inoculación. 5.12 Material común de laboratorio.

REACTIVOS

Los reactivos que a continuación se mencionan, deben ser grado analítico a menos que se indique otra cosa. Cuando se especifique el uso de agua se debe entender agua destilada in vitro o agua desionizada libre de sustancias que pueden inhibir el crecimiento bacteriano en las condiciones de la prueba.

Para la preparación de los reactivos, las condiciones de esterilización deben ser 394K (121°C) y 0.0988066 MPa (1 kg/cm²) de presión manométrica durante 15 minutos.

Los tubos de fermentación (Durham) no deben contener burbujas de aire después de la esterilización.

En caso de utilizar medios deshidratados, seguir las recomendaciones del fabricante para su preparación.

Utilizar uno de los siguientes medios de cultivo:

1. Caldo lauril triptosa (CLT).
2. Medio de doble concentración:
Triptosa 40.0 g

Lactosa 10.0 g
Cloruro de sodio (NaCl) 10.0 g
Fosfato monobásico de potasio (KH₂PO₄) 5.5 g
Fosfato dibásico de potasio (K₂HPO₄) 5.5 g
Lauril sulfato de sodio 0.2 g
Agua para llevar a 1000 cm³

Añadir la triptosa y el cloruro de sodio al agua, calentar para disolver y añadir el lauril sulfato de sodio. Disolver el resto de los componentes por separado y agregarlos a los anteriores mezclando suavemente para evitar la formación de espuma. Ajustar a pH 6.8. Preparar medio de simple concentración diluyendo el medio de doble concentración con un volumen igual de agua. Distribuir el medio de simple concentración en volúmenes de 5 cm³ y el medio de doble concentración en volúmenes de 10 y 50 cm³. Cada tubo o matraz deben contener un tubo de fermentación invertido (Durham). Colocar en autoclave a 388K (115°C) durante 10 min.

Caldo McConkey

Medio de doble concentración: Sales biliares 10.0 g Peptona 40.0 g Lactosa 20.0 g Cloruro de sodio (NaCl) 10.0 g Púrpura de bromocresol (1% v/v en solución etanólica) 2 cm³ Agua para llevar a 1000 cm³ Disolver, calentando, la peptona, el cloruro de sodio y las sales biliares en agua y almacenarlo a 277K (4°C) durante toda la noche. Filtrar mientras está aún frío, añadir la lactosa y disolver. Ajustar a pH 7.4 y añadir el purpura de bromocresol.

Preparar el medio de simple concentración disolviendo el de doble concentración con un volumen igual de agua o prepararlo usando la mitad de la concentración de los ingredientes.

Distribuir el medio de simple concentración en volúmenes de 5 cm³ y el de doble concentración en volúmenes de 10 y 50 cm³ en tubos o matraces conteniendo un tubo de fermentación invertido ((Durham). Colocar en autoclave a 388K (115°C) durante 10 min. 6.1.3

Caldo lactosa

Medio de doble concentración:

Peptona 10.0 g

Lactosa 10.0 g

Extracto de carne 6.0 g

Agua para llevar a 1000 cm³

1. Disolver los componentes en agua hirviendo. Si es necesario, ajustar el pH de modo que al terminar la esterilización sea de 6.
2. Preparar el medio de simple concentración diluyendo el medio de doble concentración con un volumen igual de agua.
3. Distribuir el medio de simple concentración en volúmenes de 5 cm³ y el de doble concentración en volúmenes de 10 y 50 cm³.
4. Cada tubo o matraz debe contener un tubo de fermentación invertido (Durham).
5. Esterilizar en autoclave a $394 \pm 1K$ ($121 \pm 1^\circ C$) durante 15 min.

Estos tres medios son de uso común en numerosos países.

La selectividad del McConkey y del CLT dependen respectivamente de la presencia de sales biliares y del agente de superficie activo, el laurilsulfato.

El caldo lactosa no es un medio selectivo.

Utilizar uno o más de los siguientes medios confirmativos:

Medios para la producción de gas.

Caldo bilis lactosa verde brillante:

Peptona 10.0 g

Lactosa 10.0 g

Lilis de buey (deshidratada) 20.0 g

Verde brillante (0.1% m/m en solución acuosa) 13 cm³ Agua para llevar a 1000 cm³.

Disolver la peptona en 500 cm³ de agua.

1. Añadir los 20 g de bilis de buey deshidratada disueltos en 200 cm³ de agua; la solución debe tener un pH entre 7.0 y 7.5.
2. Disolver con agua hasta un volumen aproximado de 975 cm³.
3. Añadir la lactosa y ajustar el pH a 7.4. Añadir la solución de verde brillante y aforar a 1000 cm³ con agua.
4. Distribuir volúmenes de 5 cm³ en tubos de ensaye conteniendo tubos de fermentación invertidos (Durham) y colocar en autoclave a 388K (115°C) durante 10 min.

NOTA 1.- Este medio no da resultados reproducibles en todos los casos y se recomienda comprobar sus propiedades inhibitorias antes de usarlo.

Medio EC: Triptosa o tripticasa

20.0 g Lactosa 5.0 g
Mezcla de sales biliares 1.5 g
Fosfato dibásico de potasio (K₂ HPO₄) 4.0 g
Fosfato monobásico de potasio (KH₂ PO₄) 1.5 g
Cloruro de sodio (NaCl) 5.0 g
Agua para llevar a 1000 cm³

Disolver los componentes por separado y agregarlos agitando suavemente. El pH debe ser de 6.9 después de la esterilización.

Antes de esterilizar, distribuir en tubos de fermentación con suficiente medio para que el tubo invertido quede cubierto cuando menos parcialmente después de la esterilización.

Como medio confirmativo para coliformes totales, el más generalizado es el caldo bilis lactosa verde brillante (BLVE).

Para confirmar la presencia de coliformes fecales se utiliza tanto el BLVE como el caldo EC.

Medio para la producción de indol.

Agua de triptona:

Triptona 20.0 g
Cloruro de sodio (NaCl) 5.0 g
Agua para llevar a 1000 cm³

Disolver los componentes en agua y ajustar a pH. 7.5 distribuir en volúmenes de 5 cm³ y colocar en autoclave a 388K (115°C) durante 10 min.

NOTA 2.- La adición de 0.1% (m/m) de L ó DL-triptofano puede mejorar el funcionamiento del medio.
6.3 Reactivo de Kovacs para indol: 1,4 dimetilaminobenzaldehído (C₆ H₄ [N (CH₃)₂] CHO) 5.0 g.

Alcohol amílico (CH₃ (CH₂)₄ CH) libre de bases orgánicas 75 cm³

Ácido Clorhídrico concentrado (HCl) 25 cm³

1. Disolver el aldehído en el alcohol.
2. Añadir el ácido concentrado con cuidado. Proteger de la luz y almacenar a 277K (40°C).

NOTA 3.- El reactivo debe tener una coloración entre amarillo claro y café claro; algunas muestras de alcohol amílico son insatisfactorias y dan una coloración oscura con el aldehído.

Reactivo de oxidasa para la prueba de oxidasa: Clorhidrato de tetrametil-p-fenilendiamina 0.1 g Agua 10 cm³
Este reactivo no es estable y debe prepararse para usarse en pequeñas cantidades cada vez que sea necesario.

Diluyentes:

Diluyente de peptona (0.1%)

Peptona 1.0 g
Agua para llevar a 1000 cm³.

1. Disolver la peptona en aproximadamente 950 cm³ de agua.
2. Ajustar el pH con solución de hidróxido de sodio 1 mol/L o ácido clorhídrico 1 mol/L de modo que después de la esterilización sea de 7.0 ± 0.1. Aforar a 1000 cm³ con agua, distribuir en volúmenes convenientes y esterilizar en autoclave a 394 ± 1K (121 ± 1°C) durante 15 min.

Solución salina de peptona: Peptona 1.0 g Cloruro de sodio (NaCl) 8.5 g

Agua para llevar a 1000 cm³

1. Disolver los componentes hirviéndolos en aproximadamente 950 cm³ de agua.

2. Ajustar el pH con solución de hidróxido de sodio 1 mol/L o ácido clorhídrico 1 mol/L de modo que después de la esterilización sea de 7.0 ± 0.1 . Llevar a 1000 cm³ con agua, distribuir en volúmenes convenientes y esterilizar en autoclave a $394 \pm 1K$ ($121 \pm 1^\circ C$) durante 15 min.

Solución de ringer

Cloruro de sodio (NaCl) 2.25 g
Cloruro de potasio (KCl) 0.105 g
Cloruro de calcio anhidro (CaCl₂) 0.12 g
Bicarbonato de sodio (NaHCO₂) 0.05 g
Agua para llevar a 1000 cm³

1. Disolver los componentes y dividirlos en volúmenes convenientes. Esterilizar en autoclave a 394K ($121^\circ C$) durante 15 min.
2. Solución amortiguadora de fosfato:

Fosfato monobásico de potasio (KH₂ PO₂) 42.5 mg.
Cloruro de magnesio (MgCl₂) 190.0 mg
Agua para llevar a 1000 cm³.

Solución de fosfato

1. Disolver 34 g de fosfato en 500 cm³ de agua.
 2. Ajustar a pH 7.2 ± 0.5 con solución de hidróxido de sodio 1 mol/L y aforar a 1000 cm³ con agua.
 3. Solución de cloruro de magnesio.
-
1. Disolver 38 g de cloruro de magnesio en 1000 cm³ de agua.
 2. Añadir 1.25 cm³ de solución de fosfato y 5.0 cm³ de solución de cloruro de magnesio a 1000 cm³ de agua.
 3. Distribuir en volúmenes convenientes y esterilizar en autoclave a $394 \pm 1K$ ($121 \pm 1^\circ C$) durante 15 min.

MUESTREO

El procedimiento para la recolección de las muestras de agua para el análisis bacteriológico, depende del tipo de agua que se desee muestrear.

Las muestras para el análisis bacteriológico, se deben tomar en frascos muestreadores que se hayan lavado con extremo cuidado y esterilizado.

En su interior colocar, previo a la esterilización, 0.1 cm³ de solución de tiosulfato de sodio al 1% con el propósito de inhibir la acción del cloro que pueda contener la muestra, cubriendo además el tapón del frasco hasta el cuello con papel aluminio.

Muestreo en cuerpos receptores

Siempre que sea posible, llenar el frasco a 2/3 partes de su capacidad; una cantidad menor será insuficiente, si fuera mayor, disminuiría el espacio de aire disponible, necesario para homogeneizar la muestra.

Las muestras deben ser representativas del agua en estudio y asimismo no deben contaminarse en forma alguna.

El frasco donde se colecta la muestra no se debe destapar sino hasta el momento en el que se efectúe el muestreo.

Al muestrear, se debe evitar que el cuello del frasco se ponga en contacto con los dedos o cualquier otro material contaminante.

El examen de la muestra colectada debe realizarse lo más pronto posible, para evitar proliferación o muerte de las bacterias. Cuando el examen se practica dos horas después de tomar la muestra, los resultados empiezan a ser inciertos.

El volumen de muestra suficiente para efectuar el análisis bacteriológico, de preferencia debe ser de aproximadamente 100 cm³.

Es importante que todas las muestras estén acompañadas de datos completos y exactos de identificación y descripción.

El mecanismo de muestreo superficial es el siguiente:

1. Quitar el papel aluminio del cuello del frasco; introducir el frasco aproximadamente 30 cm³ bajo la superficie del agua.
2. Destapar el frasco dentro del agua. La boca del envase debe quedar en sentido contrario al flujo de la corriente. Si no existe corriente, como en los embalses, crearla empujando el frasco horizontalmente, en dirección opuesta al movimiento de la mano.
3. Una vez que la muestra ocupe el volumen correspondiente del frasco (2/3 partes); tapar sin sacarlo del agua teniendo cuidado de que el papel aluminio vuelva a cubrir el cuello de la botella.
4. Si no es posible la recolección de muestras en las condiciones antes enunciadas, fijar un lastre al frasco, al que se hace descender en el agua.
5. Para tomar muestras profundas en lagos o embalses; usar aparatos especiales que permitan destapar y tapar mecánicamente el frasco debajo de la superficie.
6. Muéstre en pozos y grifos.
7. Si el pozo está provisto de bomba de mano, bombear durante 5 min. para que el agua fluya libremente, antes de tomar la muestra.
8. Si el pozo está dotado de bomba mecánica, tomar la muestra en una llave previamente flameada de la descarga, dejando que fluya el agua libremente 5 min antes de tomar la muestra.
9. Al efectuar este muestreo, se debe evitar que el agua escurra fuera del frasco; además, se deben flamear los bordes del frasco y tapón durante el tiempo que dura el muestreo. Esto se hace con objeto de mantener al máximo las condiciones de asepsia.
10. Si no se cuenta con equipo de bombeo, tomar la muestra directamente del pozo por medio de un frasco estéril con lastre. En este caso se debe evitar la contaminación de la muestra por las natas superficiales.
11. Si se trata de tomar una muestra de un grifo del sistema de servicio, flamear el grifo y abrirlo completamente, dejando que el agua fluya por 2 o 3 min. o el tiempo suficiente para permitir la purga de la línea.
12. En el momento del muestreo, restringir el flujo de la llave para que se pueda llenar el frasco sin salpicaduras.
13. Las condiciones de asepsia deben ser las mismas que las enunciadas anteriormente.

PRESERVACION Y ALMACENAMIENTO

El análisis bacteriológico de la muestra debe practicarse inmediatamente después de su recolección. Es por ello que se recomienda que, de no efectuarse así el análisis, se inicie dentro de las dos horas próximas a la recolección de la muestra y en ningún caso, este lapso debe exceder de 24 horas para agua potable y de 6 horas para otros tipos de agua para que sea válido el resultado del análisis. Durante el período que transcurre del muestreo al análisis, se debe conservar la muestra a 277K (4°C), con objeto de inhibir la actividad bacteriana para no obtener resultados falsos o dudosos.

PROCEDIMIENTO

Pruebas presuntivas.

Preparación de la muestra e inoculación del medio.

Antes del examen, mezclar perfectamente la muestra agitándola vigorosamente para lograr una distribución uniforme de los microorganismos y, dependiendo de la naturaleza del agua y el contenido bacteriano esperado, hacer todas las diluciones necesarias en esta etapa.

Utilizar series que constan de por lo menos tres diluciones: 10.0 cm³ , 1.0 cm³ , 0.1 cm³ y 0.01 cm³, por cada dilución debe haber 3 o 5 tubos.

Para diluciones a 10 veces, poner 90 ó 9 cm³ del diluyente en matraces o tubos de dilución esterilizados. Alternativamente, usar volúmenes de diluyente pre esterilizado en botellas con tapón de rosca.

Hacer una o más diluciones a 10 veces transfiriendo un volumen de la muestra de agua a 9 volúmenes de diluyente.

Repetir estos pasos cuantas veces sea necesario. Preparar suficiente cantidad de cada dilución para todas las pruebas que se vayan a llevar a cabo con la muestra. Para diluciones diferentes a 10 veces ajustar el volumen de diluyente a la porción de prueba. Inocular los tubos conteniendo medios de aislamiento de doble concentración con porciones de prueba de un volumen mínimo de 5 cm³.

1. Incubación de los tubos. Incubar los tubos inoculados ya sea a $308 \pm 1\text{K}$ ($35 \pm 1^\circ\text{C}$) o $310 \pm 1\text{K}$ ($37 \pm 1^\circ\text{C}$) durante 48 horas. 9.1.3 Examen de los tubos.
2. Examinar los cultivos de los tubos después de un período de incubación de 18 a 24 horas y considerar como resultados positivos aquellos que muestren turbidez debido al crecimiento bacteriano y formación de gas en los tubos internos invertidos (Durham) junto con producción de ácido si el medio de aislamiento contiene un indicador de pH.
3. Reincubar aquellos tubos que no muestran alguno o todos estos cambios y examinarlos nuevamente para detectar reacciones positivas a las 48 horas.
4. Pruebas confirmativas.
5. Inoculación del medio. Resembrar a partir de cada tubo de medio de aislamiento que muestre un resultado positivo en uno o más tubos de medio confirmativo (6.2) para detectar la producción de gas e indol.

NOTA 4.- Si se usa el medio más inhibitorio de caldo lactosa para aislar, resembrar en alguno de los dos medios confirmativos más selectivos, Caldo Bilis Lactosa Verde Brillante o Caldo EC para efectuar la confirmación.

6. Incubación y examen. Para confirmar la presencia de organismos coliformes, incubar un tubo de 9.2.1 de Caldo Bilis Lactosa Verde Brillante o Caldo EC a 310K (37°C) y examinarlo para ver si hay producción de gas dentro de un período de 48 horas. Para confirmar la presencia de organismos coliformes termotolerantes, incubar otro tubo de Caldo Bilis Lactosa Verde Brillante o Caldo EC a 317K (44°C) durante 24 horas para ver si hay producción de gas.
7. Para confirmar la presencia de *E. coli* presuntiva, incubar un tubo de agua de triptona para detectar la formación de indol 317K (44°C) durante 24 horas. Después añadir de 0.2 a 0.3 cm³ de reactivo de Kovacs (6.3) al tubo de agua de triptona; el desarrollo de un anillo de color rojo después de agitar suavemente denota la presencia de indol.

NOTA 5.- La detección de *E. coli* presuntiva se considera una evidencia satisfactoria de contaminación fecal. Sin embargo, pueden efectuarse mayores pruebas para la confirmación de *E. coli* si se considera necesario.

Prueba de oxidasa.

Algunas bacterias existentes en el agua pueden conformarse a la definición de organismos coliformes en muchos aspectos, pero son capaces de producir gas a partir de lactosa solamente a temperaturas inferiores a 310K (37°C). Por consiguiente, dan resultados negativos en las pruebas confirmativas estándar para organismos coliformes y su presencia en agua usualmente no se considera significativa.

Las especies de *Aeromonas*, que se encuentran naturalmente en el agua, tienen una temperatura óptima de crecimiento en el rango 303 a 308K (30 a 35°C), pero a pesar de ello son capaces de producir ácido y gas a partir de lactosa a 310K (37°C). Tienen poco significado para efectos sanitarios y se distinguen del grupo de los coliformes por una reacción de oxidasa positiva.

1. Llevar a cabo la prueba con subcultivos puros de los organismos fermentadores de lactosa, crecidos en medio nutriente de agar, como sigue: - Colocar de 2 a 3 gotas de reactivo de oxidasa recientemente preparado en un papel filtro en una caja de Petri.
2. Con una barra de vidrio o un asa de alambre de platino (no de nicromel), colocar parte del cultivo en el papel filtro preparado.
3. Considerar la aparición de un color azul marino purpúreo en un lapso de 10 segundos como una reacción positiva.

NOTA 6.- En cada ocasión que se use el reactivo de oxidasa, llevar a cabo pruebas de control con cultivos de organismos que se sepa dan una reacción positiva (*Pseudomonas aeruginosa*) y uno que dé una reacción negativa (*E. coli*) en 100 cm³ de la muestra.

Anexo 9

Infraestructura propuesta para la etapa de desinfección en las unidades de producción acuícola de la agencia de Latuvi, Oaxaca.

