



Escuela de Agronegocios

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Agronegocios
**“Evaluación de desempeño zootécnico y de costos de dos
líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis spp.*) bajo
sistemas acuícolas de recirculación.”**

Presentado por:
Esteban de Jesús Zúñiga Vargas

I Semestre, 2024

Hoja de Aprobación del Trabajo Final de Graduación

“Evaluación de desempeño zootécnico y de costos de dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis spp.*) bajo sistemas acuícolas de recirculación”

Proyecto Final de Graduación defendido públicamente por Esteban de Jesús Zúñiga Vargas ante el Tribunal Evaluador de la Escuela de Agronegocios del Tecnológico de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera en Agronegocios con el grado de Licenciatura.

Ing. Felipe Vaquerano Pineda, MGA.
Profesor Asesor

Lic. Carlos Robles Rojas, PhD.
Profesor Consultor

Ing. Juan Ignacio Herrera Muñoz, M.Sc.
Profesor Lector

Dedicatoria

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios nuestro señor padre creador de todas las cosas y vigilante eterno de todos los acontecimientos, por permitirme en varias oportunidades continuar con mis sueños pese a mis acciones. A él debo toda gracia, bendición y talento.

Debo un agradecimiento infinito a mi padre, por su apoyo incondicional apoyo y paciencia y la fiel creencia en mi potencial, lo cual ha demostrado con acciones desde mi nacimiento.

A los jefes Calderón, Guadamuz, Herrera, González (Reyner) y González (Manuel) y más recientemente, a la jefa Villarreal, y a la Lic. Delgado Montoya, por la confianza mostrada en contextos académicos. He tomado esa confianza como el permiso requerido por parte de nuestro Señor Dios Padre, para poder continuar con mis estudios.

Debo agradecer a mis amigos, como el Señor Vega Rodríguez y la Señora Murillo Aguilar, su hijo Fabián, y a otros como a los Señores García, Solórzano, Picado, Cubero y la Señoritas Tencio Cordero y Araya Valerio; por aquellos momentos de ocio y alegría que compartieron conmigo. Tengo plena consciencia de que su amistad prevalece en el tiempo, pese a la distancia y a las circunstancias distintas de cada ser en su día a día.

Finalmente, debo agradecerme a mí mismo, por la perseverancia, disciplina, dedicación y actitud mostradas. Ahora soy consciente que más allá del grado en una profesión o disciplina académica, el verdadero premio se encuentra en una metamorfosis total del yo como individuo, ya que la persona en la que me convertí para adaptarme al proceso formativo es aquella quien siempre quise ser.

Resumen

El trabajo tuvo como objetivo evaluar el desempeño y costo de dos líneas del género *Oreochromis* en un sistema recirculado tradicional. Se evaluó el crecimiento, la eficiencia y el rendimiento post-mortem de dos líneas genéticas (*O. aureus* y el híbrido *O. niloticus* x *O. aureus* var. Rocky Mountain White) en un sistema cerrado de recirculación tradicional; esto haciendo un uso de parámetros zootécnicos, mientras que los costos totales y unitarios se cargaron a cada línea mediante el modelo de costo por orden de trabajo. Adicionalmente, se utilizó la metodología del ciclo Deming (PHVA) para evaluar las diferencias encontradas y determinar por qué son causadas, obteniendo como resultado un mejor desempeño zootécnico y un costo unitario menor por parte de *O. aureus* en temperaturas inferiores a los 24°C, con exposición prolongada a nitritos y en un ambiente con luz insuficiente, lo que sugiere una corrección de estos tres defectos de diseño y operación.

Palabras clave: Parámetros zootécnicos, *Oreochromis*, costos totales, costos unitarios, acuicultura, Sistema RAS.

Abstract

The aim of the study was to evaluate the performance and cost of two lines of the *Oreochromis* genus in a traditional recirculating system. The growth, efficiency, and post-mortem performance of two genetic lines (*O. aureus* and the hybrid *O. niloticus* x *O. aureus* var. Rocky Mountain White) were assessed in a closed traditional recirculation system, utilizing zootechnical parameters, while total and unit costs were allocated to each line using the job order costing model. Additionally, the Deming cycle methodology (PDCA) was employed to evaluate the differences found and determine the causes of these differences, resulting in better zootechnical performance and lower unit cost for *O. aureus* at temperatures below 24°C, with prolonged exposure to nitrites and in an environment with insufficient light, suggesting a correction of these three design and operational defects.

Key words: Zootechnical parameters, *Oreochromis*, total costs, unit costs, aquaculture, RAS System.

Índice General

Hoja de Aprobación del Trabajo Final de Graduación	2
Dedicatoria	3
Agradecimientos	4
Resumen	5
Abstract	6
Índice General	7
Índice de Tablas	12
Índice de Figuras	17
Capítulo I. Introducción	21
1.1 El problema y su importancia	21
1.2 Antecedentes del problema	22
1.3 Objetivos	24
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	24
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	24
1.4 Planteamiento de la hipótesis	24
Capítulo II. Marco Teórico	25
2.1 Acuicultura en Costa Rica	25
2.2 Biología de la tilapia (<i>Oreochromis spp.</i>)	26
2.3 Variedades de tilapia	28
2.3.1 <i>Oreochromis aureus</i>	28
2.3.2 <i>Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus (var Rocky Mountain White)</i> 28	
2.4 Parámetros físico-químicos de calidad de agua para cada variedad de tilapia 29	
2.4.1 <i>Temperatura</i>	29
2.4.2 <i>pH</i>	31
2.4.3 <i>Alcalinidad</i>	32
2.4.4 <i>Oxígeno Disuelto</i>	33
2.4.5 <i>Porcentaje de saturación del oxígeno</i>	35
2.4.6 <i>Salinidad</i>	37
2.4.7 <i>Dureza</i>	38
2.4.8 <i>Nitrógeno Amoniacal Total</i>	40

2.4.9	<i>Nitrato</i>	42
2.4.10	<i>Nitrito</i>	43
2.5	Sistemas de RAS tradicional	46
2.6	Parámetros de crecimiento	49
2.6.1	<i>Ganancia de peso total (GPT)</i>	49
2.6.2	<i>Incremento de longitud estándar (iSL)</i>	50
2.6.3	<i>Incremento de longitud de ancho (iSW)</i>	52
2.7	Parámetros de eficiencia	54
2.7.1	<i>Consumo de alimento (CON)</i>	54
2.7.2	<i>Mortalidad</i>	55
2.7.3	<i>Tasa específica de crecimiento</i>	57
2.8	Crecimiento en peces	59
2.8.1	<i>Modelos matemáticos de Crecimiento</i>	61
2.8.2	<i>Modelos matemáticos de Crecimiento de von Bertalanffy</i>	62
2.8.3	<i>Factor de Conversión alimenticia (FCR)</i>	63
2.8.4	<i>Coficiente térmico de crecimiento (CTC)</i>	65
2.9	Parámetros de rendimiento	67
2.9.1	<i>Índice viscerosomático (iVS)</i>	67
2.9.2	<i>Relación Cabeza-Cuerpo (RCC)</i>	68
2.9.3	<i>Rendimiento en canal</i>	70
2.10	Costos de producción para una explotación de tilapia	71
2.10.1	<i>Costo Materias Primas</i>	71
2.10.2	<i>Costo de mano de obra</i>	72
2.10.3	<i>Costos indirectos de producción</i>	72
2.11	Costos comparados	73
2.11.1	<i>Costos unitarios por kilogramo de peso vivo</i>	74
Capítulo III. Metodología		77
3.1	Enfoque de la investigación	77
3.2	Tipo de investigación	77
3.3	Marco espacial y temporal	77
3.4	Sujetos de información	79
3.5	Fuentes de información	80
3.6	Variables o categorías de análisis	80
3.7	Herramientas	81

3.7.1	Análisis estadísticos de las variables respuesta	81
3.7.2	Determinación de costos totales por elemento y costos unitarios	82
3.8	Sistematización de objetivos	82
3.8.1	<i>Objetivo 1</i>	82
3.8.2	<i>Objetivo 2 (modelo de costo lotes de producción, asignación de costos por elemento)</i>	115
3.8.2.1	<i>Clasificación de los costos por el criterio de los elementos</i>	115
3.8.2.1.1	<i>Materiales Directos</i>	115
3.8.2.1.1.1	<i>Material Genético</i>	115
3.8.2.1.1.2	<i>Alimentos balanceados</i>	116
3.8.2.1.1.3	<i>Mano de Obra</i>	117
3.8.2.1.1.4	<i>Costos Indirectos</i>	117
3.8.2.1.1.4.1	<i>Depreciación Inmuebles</i>	117
3.8.2.1.1.4.2	<i>Depreciación Maquinaria</i>	118
3.8.2.1.1.4.3	<i>Costos Energéticos</i>	119
3.8.2.1.1.4.4	<i>Costos Hídricos</i>	121
3.8.2.1.1.4.5	<i>Costos de Monitoreo</i>	121
3.8.2.1.1.4.6	<i>Otros Gastos: Mortalidad</i>	122
3.8.2.2	Modelo de costos de producción por lote-orden de trabajo	122
3.8.3	<i>Objetivo 3</i>	124
Capítulo IV. Resultados		126
4.1	Parámetros físico-químicos de calidad de agua	126
4.1.1	<i>Temperatura</i>	126
4.1.2	<i>pH</i>	127
4.1.3	<i>Alcalinidad</i>	129
4.1.4	<i>Oxígeno Disuelto</i>	130
4.1.5	<i>Porcentaje de saturación del oxígeno</i>	131
4.1.6	<i>Salinidad</i>	132
4.1.7	<i>Dureza</i>	133
4.1.8	<i>Nitrógeno amoniacal</i>	133
4.1.9	<i>Nitrato</i>	137
4.1.10	<i>Nitrito</i>	138
4.2	Parámetros de crecimiento	139
4.2.1	<i>Ganancia de peso total (GPT)</i>	139

4.2.2	<i>Incremento de longitud estándar (iSL)</i>	141
4.2.3	<i>Incremento de longitud de ancho (iSW)</i>	142
4.3	Parámetros de Eficiencia	143
4.3.1	<i>Consumo de alimento (CON)</i>	143
4.3.2	<i>Porcentaje de Mortalidad</i>	145
4.3.3	<i>Tasa específica de crecimiento</i>	146
4.3.4	<i>Factor de Conversión alimenticia (FCR)</i>	147
4.3.5	<i>Coficiente térmico de crecimiento (CTC)</i>	148
4.4	Parámetros de rendimiento	149
4.4.1	<i>Índice viscerosomático (iVS)</i>	149
4.4.2	<i>Relación Cabeza-Cuerpo (RCC)</i>	149
4.4.3	<i>Rendimiento en Canal</i>	149
4.5	Costos de producción	150
4.5.1	<i>Materiales directos</i>	150
4.5.2	<i>Mano de obra</i>	151
4.5.3	<i>Costos indirectos de producción</i>	152
4.5.4	<i>Otros Gastos: Mortalidad</i>	160
4.5.5	<i>Orden de trabajo y costos unitarios</i>	161
Capítulo V.	Discusión	163
5	163
5.1	Parámetros físico-químicos de calidad de agua	163
5.1.1	Temperatura	163
5.1.2	pH	164
5.1.3	Alcalinidad	165
5.1.4	Oxígeno	166
5.1.5	Salinidad	168
5.1.6	Dureza	169
5.1.7	Nitrato	173
5.1.8	Nitrito	174
5.1.9	Valoración general general del biosistema	176
5.2	Parámetros de crecimiento	178
5.2.1	Ganancia de peso total	178
5.2.2	Incremento en longitud estándar, longitud de ancho y estimación del peso con dimensiones	183

5.2	Parámetros de eficiencia	186
5.2.1	Consumo de alimento (CON)	186
5.2.2	Mortalidad	189
5.2.3	Tasa específica de crecimiento	190
5.2.4	Factor de conversión alimenticia (FCR)	193
5.2.5	Coefficiente térmico de crecimiento (CTC).....	196
5.3	Parámetros de rendimiento	198
5.3.1	Índice viscerosomático	198
5.3.2	Relación cabeza cuerpo.....	200
5.4	Costos de Producción	203
5.5	Costos unitarios	205
5.6	Priorización de causas de variación	210
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones		212
5.6	Conclusiones	212
5.7	Recomendaciones	213
Capítulo VI. Bibliografía		214
Capítulo VII. Apéndices y Anexos		220
7.1	Apéndices	220
7.1.1	Ecuación Peso en función del tiempo (Regresión polinomial en una variable) 235	
7.1.1.1	O. Aureus	235
7.1.1.2	O. nilóticus x O. aureus (Var. Rocky Mountain white	235
7.2	Anexos	236
7.3	Glosario	240

Índice de Tablas

Tabla 1: Resumen de los valores macroeconómicos relacionados a la pesca y acuicultura (2015)	25
Tabla 2: Desglose del volumen demandado de pescados y mariscos en Costa Rica para el año 2015	26
Tabla 3: Valores especificados de Temperatura para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	30
Tabla 4: Valores especificados de pH para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	31
Tabla 5: Valores especificados de alcalinidad para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	32
Tabla 6: Valores especificados de Oxígeno Disuelto para líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	34
Tabla 7: Valores especificados de saturación de oxígeno para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	36
Tabla 8: Valores especificados de Salinidad para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	38
Tabla 9: Valores especificados de Dureza d para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	39
Tabla 10: Valores especificados de Nitrógeno Amoniacal Total para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	41
Tabla 11: Valores especificados de Nitrato para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	43
Tabla 12: Valores especificados de Nitrito para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	45

Tabla 13: Valores de referencia para Ganancia de peso total (GPT) para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	49
Tabla 14: Valores de referencia para Ganancia de peso total (GPT) para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)0	51
Tabla 15: Valores de referencia para Incremento de longitud de ancho (iSW) para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	52
Tabla 16: Valores de referencia para Consumo de alimento (CON) para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	54
Tabla 17: Valores de referencia para mortalidad para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	56
Tabla 18: Valores de referencia para Tasa específica de crecimiento (SGR) para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	58
Tabla 19: Valores de referencia para Factor de conversión alimenticia (FCR) para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	64
Tabla 20: Valores de referencia para Coeficiente termico de Crecimiento (CTC) para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	66
Tabla 21: Valores de referencia para Índice viscerosomatico (iVS) para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	67
Tabla 22: Valores de referencia para Relación Cabeza Cuerpo (RCC) para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)	69

Tabla 23: Valores de referencia para Relación Cabeza Cuerpo (RCC) para dos líneas genéticas de tilapia (<i>Oreochromis aureus</i> y <i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i> V. Rocky Mountain White).....	70
Tabla 24: Costos de alimentación estimados por variedad de tilapia.....	74
Tabla 25: Costo de mano de Obra estimados por variedad de tilapia	74
Tabla 26: Informe de gestión para una producción de tilapia de 7625 kilogramos producidos en el año 2006 con estimaciones monetarias para el año 2022	75
Tabla 27: Fórmula Experimental.....	85
Tabla 28: Régimen de Alimentación para ambos tratamientos.....	107
Tabla 29: Pesos y ganancias promedio por tratamiento	139
Tabla 30: Incremento de longitud estándar por tratamiento.....	141
Tabla 31: Incrementos de ancho estándar por tratamiento	142
Tabla 32: Consumo de alimento por tratamiento	143
Tabla 33: Consumo de alimento diario como porcentaje del peso corporal (%BWD) por tratamiento.....	144
Tabla 34: Mortalidad por tratamiento	145
Tabla 35: Valores de tasa específica de crecimiento por tratamiento	146
Tabla 36: Valores de factor de conversión alimenticia (FCR) por tratamiento	147
Tabla 37: Valores de coeficiente térmico de crecimiento por tratamiento.....	148
Tabla 38: Índice viscerosomático por tratamiento	149
Tabla 39: Relación cabeza cuerpo por tratamiento	149
Tabla 40: Rendimiento en canal por tratamiento	149
Tabla 41: Costos de semilla (material genético) por tratamiento-especie.....	150
Tabla 42: Costos totales de alimentación por tratamiento-especie	150
Tabla 43: Costos de mano de obra por mes de trabajo.....	151
Tabla 44: Cargo de la mano de obra a cada tratamiento-especie	151
Tabla 45: Costos de instalación y puesta en marcha del Sistema tradicional de recirculación	154
Tabla 46: Cargo de la depreciación de la maquinaria y equipos del Sistema tradicional de recirculación a cada tratamiento-especie.....	155

Tabla 47: Inventario, consumo y costos energéticos del Sistema tradicional de Recirculación	156
Tabla 48: Cargo de la energía eléctrica consumida en la operación del Sistema Tradicional de Recirculación a cada tratamiento-especie.....	157
Tabla 49: Costos por uso hídrico del Sistema tradicional de recirculación bajo un 5% de recambio diario.....	157
Tabla 50: Cargo del costo hídrico a cada tratamiento-especie	158
Tabla 51: Costos por concepto de monitoreo	158
Tabla 52: Cargo del costo de monitoreo a cada tratamiento-especie	159
Tabla 53: Valuación del costo de mortalidad para cada tratamiento-especie (materias primas + costos de conversión)	160
Tabla 54: Hoja de trabajo y costos unitario de producción para cada especie-tratamiento	161
Tabla 55: Categorías para la lectura de la figura 46.....	210
Tabla 56: Pruebas de normalidad para la temperatura por subgrupo (semana) en función del tiempo	225
Tabla 57: Pruebas de normalidad para la alcalinidad por subgrupo (semana) en función del tiempo	228
Tabla 58: Pruebas de normalidad para el oxígeno disuelto por subgrupo (semana) en función del tiempo	229
Tabla 59: Pruebas de normalidad para la saturación de oxígeno por subgrupo (semana) en función del tiempo	230
Tabla 60: Pruebas de normalidad para la dureza por subgrupo (semana) en función del tiempo	230
Tabla 61: Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para cambio de peso promedio.....	231
Tabla 62: Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para incremento de longitud estándar.....	231
Tabla 63: Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para incremento de ancho estándar	231

Tabla 64: Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para consumo de alimento	232
Tabla 65: Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para %BDW	233
Tabla 66: Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para mortalidad.....	233
Tabla 67: Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para tasa específica de crecimiento.....	233
Tabla 68: Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para factor de conversión alimenticia.....	234
Tabla 69: Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para los coeficientes térmicos de crecimiento.....	234
Tabla 70: Valores de p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para los parámetros de rendimiento	234
Tabla 71: Costos de TOSC para un mes de trabajo a tiempo completo más cargas patronales	235
Tabla 72: Tasas mensuales de depreciación, maquinaria y equipo	235
Tabla 73: Porcentaje de concentración de amoniaco en función del pH y la temperatura	236
Tabla 74: Tabla de Alimentación ATA.....	237
Tabla 75: Procedimientos de control estadístico para el control de calidad de aguas en sistema recirculado	238
Tabla 76: Tabla de coeficientes para control estadístico de procesos y calidad	239

Índice de Figuras

Figura 1: Diferencias visuales entre las líneas genéticas/razas	28
Figura 2: Diagrama P&iD de un sistema acuícola RAS tradicional	48
Figura 3: <i>Curvas de crecimiento para animales terrestres y acuáticos</i>	60
Figura 4: Estación experimental de ganado lechero Alfredo Volio Mata, Universidad De Costa Rica.....	78
Figura 5: Idea y elementos de una gráfica de control estadístico.....	96
Figura 6: Esquema de flujo de proceso por tareas y sub tareas.....	103
Figura 7: Carta de control Shewhart tipo X-S para el control de la temperatura.....	126
Figura 8: Valores de pH durante los 100 días de la fase de desarrollo	127
Figura 9: Carta de control Shewhart tipo P (basado en la proporción de pH menores a 6.5 y mayores a 8) durante los 100 días de la fase de desarrollo.....	128
Figura 10: Carta de control Shewhart tipo X-R para la alcalinidad durante los 100 días de la fase de desarrollo	129
Figura 11: Carta de control Shewhart tipo X-R para el oxígeno disuelto durante los 100 días de la fase de desarrollo	130
Figura 12: Carta de control Shewhart tipo X-R para la saturación del oxígeno durante los 100 días de la fase de desarrollo.....	131
Figura 13: Carta de control Shewhart tipo X-R para la salinidad durante los 100 días de la fase de desarrollo	132
Figura 14: Carta de control Shewhart tipo X-R para la dureza durante los primeros 37 días de la fase de desarrollo	133
Figura 15: Serie de tiempo para el nitrógeno amoniacal total durante los 100 días de la fase de desarrollo	134
Figura 16: Serie de tiempo para la concentración de amoniaco durante los 100 días de la fase de desarrollo	134
Figura 17: Carta de control Shewhart tipo P (basado en valores de amoniaco mayores a 0.1ppm) durante los primeros 100 días de la fase de desarrollo.....	135
Figura 18: Serie de tiempo para la concentración de ion amonio durante los 100 días de la fase de desarrollo	136

Figura 19: Carta de control Shewhart tipo P (basado en la proporción de mediciones de NH ₄ ⁺ mayores a 3ppm) durante los 100 días de la fase de desarrollo	136
Figura 20: Serie de tiempo para los nitratos durante los 100 días de la fase de desarrollo	137
Figura 21: Serie de tiempo para la concentración de nitritos durante los 100 días de la fase de desarrollo	138
Figura 22: Carta de control Shewhart tipo P (basado en los valores de concentración de nitritos diferentes de 0ppm) durante los 100 días de la fase de desarrollo	138
Figura 23: Comportamiento de la tasa de ganancia respecto al tiempo para ambas líneas genéticas	140
Figura 24: Medición satelital para determinar el área del inmueble de trabajo	152
Figura 25: Correlación entre la saturación del oxígeno y su concentración.....	167
Figura 26: Correlación de la dureza a partir de la alcalinidad.....	169
Figura 27: Predicción de la dureza a partir de la alcalinidad	171
Figura 28: Dinámica de los compuestos nitrogenados.....	172
Figura 29: Evaluación de la calidad de agua del sistema RAS respecto a su capacidad mantener los parámetros en rango de confort.....	177
Figura 30: Peso en función del tiempo para ambos tratamientos.....	179
Figura 31: Tasa de Ganancia de peso respecto al tiempo para ambos tratamientos	180
Figura 32: Curvas de crecimiento estimadas para <i>Oreochromis Aureus</i>	181
Figura 33: <i>Tasa de ganancia de peso estimadas para <i>Oreochromis aureus</i></i>	182
Figura 34: Curvas de crecimiento estimadas para <i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i> var. Rocky Mountain White	182
Figura 35: Tasas de ganancia de peso estimadas para <i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i> var. Rocky Mountain White	183
Figura 36: Superficie predictora de la ganancia de peso total media en función del largo y ancho para <i>Oreochromis aureus</i>	184
Figura 37: Superficie predictora de la ganancia de peso total media para <i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i> var Rocky Mountain White, en función del largo y del ancho	185
Figura 38: Consumo de alimento para <i>Oreochromis Aureus</i> real vs proyectado.....	187

Figura 39: Consumo de alimento para <i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i> var. Rocky Mountain White, real vs proyectado	188
Figura 40: Mortalidad y dinámica de nitritos respecto al tiempo para ambos tratamientos	190
Figura 41: Predicción del peso respecto al tiempo con la tasa específica de crecimiento global como estimador para <i>Oreochromis aureus</i>	192
Figura 42: Predicción del peso respecto al tiempo con la tasa específica de crecimiento global como estimador para <i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i> var. Rocky Mountain White	193
Figura 43: Comportamiento del FCR según las tasas de alimentación y ganancia para <i>Oreochromis Aureus</i>	194
Figura 44: Comportamiento del FCR según las tasas de alimentación y ganancia para <i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i> var. Rocky Mountain White	195
Figura 45: Comportamiento del CTC y la tasa de ganancia diaria para <i>Oreochromis aureus</i> en función de la temperatura	197
Figura 46: Comparación de índice viscerosomático por sexo entre ambas líneas genéticas	198
Figura 47: Comparación de pesos por sexo entre ambas líneas genéticas	199
Figura 48: Comparación entre cantidad de individuos por sexo para cada tratamiento ...	200
Figura 49: Comparación de relación cabeza cuerpo por sexo entre ambas líneas genéticas	201
Figura 50: Comparación de rendimiento en canal por sexo para ambos tratamientos.....	203
Figura 51: Distribución de los costos de producción	205
Figura 52: Costo unitario respecto al tiempo para <i>Oreochromis Aureus</i>	206
Figura 53: Costo unitario respecto al tiempo para <i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i> var. Rocky Mountain White	207
Figura 54: <i>Análisis de causa raíz explicativo del desempeño de crecimiento observado.</i>	209
Figura 55: Distribución de la ponderación de las causas identificadas en el desempeño del crecimiento, por categoría de las 6M.....	210
Figura 56: Identificación de las causas más importantes de variación en el desempeño del crecimiento observado	211

Figura 57: Formato de registro para operaciones diarias	220
Figura 58: Kit colorimétricos utilizados durante el ensayo.....	221
Figura 59: Sonda Multiparamétrica YSI professional Plus.....	222
Figura 60: Eugenol 100% v/v como anestésico	222
Figura 61: Calibrador vernier 6" Truper	223
Figura 62: Balanzas granatarias utilizadas	224
Figura 63: Esquema de flujo y funcionamiento, sistema RAS	225

Capítulo I. Introducción

El siguiente trabajo determina la productividad en función de dos variables; el desempeño zootécnico y los costos incurridos en la producción para las siguientes dos líneas genéticas de tilapia: *Oreochromis aureus* y el híbrido *Oreochromis sp. var. Rocky Mountain White* durante 100 días de la fase de desarrollo. Para evaluar las diferencias entre líneas genéticas se aplicó la metodología Deming (Planear-Hacer-Verificar-Actuar) de modo que se evalúan cuáles son las diferencias entre líneas genéticas, y qué las causan. A lo largo del documento se visualiza las siglas del ciclo Deming PHVA a la par del título de cada capítulo.

El presente proyecto se llevó a cabo en la estación experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica, en la localidad de Ochomogo en la provincia de Cartago, en un sistema cerrado de recirculación de aguas tradicional.

Las condiciones de crianza se mantienen constantes, lo que implica que los peces crecen con una única fuente de suministro de agua de calidad similar, con esquemas de alimentación idénticos, en donde se establece como variable - tratamiento la variedad o línea genética de tilapia. Dicho trabajo se realizará en coordinación con el Ing. Juan Ignacio Herrera y el Ing. Alejandro Chacón Villalobos, en el marco de la investigación "Desempeño zootécnico de dos líneas de tilapia (*Oreochromis spp.*) bajo sistemas acuícolas de recirculación".

1.1 El problema y su importancia

La generación de información sobre desempeño de líneas utilizadas localmente en sistemas acuícolas de recirculación constituye un insumo primario y fundamental para el impulso de estas tecnologías, en la búsqueda de una industria competitiva con una menor huella ecológica. Sin embargo, pese a la existencia de grupos de investigación en la acuicultura a nivel nacional e investigación desarrollada por el Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura y el Ministerio de Agricultura y Ganadería; o entidades privadas como AQUACORPORACIÓN Internacional S.A, esta información carece de calidad científica o es de carácter privado, respectivamente, lo que dificulta la selección de variedades genéticas al momento de establecer proyectos comerciales de acuicultura dadas ciertas condiciones ambientales y de nutrición (Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2022). Actualmente, hay información disponible a nivel nacional acerca de otros proyectos acuícolas que han sido formulados y evaluados, sin embargo, hay poca información

disponible en cuanto a los costos de producción por elemento del costo, y la información disponible no es del todo aplicable porque no es reciente y no responde a las condiciones ambientales en las que el experimento se llevó a cabo, no compara variedades del cultivar en cuanto al desempeño y productividad en condiciones de clima premontano bajo.

Por lo anterior, este proyecto plantea abordar el problema de faltante de información de requerimientos de infraestructura, maquinaria, equipo, procesos operativos en términos de costo y el desempeño en campo en un sistema cerrado de recirculación con mínimo recambio, de las dos líneas de tilapia: *Oreochromis aureus* y *Oreochromis sp. var. Rocky Mountain White*; con la finalidad de que dicha información sea de utilidad para la formulación y evaluación de proyectos de modalidad similar, logrando disminuir así la cantidad de agua utilizada en la crianza de tilapia como fuente de proteína en la dieta de consumo humano.

El proyecto plantea el Ciclo Deming de planear, hacer, verificar y actuar como alternativa para encontrar las diferencias significativas entre ambas líneas genéticas, cuáles son las causas aleatorias y asignables que las producen, y cuál es la relación entre las causas y los efectos para identificar las causas raíz de los efectos observados y plantea acciones de mejora para eliminar aquellos efectos que se consideran indeseados en una explotación acuícola en sistemas de recirculación tradicional.

1.2 Antecedentes del problema

Actualmente, se torna evidente la importancia que tiene la acuicultura como actividad sostenible para el abastecimiento mundial de alimentos y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas, por lo que esta actividad productiva se perfila como un medio de abastecimiento de nutrientes para la población mundial, como fuente de crecimiento económico y generadora de empleo. Recientemente, el informe del Estado de Pesca y Acuicultura, (FAO, 2022), deja entrever el impacto e importancia que involucra la acuicultura como producción sostenible que persigue cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible; propuestos para la Agenda 2030 de la Organización de las naciones Unidas, especialmente en la protección de la vida submarina y la generación de empleo. Del año 2015 a 2020 disminuyó la captura de peces en un 2,1% (para un total de 90.3 megatoneladas) y aumentando la acuicultura en un 2.7% (total de 87.5 megatoneladas), teniendo un auge desde la década de los años 1980 hasta la actualidad.

Debido a la necesidad de impulsar estas tecnologías, la generación y acceso a información pública se convierte en un insumo primario; buscando el desarrollo de una industria acuícola más competitiva, y sostenible en el tiempo.

El crecimiento de la acuicultura a nivel mundial y nacional se relaciona, por un lado, con la inestabilidad en la producción de las pesquerías importantes, y por otro con los costos mayores que implica la extracción de las especies marinas de interés comercial. En este sentido la acuicultura está contribuyendo ante un faltante o escasez de producto pesquero de extracción, para llenar una demanda creciente como resultado de un incremento tanto en la población mundial como del consumo per cápita de producto pesquero y acuícola (INCOPECA, 2019).

En Costa Rica existen algunos grupos de investigación dedicados a la producción acuícola, los cuales han desarrollado trabajos de primer nivel y realizado avances importantes para la industria, pero paradójicamente estos esfuerzos se han enfocado principalmente en camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y alternativas de nuevas especies piscícolas, principalmente marinas de alto valor, como el pargo manchado (*Lutjanus guttatus*) y la corvina (*Argyrosomus regius*), o endémicas como el guapote (*Paracromis dovii*); existe muy poca información publicada a nivel local sobre la especie de mayor distribución y volumen de producción: *Oreochromis spp* (Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2022).

Anteriormente, se ha estudiado el desempeño de las variedades de tilapia seleccionadas para esta investigación, sea evaluado su desempeño en diferentes localizaciones, esquemas de alimentación y en un sistema de circulación de flujo continuo (Chacón Palma, 2001).

En Costa Rica, la producción de tilapia representa el 80% de la producción acuícola presente y es manejada esencialmente por la empresa Aquacorporación Internacional S.A., la cual abarca el 76% de la producción total de tilapia (INCOPECA, 2019).

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo General*

- Evaluar el desempeño productivo y los costos de producción de dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis spp.*) durante la fase de desarrollo, bajo condiciones controladas en un sistema convencional de recirculación con mínimo recambio.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Generar valores comparativos de referencia sobre parámetros productivos y de rendimiento para dos líneas de tilapia de interés comercial en Costa Rica, bajo condiciones del estudio.
- Identificar los principales elementos del costo de producción para dos líneas de tilapia de interés comercial en Costa Rica en la fase de desarrollo, bajo las condiciones del estudio.
- Determinar costos unitarios de producción de peso vivo de dos líneas de tilapia de interés comercial en Costa Rica como parámetro de selección del material genético a cultivar.

1.4 Planteamiento de la hipótesis

Como objetivo del estudio, se plantea como hipótesis nula comprobar que, en las condiciones ambientales de Ochomogo de Cartago, las variedades de tilapia; *Oreochromis aureus*, *Oreochromis niloticus x aureus* (var. Rocky Mountain White) no existe alguna diferencia significativa en cuanto al crecimiento, eficiencia y rendimiento entre variedades genéticas durante los últimos 90 días de la fase de desarrollo previos a la cosecha.

En contraste con lo anterior, y por disyunción simple, se sugiere que una posible hipótesis alternativa, es que, en el contexto productivo establecido, existe al menos, una diferencia significativa en cuanto al crecimiento, eficiencia y rendimiento entre variedades genéticas.

Capítulo II. Marco Teórico

2.1 Acuicultura en Costa Rica

“La Acuicultura costarricense inicia en el año 1963 con la introducción al país de *Oreochromis mossambicus* y *Sarotherodon melanopleura* traídos desde El Salvador por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). En 1965 y 1966 el Comité de Diversificación Agrícola de Turrialba y el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas realizan un esfuerzo por organizar la actividad y vuelven a importar especies de El Salvador, se continúa brindando asesoría a los pequeños productores y es en 1974 cuando se consolida esta actividad con la creación del Departamento de Acuicultura dentro de la Dirección General de Recursos Pesqueros y de Vida Silvestre del MAG” (Zúñiga Meléndez, 2008).

Actualmente, es difícil determinar la participación en el PIB que tiene la acuicultura en Costa Rica, debido a que la contabilidad macroeconómica no desglosa la actividad acuícola y pesquera, se sugiere que el aporte de la acuicultura es mayor al de la pesca actualmente, sin embargo, se ve opacada por la disminución de la actividad pesquera (INCOPECA, 2019).

Del 2000 al 2010, la contribución del sector Pesquero y Acuícola en el producto Interno Bruto Agropecuario (PIBA) se estimó en 1.4%, al 2015 la participación correspondió a un 0.10% dentro del Producto Interno Bruto (PIB). En cuanto al Valor Agregado Agropecuario (VAA), el aporte es bajo, con un 8,6%, y en cuanto a las exportaciones, el sector de pesca y acuicultura alcanzó en 2014, una participación del 1,6% el sector de pesca y acuicultura alcanzó un valor de 9 millones de dólares netos.

Tabla 1:

Resumen de los valores macroeconómicos relacionados a la pesca y acuicultura (2015)

INDICADORES VAA	Monto (Millones US\$)
PIB	4819
Valor Agregado Agropecuario	412
Aporte al Valor Agregado por Sector Agrícola	316
Aporte al Valor Agregado por Sector Pecuario	75
Aporte al Valor Agregado por Sector Pesca y Acuícola	9
Participación del Agregado Agropecuario en el PIB	8.6%
Balanza Agropecuaria (US\$ exportado por US\$ importado)	2.10
Balanza Comercial Costa Rica (US\$ exportado por US\$ importado)	0.62

Nota: Estimaciones con tipo de cambio de ₡532.13 Fuente: (INCOPECA, 2019).

El consumo nacional de pescado rondó las 83 000 toneladas, de las cuales 72 000 fueron c de las cuales apenas 1400 toneladas son cubiertas por el sector acuícola teniendo como referencia un consumo per cápita de 7.2 kilogramos de pescado por año.

Tabla 2:

Desglose del volumen demandado de pescados y mariscos en Costa Rica para el año 2015

Volúmenes de consumo e importación	Peso (ton)
Consumo nacional de pescados y mariscos	83000
Importaciones	72000
Producción Nacional	11000
Producidos por el sector acuícola nacional.	1400
Volumen de tilapia importado	23760

Nota: Obtenido de Plan estratégico de Acuicultura 2019-2023. Fuente: (INCOPECA, 2019).

Tal y como se visualiza en la tabla 1, la acuicultura costarricense representa un rubro macroeconómico importante, siendo una fuente de exportación del sector de pesca y acuicultura, generando hasta 2.10 dólares exportados por cada dólar importado para su implementación, aportando hasta un 8.6% del PIB agropecuario a nivel nacional. En la tabla 3, se puede visualizar la distribución del origen de los mariscos a nivel nacional, siendo este de 83.000 toneladas para el año 2015, por lo que la producción sostenible de pescado es una necesidad estratégica de los sectores agropecuario y pesquero.

2.2 Biología de la tilapia (*Oreochromis spp.*)

Es una especie proveniente del Río Nilo, de muy fácil adaptación, presenta una excelente resistencia a enfermedades, tienden a adaptarse a condiciones adversas como bajas concentraciones de oxígeno disuelto, salinidad alta, turbidez del agua; presenta un crecimiento rápido, con pocas interrupciones, y se adapta a todo tipo de alimentación natural o artificial, y debido a estas características, actualmente está distribuida en todo el mundo,

además son muy prolíficas y la edad de madurez sexual se alcanza con mucha rapidez. (El-Sayed, 2006).

Los rangos de temperatura máximos para el cultivo de la tilapia se encuentran entre los 38-42 °C, la óptima entre 20-35 °C, la mínima entre 8-10 °C y la temperatura para el crecimiento entre 25-32 °C., lo normal es una temperatura del agua a 28 °C, con concentraciones de oxígeno de 5mg/l y pH entre 6 y 8, ya que un valor menor causaría muerte por acidez, y por encima de 9 ocasiona la muerte alcalina”

Es una especie resistente a la manipulación, a las enfermedades y a factores físicos y/o químicos, igualmente al manejo del sistema productivo, encalamiento, fertilizaciones varias, muestreos, biometría, control de parámetros (pH, temperatura, oxígeno disuelto, visibilidad, amoníaco) y su regulación (Saavedra Martínez, 2006).

Son especies aptas para el cultivo en zonas tropicales y subtropicales. Debido a su naturaleza híbrida, se adapta con gran facilidad a ambientes lénticos (aguas poco estancadas), estanques, lagunas, reservorios y en general a medios confinados (Nicovita, s.F)

“Es una especie muy prolífera, a edad temprana y tamaño pequeño. Se reproduce entre 20 - 25 °C (trópico). El huevo de mayor tamaño es más eficiente para la eclosión y fecundidad. La madurez sexual se da a los 2 ó 3 meses. En áreas subtropicales la temperatura de reproducción es un poco menor de 20 - 23 °C. La luz también influye en la reproducción, el aumento de la iluminación o disminución de 8 horas dificultan la reproducción. Tiene 7 etapas de desarrollo embrionario, después del desove completa 4 etapas. El tamaño del huevo indica cuál será el tamaño por elegir para obtener el mejor tamaño de alevín. reproductivo (apareamiento) de *Oreochromis niloticus* en cautividad Son capaces de crecer entre los 800 m.s.n.m y los 2000 m.s.n.m” (Saavedra Martínez, 2006).

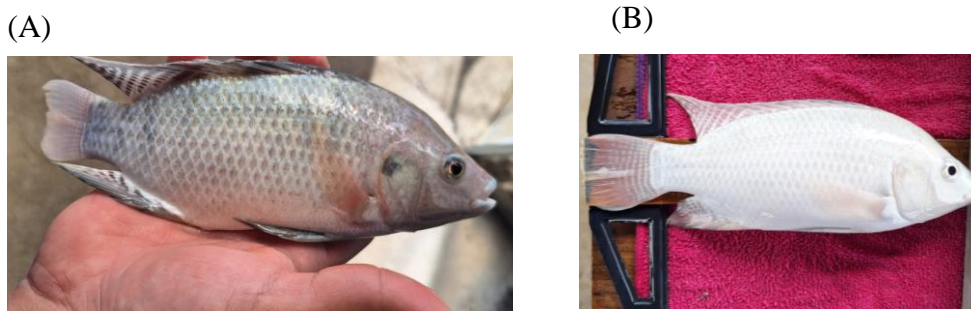
Por lo tanto, es una especie muy prolífica, resistente a amplios rangos de condiciones ambientales, con un rápido desarrollo y de muy alta competitividad, lo que la perfila con unas aptitudes biológicas y productivas bastante atractivas que la colocan como una especie de interés comercial de importancia creciente interanualmente, a nivel global, y especialmente en las regiones tropicales, ya que su rango de temperatura óptimo es típico en este tipo de

regiones a nivel global, siendo una fuente de proteína animal viable para la alimentación humana.

2.3 Variedades de tilapia

Figura 1:

Diferencias visuales entre las líneas genéticas/razas



Nota: (A) es la línea genética *Oreochromis aureus* y (B) es la línea genética híbrida *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*

2.3.1 *Oreochromis aureus*

Es originaria de África y se ha introducido en muchas partes del mundo para la acuicultura debido a su rápida tasa de crecimiento y su resistencia a enfermedades. La especie *Oreochromis aureus* se caracteriza por tener un cuerpo ovalado y comprimido, una cabeza pequeña y puntiaguda, una boca grande y oblicua y una aleta dorsal con 16 a 18 radios espinosos tal y como se muestra en la figura 2. Posee un cuerpo redondeado y comprimido, alcanzado un peso de 250 a 300 gramos en 100 días. Berman, (1997) citado por Chacón Palma, (2001), establece que; para un peso inicial de un 1 gramo y un peso final de 900 gramos, se requieren 395 días en un sistema de cultivo en estanque, en modalidad extensiva.

2.3.2 *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus* (var *Rocky Mountain White*)

Se originó en los Estados Unidos de América en la década de 1960, es muy popular en China debido a que tolera temperaturas de agua un poco más bajas respecto a otras líneas genéticas, su rápida conversión de nutrientes, buen tamaño comercial y resistencia a enfermedades. Posee un cuerpo largo y delgado, una tonalidad de piel blanca, requiere de agua de muy alta calidad, y son animales con un comportamiento altamente competitivo, llegando a mostrar comportamientos agresivos. Pueden alcanzar un peso de 397 gramos hasta los 500 gramos

en 56 días con un peso inicial promedio de (5.63 ±0.04) gramos; aproximadamente (Xiao et al, 2020).

2.4 Parámetros físico-químicos de calidad de agua para cada variedad de tilapia

La calidad físico-química del agua es un factor crítico para un adecuado desarrollo de los especímenes en el cultivar, por lo que es necesario su medición, monitoreo, evaluación constante y la aplicación de medidas correctivas para mantener el medio de crianza en condiciones óptimas, evitando las ineficiencias en el crecimiento y conversión de nutrimentos de los animales y la propagación de enfermedades. Entre los principales factores físico-químicos que se deben controlar se pueden mencionar (El-Sayed, 2006).

- Temperatura
- pH
- Alcalinidad
- Oxígeno Disuelto
- Dióxido de carbono
- Salinidad
- Dureza
- Nitrógeno Amoniacal Total
- Nitrato
- Nitrito

2.4.1 Temperatura

Los peces son animales poiquilotermos (su temperatura corporal depende de la temperatura del medio) y altamente termófilos (dependientes y sensibles a los cambios de la temperatura). Es decir, dependen de un rango de temperatura óptimo para mantener la actividad enzimática adecuada, por lo que es un factor crítico que debe ser controlado. El rango óptimo de temperatura para el cultivo de tilapias fluctúa entre 28°C y 32°C, aunque ésta puede continuarse con una variación de hasta 5°C por debajo de este rango óptimo (Nicovita, s.F).

Tabla 3:

Valores especificados de Temperatura para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)

Nivel mínimo	Nivel máximo	Referencia
26.47	27.12	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016)
28.03	28.47	(Hernández-Barraza, Trejo-Martínez, Loredó-Osti, & Gutiérrez-Salazar, 2016)
23.6	25.3	(Chacón Palma, 2001)
N.R*	19.19	(Lozada Farías, 2019)
27	32	(Cantor, 2007)
25	34	(Nicovita, s.F)
23.6	25.3	(Chacón Palma, 2001)
N.R*	19.19	(Lozada Farías, 2019)
27	32	(Cantor, 2007)
23	28	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
25.46	29.02	Especificaciones de rango

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo. Las unidades son los grados centígrados (°C).

La temperatura es un factor influenciado principalmente por las condiciones topográficas, tales como altitud y latitud de la fuente de suministro de agua, principalmente, por lo que el rango óptimo del cultivo se encuentra entre los 19 y 2000 msnm en regiones tropicales, debido a que en estas coordenadas las fuentes de agua se encuentran en el rango de temperatura entre los 28 y los 32 grados centígrados. Esto puede ser controlado mediante el uso de fuentes de calor (Cantor, 2007).

Los autores; Pérez et. al (2016), Hernández-Barraza et. al (2016) Chacón Palma (2001) Lozada Farías (2019), Cantor (2007), Nicovita (s.F), Lozada Farías (2019) y Salazar Murillo et. al (2023) según la tabla 3 reportan valores entre los 19 y los 32 grados centígrados en sus investigaciones. Esto está relacionado con el control de esta variable para un adecuado desarrollo de los peces, ya que, aunque la variabilidad en el crecimiento y desempeño depende de la temperatura, al bloquear el efecto de esta variable se puede estudiar el efecto de los tratamientos. Se esperaría tolerar temperaturas basadas en la media de los valores consultados, es decir, entre los 25.46°C y los 29.02°C.

2.4.2 pH

El pH es un valor muy importante porque determina la calidad de vida de los especímenes lo cual se refleja en el ritmo de crecimiento. Valores de pH cercanos a 5 producen mortalidad en un período de 3 a 5 horas, por fallas respiratorias; además, causan pérdidas de pigmentación e incremento en la secreción de mucus de la piel. El rango óptimo está entre 6.5 a 9.0. Cuando se presentan niveles de pH ácidos, el ion Fe ++ se solubiliza, afectando las células de los arcos branquiales y, por ende, disminuyendo los procesos de respiración, causando la muerte por anoxia (asfixia por falta de oxígeno), por lo que un adecuado control de esta variables es absolutamente necesario (El-Sayed, 2006).

Tabla 4:

Valores especificados de pH para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Oreochromis nioloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)

Nivel mínimo	Nivel máximo	Referencia
6.5	9	(Nicovita, s.F)
8.55	8.75	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016)
7	7.5	(Chacón Palma, 2001)
6.7	6.7	(Lozada Farías, 2019)
6.9	9	(Cantor, 2007)
6.5	9	(Nicovita, s.F)
7	7.5	(Chacón Palma, 2001)
6.7	6.7	(Lozada Farías, 2019)
6.9	9	(Cantor, 2007)
6	7	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
6.87	8.01	Especificaciones de rango

El pH en el agua fluctúa en un ciclo diurno, principalmente influenciada por la concentración de CO₂, por la densidad del fitoplancton, la alcalinidad total y la dureza del agua. El pH para tilapia debe de ser neutro o muy cercano a él, con una dureza normalmente alta para proporcionar una segregación adecuada del mucus en la piel (Cantor, 2007).

Nicovita (s.F), Pérez et. al (2016), Chacón Palma (2001), Lozada Farías (2019), Cantor (2007), y Salazar Murillo et al, 2023) reportan en su mayoría, valores de pH entre 6 y 9, sin embargo, tal como se indica en la tabla 4 de ellos se acercaron a un rango neutro entre 6 y 8 en ambas variedades de tilapia, lo que implica que la obtención de resultados está

condicionada al control adecuado de esta variable. Se destaca que los peces pueden tolerar valores medianamente inferiores a 6 por un lapso no muy prolongado, lo cual es muy importante en sistemas de recirculación en caso de que haya fallas en la maquinaria o equipo utilizado. Se esperaría tolerar valores entre los 6,87 puntos y los 8.01 puntos en la escala de pH.

2.4.3 Alcalinidad

Es la concentración de carbonatos y bicarbonatos en el agua. Los valores de alcalinidad y dureza son aproximadamente iguales. La alcalinidad afecta la toxicidad del sulfato de cobre en tratamientos como alguicida (en baja alcalinidad aumenta la toxicidad de éste para los peces) (Nicovita, s.F).

Tabla 5.

Valores especificados de alcalinidad para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)

Nivel mínimo	Nivel máximo	Referencia
352	380	(Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000)
0	20	(Nicovita, s.F)
352	380	(Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000)
20	N.R*	(Nicovita, s.F)
0	260	Especificaciones de rango

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo. Las unidades son ppm.

La principal fuente de variación de este parámetro es el origen y calidad del suministro de agua, por lo que, según la localidad, el agua puede ser neutra o alcalina. Se recomienda consultar a la administración de aguas de la localidad correspondiente para determinar las necesidades de medidas correctivas y su implementación (Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000).

Jiménez Badillo & Arredondo Figueroa (2000) y Nicovita (s.F) reportan niveles aceptables muy diferentes para la alcalinidad (1ppm=1mg/L), siendo que el segundo autor establece que no existen niveles máximos peligrosos para la alcalinidad en tilapias, sin embargo, el primer autor reporta problemas de pH asociados a un exceso de alcalinidad en el agua, tal y como se indica en la tabla 5. Se esperaría tolerar valores de alcalinidad entre las 0 y las 260 ppm, esto porque según Nicovita (2022), no se requiere una alcalinidad mínima para garantizar un

correcto desarrollo y salud de los peces, y las 260ppm, ya que es la media de los valores máximos consultados.

2.4.4 Oxígeno Disuelto

Dentro de los parámetros físico-químicos, es el más importante en el cultivo de cualquier especie acuícola, es el oxígeno disuelto, principalmente porque es fundamental para una adecuada respiración y ejecución de procesos metabólicos, por lo que niveles muy bajos de oxígeno (entre 0.3 y 2 ppm) son letales si la exposición es prolongada, y en todo caso, los peces no logran metabolizar los nutrimentos por falta de oxígeno a nivel tisular y celular, por lo que sobreviven, pero crecen muy lentamente. Se recomienda un valor superior a 4ppm y naturalmente, no se reporta un nivel máximo de oxígeno que sea peligroso, sin embargo, en sistemas de inyección por bombeo, hay que tener cuidado con los conglomerados gaseosos, ya que de entrar al sistema circulatorio en un tamaño significativamente voluminoso pueden generar aneurisma (Nicovita, s.F).

Mantener el oxígeno en niveles superiores a 4 ppm, es fundamental porque desempeña un papel vital, ya que los procesos metabólicos de glicólisis, se produce Adenosín Trifosfato y Piruvato, este último pasa al Ciclo de Krebs liberando Dióxido de Carbono y liberando portadores de electrones (NADH y FADH₂); para posteriormente en la membrana interna de las mitocondrias se transfieren electrones en cadenas de transporte, generando un diferencial energético utilizado para bombear cargas formales, de las cuales el oxígeno actúa como aceptor final, formando agua mediante la fosforilación oxidativa, lo que convierte al oxígeno en el elemento químico fundamental para la vida en sistemas acuáticos, oxígeno insuficiente puede ser la causa de crecimientos lentos, mortalidades ocasionales e inapetencia (El-Sayed, 2006).

Tabla 6:

Valores especificados de Oxígeno Disuelto para líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)

Nivel mínimo	Nivel máximo	Referencia
4.64	4.65	(Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000)
4.5	N.R	(Nicovita, s.F)
4.4	8.7	(Chacón Palma, 2001)
4.25	5.25	(Lozada Farías, 2019)
4	10	(Cantor, 2007)
7.8	12.47	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech)
4.64	4.65	(Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000)
4.5	N.R	(Nicovita, s.F)
4.4	8.7	(Chacón Palma, 2001)
4.25	5.25	(Lozada Farías, 2019)
4	10	(Cantor, 2007)
4	7	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
4.61	7.66	Especificaciones de rango

Nota: Las unidades son ppm.

El oxígeno disuelto, depende principalmente de la disponibilidad, el consumo de este en función de la densidad de siembra y carga biológica en general, la temperatura y la presión atmosférica ya que al aumentar la presión y disminuir la temperatura, aumenta el oxígeno disuelto, siendo esta una breve descripción del fenómeno fisicoquímico. Otros factores que pueden disminuir la concentración de oxígeno, son (Nicovita, s.F):

- Descomposición de la materia orgánica.
- Alimento no consumido.
- Heces.
- Animales muertos.
- Aumento de la tasa metabólica por el incremento en la temperatura (variación de la temperatura del día con respecto a la noche).
- Respiración del plancton (organismos microscópicos vegetales y animales que forman la cadena de productividad primaria y secundaria).
- Desgasificación: salida del oxígeno del agua hacia la atmósfera.

- Nubosidad: en días opacos las algas no producen suficiente oxígeno.
- Aumento de sólidos en suspensión: residuos de sedimentos en el agua, heces, etc.
- Densidad de siembra.

En resumen, los autores; Jiménez Badillo & Arredondo Figueroa (2000) Nicovita, (s.F), Chacón Palma, (2001) Lozada Farías (2019) Cantor (2007) Salazar Murillo et al (2023) y Pérez et. Al (2016), no reportan en la tabla 6, valores máximos peligrosos de oxígeno, pero la mayoría reportan valores mínimos de oxígeno mayores a 4 miligramos por litro, por lo que este valor es la referencia de comparación. Puede variar en función de la línea genética, densidad de siembra y condiciones ambientales, y su falta de control puede tener efectos negativos como la disminución de la tasa de crecimiento, la inapetencia y la producción de inmunosupresión y susceptibilidad de enfermedades Se esperaría tolerar entre las 4.61ppm y las 7.66 ppm de oxígeno, siendo estas las medias de los valores consultados.

2.4.5 Porcentaje de saturación del oxígeno

Ta y como lo especifica Mariluz Fernández (2019) el oxígeno es un factor muy importante en los procesos respiratorios y metabólicos en cualquier animal, especialmente en peces, ya que la tasa metabólica está sujeta a variaciones en la saturación y concentración del oxígeno, por lo que a medida que la saturación y concentración del oxígeno se reducen, la tasa metabólica también lo hará, reduciendo la tasa de crecimiento, por lo cual, la probabilidad de enfermedad tiende al aumento, siendo el oxígeno el parámetro más crítico en la calidad del agua en sistemas piscícolas.

Tabla 7:

Valores especificados de saturación de oxígeno para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. Rocky Mountain White)

Promedio mínimo	Promedio máximo	Referencia
60	120	(Mariluz Fernandez, 2019)
103,2	106,7	(Brú-Cordero, Pertúz-Buelvas, Ayazo-Genes, & Atencio-García, 2017)
36,8	69,7	(Verastegui, Vega, & Miglio, 2003)
N.R	65	(Plazas Pemberthy & Paz Ruiz, 2019)
60	120	(Mariluz Fernandez, 2019)
103,2	106,7	(Brú-Cordero, Pertúz-Buelvas, Ayazo-Genes, & Atencio-García, 2017)
36,8	69,7	(Verastegui, Vega, & Miglio, 2003)
N.R	65	(Plazas Pemberthy & Paz Ruiz, 2019)
60	92.5	Especificaciones de rango

Nota: Las unidades son puntos porcentuales (%)

El grado de saturación del oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la altitud y temperatura e inversamente proporcional al pH. Otros factores que pueden disminuir la concentración de oxígeno, son (Nicovita, s.F):

- Descomposición de la materia orgánica.
- Presión atmosférica
- Alimento no consumido.
- Heces.
- Animales muertos.
- Aumento de la tasa metabólica por el incremento en la temperatura (variación de la temperatura del día con respecto a la noche).
- Respiración del plancton (organismos microscópicos vegetales y animales que forman la cadena de productividad primaria y secundaria).
- Desgasificación: salida del oxígeno del agua hacia la atmósfera.
- Nubosidad: en días opacos las algas no producen suficiente oxígeno.
- Aumento de sólidos en suspensión: residuos de sedimentos en el agua, heces,
- Densidad de siembra.

Mariluz Fernández (2019); Brú-Cordero et al (2017); Verastegui, Vega & Miglio (2003) y Plazas Pemberthy & Paz Ruiz (2019) sugieren que la saturación de oxígeno entre el 36.8% el 120%, no generan problemas de aneurisma ya que el medio es capaz de solubilizarlo sin problema y garantizan la supervivencia y desarrollo normal de la especie y coinciden que en condiciones naturales, este puede variar en función de la presión atmosférica y la temperatura de manera inversa en primer lugar, pero también puede hacerlo en función de las condiciones de operación del sistema, tales como la densidad de siembra, y prácticas como retirar el alimento no consumido y las heces. Se esperaría tolerar valores de saturación de oxígeno entre el 60% y un 92.5%, tal y como se indica en la tabla 7.

2.4.6 Salinidad

La creciente popularidad de la tilapia entre los consumidores y las obvias necesidades de producción de alimentos, ponen de manifiesto la importancia de buscar alternativas de producción de esta especie en agua salobre e inclusive en el ambiente marino n conclusión, se puede inferir de los resultados de este ensayo que la tilapia híbrida (*O. mossambicus* × *O. niloticus*) con inversión artificial del sexo (todos machos), desarrolla mecanismos fisiológicos de adaptación que le permiten sobrevivir y crecer después de ser transferida del agua dulce a diferentes concentraciones de salinidad, pero que para obtener mejores rendimientos en el cultivo se recomienda ofrecer un medio con una salinidad no mayor al 15% (Mena-Herrera, Sumano-López, & Macías-Zamora, 2002).

Tabla 8:

Valores especificados de Salinidad para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. *Rocky Mountain White*)

Nivel mínimo	Nivel máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i> . V <i>Rocky Mountain White</i>			
0	25	%	(Rodriguez-Montes De Oca et al., 2015)
0.5	10	ppt	(Paz, 2004)
0	5	ppt	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016)
<i>Oreochromis aureus</i>			
0.5	10	ppt	(Paz, 2004)
0.5	3	ppt	(Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2022)
0.5	2	ppt	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
0.40	6	ppt	Especificaciones de rango

La principal fuente de variación de este parámetro es el origen y calidad del suministro de agua, por lo que, según la localidad, el agua puede ser dura o blanda. Se recomienda consultar a la administración de aguas de la localidad correspondiente para determinar las necesidades de medidas correctivas y su implementación (Mena-Herrera, Sumano-López, & Macías-Zamora, 2002).

Rodriguez-Montes De Oca et al.(2015), reporta un 25% de salinidad sin problemas de mortalidad, sin embargo, Paz (2004), (Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016) Zumbado-Salas et al. (2022), Salazar Murillo et al, (2023) reportan valores entre un 0.005% y 1% de salinidad (1%=10ppt), por lo que según la tabla 8, la variedad *Oreochromis niloticus*. V *Rocky Mountain White* es capaz de tolerar altos valores de salinidad, en contraposición de Mena-Herrera et al (2002), que establece la importancia de cultivar tilapia en medio salobre o incluso salado, pero que la salinidad no exceda un 15%, tal como se aprecia en la tabla 8 Se esperaría considerar unas especificaciones de rango basado en la media aritmética de los valores consultado, es decir, entre las 0.40ppt y las 6 ppt.

2.4.7 Dureza

Es la concentración de Es la medida de la concentración de los iones de Ca (II) y Mg (II) expresadas en ppm de su equivalente a Carbonato de Calcio. La alcalinidad afecta la

toxicidad del sulfato de cobre en tratamientos como alguicida (en baja alcalinidad aumenta la toxicidad de éste para los peces) (Nicovita, 2022), por lo que debe considerarse este valor a la hora de hacer limpieza química del medio de crianza. Existen aguas blandas (< 100ppm) y aguas duras (>100ppm), con rangos óptimos: entre 50 y 350 ppm de CaCO₃. Durezas por debajo de 20 ppm ocasionan problemas en el porcentaje de fecundidad Durezas por encima de 350ppm pueden generar problemas en los sistemas electromecánicos de bombeo, distribución y circulación de agua debido a la precipitación de los iones de calcio y magnesio.

Tabla 9:

Valores especificados de Dureza d para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)

Nivel mínimo	Nivel máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus. V Rocky Mountain White</i>			
252	352	mg/L	(Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000)
50	350	ppm	(Nicovita, s.F)
450.39	450.39	mol/(m ³)	(Lozada Farías, 2019)
20	350	mol/(m ³)	(Cantor, 2007)
<i>Oreochromis aureus</i>			
252	352	mg/L	(Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000)
50	350	ppm	(Nicovita, s.F)
450.39	450.39	mol/(m ³)	(Lozada Farías, 2019)
20	350	mg/L	(Cantor, 2007)
107.33	350	mg/L	Especificaciones de rango

La principal fuente de variación de este parámetro es el origen y calidad del suministro de agua, por lo que, según la localidad, el agua puede ser dura o blanda. Se recomienda consultar a la administración de aguas de la localidad correspondiente para determinar las necesidades de medidas correctivas y su implementación (Mena-Herrera, Sumano-López, & Macías-Zamora, 2002).

Jiménez Badillo & Arredondo Figueroa (2000), Nicovita (s.F), Lozada Farías (2019), Cantor (2007) reportan en su mayoría valores entre los 50 y las 350 ppm, con excepción de Lozada Farías (2019) que reporta 450.42 mg/L (450.39 mol/(m³) = 450.42 mg/L; 1mol CaCO₃ = 1000.08g CaCO₃), sin embargo, no reporta afectaciones mayores en cuando a crecimiento y eficiencia respecto a los otros autores, tal como se puede apreciar en la tabla 9. Se esperaría tolerar una dureza mínima de 107.33 ppm y 350 ppm de dureza máxima.

2.4.8 Nitrógeno Amoniacal Total

Es un producto de la excreción, orina de los peces y descomposición de la materia (degradación de la materia vegetal y de las proteínas del alimento no consumido). El amonio no ionizado (forma gaseosa) y primer producto de excreción de los peces, es un elemento tóxico. Debido a esto, su monitoreo y control no es opcional, ya que niveles elevados de NAT pueden causar mortalidad, daño en el tejido branquial, bloqueo metabólico e inmunosupresión, lo que genera pérdidas en el agronegocio (Nicovita, s.F).

El bloqueo metabólico se da en ambientes con altas concentraciones de nitrógeno amoniacal, especialmente si las temperaturas están por encima de los 25°C y el pH es neutro alcalino, ya que según Emerson et al (1975); la concentración de la forma neutra (amoniacado NH_3), aumenta de manera proporcional al pH y temperatura. Esto es especialmente problemático, ya que una filtración constante de amoniaco en el sistema circulatorio, causa metahemoglobinemia. La metahemoglobina es producto de la oxidación del núcleo de la hemoglobina de su forma férrica a ferrosa (Fe^{3+} a Fe^{2+}), esto impide que el oxígeno se adhiera a la hemoglobina, ya que el electrón disponible para tal propósito fue aportado por el amoniaco el cual permanece en su forma iónica (NH_4^+), y por lo tanto, se imposibilita el transporte de oxígeno en sangre (Castrillón-Fernández, Torres-Rodríguez, Cáceres, & Peña, 2008). Consecuencia de este fenómeno químico, al no haber oxígeno suficiente, para procesos metabólicos de respiración, glicólisis, ciclo de Krebs, cadena de transporte de electrones y la fosforilación oxidativa, impide una generación neta de ATP y, por tanto, una reducción general del metabolismo, provocando en los peces, letargia, inapetencia, irritación en branquias, estrés y muerte.

Tabla 10:

Valores especificados de Nitrógeno Amoniacal Total para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. Rocky Mountain White)

Nivel mínimo	Nivel máximo	Referencia
0.019	0.021	(Hernández-Barraza, Trejo-Martínez, Loredo-Osti, & Gutiérrez-Salazar, 2016)
0.051	0.062	(Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000)
0.6	2	(Nicovita, s.F)
0	0.3	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech)
0	2	(Cantor, 2007)
N.R*	0.78	(Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2022)
0.051	0.062	(Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000)
0.6	2	(Nicovita, s.F)
0	2	(Cantor, 2007)
0	1.02	Especificaciones de rango

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo

La concentración del nitrógeno amoniacal total varía en función de la tasa metabólica y la carga biológica del sistema. La toxicidad del amonio en forma no ionizada (NH_3), aumenta cuando la concentración de oxígeno disuelto es baja, el pH indica valores altos (alcalino) y la temperatura es alta. Cuando los valores de pH son bajos (ácidos), el amonio no causa mortalidades (Nicovita, s.F). El amoníaco es una sustancia tóxica para la vida acuática y la toxicidad depende de la fracción de amoníaco que está presente en forma no ionizada (NH_3). La fracción de amoníaco no ionizado depende a su vez del pH y la temperatura.

Una evaluación crítica de los datos de la literatura sobre el sistema de equilibrio amoníaco-agua; calcularon los valores de pKa a diferentes temperaturas y el porcentaje de NH_3 en soluciones acuosas de amoníaco de salinidad cero en función del pH y la temperatura. Los resultados de los cálculos muestran que la fracción de amoníaco no ionizado aumenta rápidamente al aumentar el pH y la temperatura. Por ejemplo, a un pH de 7 y una temperatura de 20 grados Celsius, sólo alrededor del 1% del amoníaco está presente en forma no ionizada (Emerson, Russo, Lund, & Thurston, 1975). Sin embargo, a un pH de 9 y una temperatura de 30 grados Celsius, aproximadamente el 40% del amoníaco está presente en forma no ionizada.

La comprensión exacta del equilibrio del amoníaco acuoso es importante para los estudios de toxicidad. También proporcionan tablas y gráficos de los valores calculados de pKa y porcentaje de NH_3 , que pueden usarse para estimar la toxicidad del amoníaco para la vida acuática en diferentes condiciones, lo cual es útil en el desarrollo de modelos para predecir la toxicidad del amoníaco para la vida acuática en diferentes condiciones. Estos modelos se pueden utilizar para establecer estándares de calidad del agua para el amoníaco y evaluar el riesgo de toxicidad del amoníaco para los ecosistemas acuáticos (Emerson, Russo, Lund, & Thurston, 1975).

Zumbado-Salas et al., (2022), Jiménez Badillo & Arredondo Figueroa (2000), Cantor (2007) Hernández-Barraza et al (2016), (Nicovita, 2022), Cantor (2007) y Pérez et. al (2016) reportan valores entre las 0 y 2 ppm de nitrógeno amoniacal total (1ppm=1mg/L) tal como se ve en la tabla **10**. En contraposición, en un Sistema RAS tradicional debe monitorearse la eficiencia del filtro biológico utilizado para que la flora sea capaz de fijar las fuentes de nitrógeno amoniacal mediante la conversión a nitratos y nitritos, emitidas por la fauna producida en el sistema.

2.4.9 Nitrato

La concentración de nitratos en el agua subterránea es un tópico común de muchas discusiones acerca de la calidad del agua, ya que es de importancia tanto para humanos como para animales. Debido a sus propiedades físicas, no pueden olerse ni sentirse y su presencia en concentraciones potencialmente peligrosas, es detectada cuando se manifiesta un problema de salud en organismos de cultivo. Niveles de nitrato entre 0 y 40 ppm son generalmente seguros para los peces. Cualquier valor superior a 80 ppm puede ser tóxico. A menudo es difícil precisar el origen de un alto contenido de nitratos, debido a que puede provenir de muchas fuentes (Bautista Covarrubias & Ruiz-Velazco Arce, 2011).

Tabla 11:

Valores especificados de Nitrato para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. Rocky Mountain White)

Nivel mínimo	Nivel máximo	Referencia
0.46	0.54	(Hernández-Barraza, Trejo-Martínez, Lored-Osti, & Gutiérrez-Salazar, 2016)
0.16	0.23	(Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000)
4.17	5.33	(Lozada Farías, 2019)
0	40	(Cantor, 2007)
0	5	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016)
N.R*	31.67	(Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2022)
0.16	0.23	(Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000)
4.17	5.33	(Lozada Farías, 2019)
0	40	(Cantor, 2007)
0	14.25	Especificaciones de rango

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo. Las concentraciones están en ppm.

La entrada de los nitratos a las aguas subterráneas es un resultado de procesos naturales y del efecto directo o indirecto de las actividades humanas. Los procesos naturales incluyen la precipitación, el constante movimiento de los minerales y descomposición de la materia orgánica. En el caso de los sistemas acuícolas de recirculación varía en función de la tasa metabólica y la carga biológica, además de la eficiencia del método biológico de filtración (Bautista Covarrubias & Ruiz-Velazco Arce, 2011).

Zumbado-Salas et al., (2022), Jiménez Badillo & Arredondo Figueroa (2000), Lozada Farías (2019), Cantor (2007) Hernández-Barraza et al (2016), Cantor (2007) y Pérez et. al (2016) reportan valores entre las 0 y las 40 ppm o mg/L (1ppm=1mg/L), tal como se ve en la tabla 11. Esto es muy importante para evitar mortalidad por toxicidad. En contraposición, en un Sistema RAS tradicional debe monitorearse la eficiencia del filtro biológico utilizado para que la flora sea capaz de fijar las fuentes de nitrógeno emitidas por la fauna producida en el sistema.

2.4.10 Nitrito

Son un parámetro de vital importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante. Se generan en el proceso de transformación del amoníaco a nitratos Es

necesario mantener la concentración por debajo de 0.1 ppm, haciendo recambios fuertes, limitando la alimentación y evitando concentraciones altas de amonio en el agua (Nicovita, s.F).

En general, el nitrito (NO_2^-) es una molécula con una carga formal negativa, que en solución acuosa, al entrar al cuerpo de los organismos, también reacciona con la hemoglobina, provocando que su núcleo férrico a la forma ferrosa ferrosa (Fe^{3+} a Fe^{2+}), esto impide que el oxígeno se adhiera a la hemoglobina, ya que el electrón disponible para tal propósito fue aportado por el ion nitrito (NO_2^-), impidiendo su transporte en la sangre (Castrillón-Fernández, Torres-Rodríguez, Cáceres, & Peña, 2008).

Este fenómeno químico tiene como resultado la disminución de oxígeno necesario para llevar a cabo procesos metabólicos esenciales como la respiración, la glicólisis, el ciclo de Krebs, la cadena de transporte de electrones y la fosforilación oxidativa. La falta de oxígeno suficiente impide la producción efectiva de ATP, lo que, a su vez, conduce a una reducción general en el metabolismo. En el caso de los peces, este déficit de oxígeno puede manifestarse en síntomas como letargia, pérdida de apetito, irritación en las branquias, estrés y, en situaciones extremas, incluso puede llevar a la muerte. Este impacto negativo en el suministro de oxígeno compromete significativamente la capacidad de los peces para llevar a cabo funciones metabólicas vitales, afectando su salud y supervivencia.

Tabla 12:

Valores especificados de Nitrito para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. Rocky Mountain White)

Nivel mínimo	Nivel máximo	Referencia
0.34	0.39	(Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000)
0	0.1	(Nicovita, s.F)
0.06	0.1	(Lozada Farías, 2019)
0	0.1	(Cantor, 2007)
0	1	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016)
N.R*	0.52	(Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2022)
0.34	0.39	(Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa, 2000)
0	0.1	(Nicovita, s.F)
0.06	0.1	(Lozada Farías, 2019)
0	0.1	(Cantor, 2007)
0	0.29	Especificaciones de rango

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo Las unidades son ppm.

Puede variar en función de la tasa metabólica y la carga biológica. Por otra parte, la toxicidad por nitritos en aumenta cuando la concentración de oxígeno disuelto es bajo, el pH indica valores altos (alcalino) y la temperatura es alta. La toxicidad de los nitritos depende de la cantidad de cloruros, temperatura y concentración de oxígeno en el agua (Bautista Covarrubias & Ruiz-Velazco Arce, 2011).

Zumbado-Salas et al. (2022), Jiménez Badillo & Arredondo Figueroa (2000) Nicovita (s.F), Lozada Farías (2019) y Cantor (2007), tal y como lo muestra la tabla 12, reportan valores de nitrito inferiores a 0.1 ppm (1mg/L=1ppm), con excepción de Zumbado-Salas et al. (2022); que reportan un valor de 0.52 ppm. En contraposición, en un Sistema RAS tradicional debe monitorearse la eficiencia del filtro biológico utilizado para que la flora sea capaz de fijar las fuentes de nitrógeno emitidas por la fauna producida en el sistema.

2.5 Sistemas de RAS tradicional

El sistema de recirculación en acuicultura (RAS) se destaca por su diseño de ingeniería, el cual se enfoca en la limpieza de las aguas y la sustentabilidad ambiental. Este sistema utiliza un 90% menos de agua que los sistemas convencionales, lo que lo convierte en una opción amigable con el medio ambiente. El tratamiento del agua de cultivo garantiza la calidad del agua para la reproducción, larvario, pre-engorde y engorde de los organismos acuáticos.

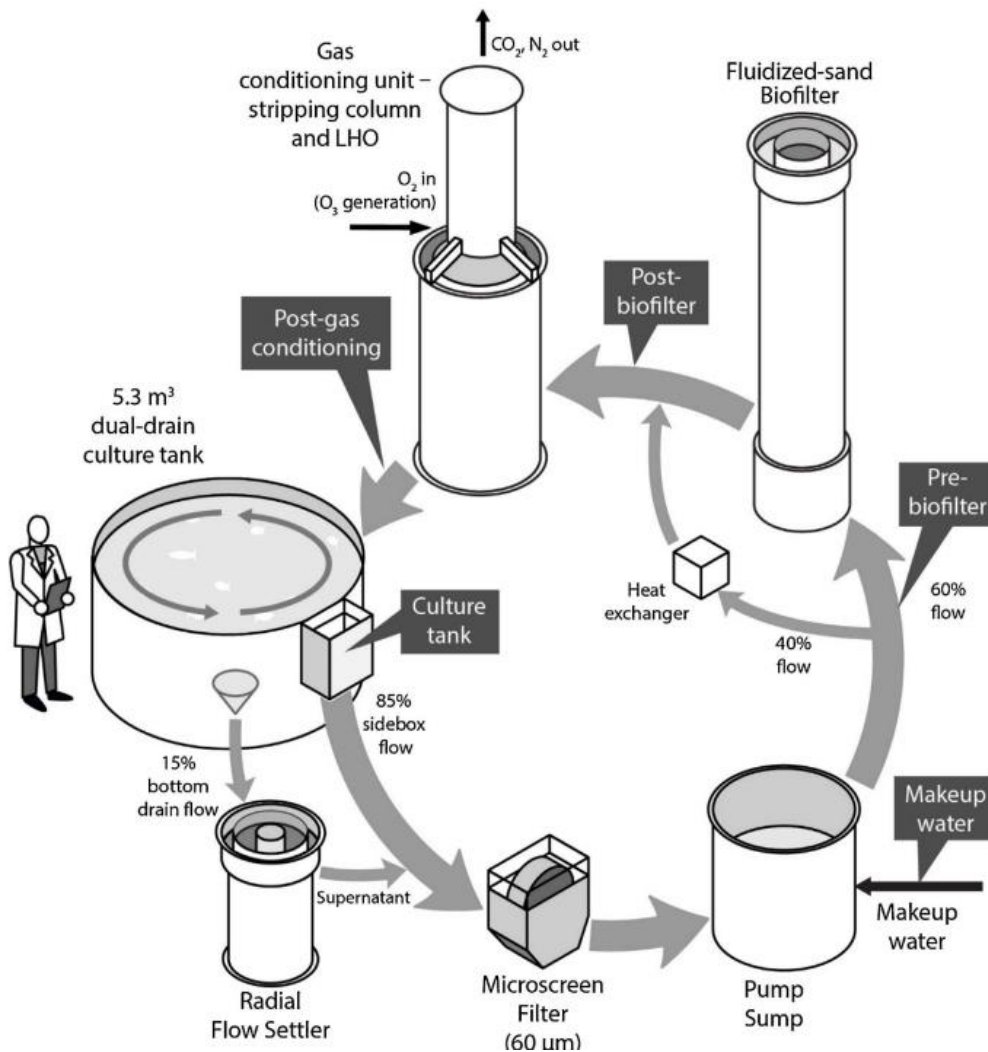
El sistema RAS está compuesto por depósitos de agua para los peces, una unidad de tratamiento, bombas y tuberías para el suministro y retorno de agua. Para los cultivos intensivos de piscicultura con RAS, se requiere un equipo de recambio de agua (motor colector) que transporta el agua del estanque de producción de peces a los estanques de filtración y limpieza de impurezas. Debido a la alta densidad de especies, también se necesita un sistema de aireación para mantener los niveles de oxígeno adecuados para el cultivo de la especie (Torres Castillo, 2019).

El sistema RAS está compuesto por una serie de depósitos de agua para los peces, una unidad de tratamiento, bombas y tuberías para el abastecimiento y retorno del agua. Un sistema de cultivo con recirculación tradicional debe contar con los siguientes procesos de (Torres Castillo, 2019):

- **Remoción de Sólidos:** Para la eliminación de desechos generados en el sistema, se lleva a cabo la remoción de sólidos, la cual se divide en tres tipos: sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y sólidos finos. La eliminación de los sólidos sedimentables es la más fácil, y se lleva a cabo por medio de una pendiente suave hacia un desagüe central y un modelo de flujo circular. Los sólidos sedimentables se retiran diariamente desde el centro del tanque. Los sólidos suspendidos se eliminan por medio de la filtración mecánica, utilizando filtros de medio granular expandible o filtración por pantalla. Para la eliminación de los sólidos finos, se utiliza el fraccionador de espuma o skimmer, que emplea el proceso de aire-stripping o espumado de proteína.
- **Biofiltración:** es otra técnica importante del sistema RAS, que se utiliza para controlar el nitrógeno amoniacal total (NAT) y mantener niveles seguros para el crecimiento de las especies. Este proceso aeróbico se lleva a cabo en dos partes, en las cuales el amonio es oxidado a nitrito y luego a nitrato por bacterias específicas (saprófitas, nitrosomonas y nitrobacterias, respectivamente).

- **Oxigenación:** es un factor crucial en la calidad del agua en la acuicultura, ya que conservar concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto (OD) ayuda a disminuir el estrés en las especies y mejora las tasas de crecimiento. Los sistemas RAS tienen cultivos de baja densidad con aireación y alta densidad con oxígeno puro. La aireación se refiere a la disolución de oxígeno atmosférico en el agua, mientras que la oxigenación es la adición de oxígeno puro al agua. Para la aireación, se utilizan tecnologías como sopladores, agitadores y tubos Venturi, mientras que para la oxigenación se emplean tecnologías como el oxígeno presurizado y no presurizado.
- **Desgasificación:** es otra técnica que se utiliza en la acuicultura, ya que el dióxido de carbono es un componente fundamental en la calidad del agua. La mayoría de los sistemas de recirculación en acuicultura utilizan la aireación como el medio principal de suministro de oxígeno. Sin embargo, existen pocos estudios sobre los efectos crónicos de CO₂ en los sistemas RAS.

Figura 2:
Diagrama P&iD de un sistema acuícola RAS tradicional



Nota: Tomado de (Torres Castillo, 2019).

En síntesis, un sistema acuícola cerrado de recirculación es una alternativa bastante limpia de producción de especies acuícolas de interés comercial en cuanto al uso de recurso hídrico y el uso intensivo de la tierra. Tal y como lo muestra la figura 1, el recambio de agua con una fuente fresca se da de forma paulatina, con tasas de recambio administradas a conveniencia en función de la carga biológica y de las políticas de control de los parámetros de calidad de agua. Para cumplir con los procesos, un sistema RAS debe tener, tal y como lo muestra la figura 1, los tanques de cultivo, bombas de inyección para circular y distribuir el agua, filtros mecánicos para remover los sólidos gruesos y finos, y un biofiltro para fijar el carbono,

nitrógeno en cualquiera de sus formas (amoniaco, nitrato y nitrito) y aportar oxígeno al sistema.

2.6 Parámetros de crecimiento

2.6.1 Ganancia de peso total (GPT)

La importancia del aumento de peso para determinar el valor de mercado y la rentabilidad de la tilapia. Debido que la tilapia se cultiva principalmente con fines comerciales, lograr un aumento de peso es fundamental para satisfacer las demandas del mercado y maximizar la rentabilidad de la inversión. Al monitorear y administrar el aumento de peso, los productores pueden asegurarse de que sus tilapias alcancen pesos deseables, lo que mejora su competitividad en el mercado (Rojas-Runjaic, y otros, 2011).

Tabla 13:

Valores de referencia para tasa de Ganancia de peso total (GPT) para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. Rocky Mountain White)

Mínimo	Máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i> . V Rocky Mountain White			
4.05	4.43	g/día	(Arce Vega, 2014)
2.15	1.77	g/día	(Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón, 2020)
1.5	2.2	g/día	(Chacón Palma, 2001)
1.82	2.8	g/día	Promedio (Valores esperados)
<i>Oreochromis aureus</i>			
	3.5	g/día	(Arce Vega, 2014)
1.77	2.05	g/día	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
2.4	2.6	g/día	(Chacón Palma, 2001)
2.08	2.6	g/día	Promedio (Valores esperados)

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo

Los factores genéticos pueden contribuir a las variaciones en el aumento de peso de las poblaciones de tilapia. Los programas de cría selectiva tienen como objetivo mejorar el rendimiento del crecimiento y la ganancia de peso en la tilapia a través de la selección de individuos genéticamente superiores (El-Sayed, 2006). Las variaciones genéticas entre

diferentes cepas o líneas de tilapia pueden afectar su potencial de crecimiento y su capacidad para ganar peso.

Otros factores que pueden influir en la ganancia de peso son la densidad de la siembra, plan de alimentación, factores fisicoquímicos del agua (pH, concentración de oxígeno, temperatura de confort del medio) (Sánchez-Sequeira, 2006).

Por lo tanto, se esperarían obtener valores de incremento de peso entre los 265 y los 460 gramos para *Oreochromis niloticus*. V *Rocky Mountain White* y entre los 179 y los 250 gramos para *Oreochromis aureus*, tal y como se aprecia en la tabla **13**. (Shiau & Peng, 1999) (Shiau & Peng, 1993) (Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón, 2020) (Chacón Palma, 2001) (Arce Vega, 2014).

2.6.2 Incremento de longitud estándar (iSL)

La importancia del incremento de la longitud estándar radica en que define en gran medida la longitud y talla de los cortes, lo que determina en gran medida el valor comercial de la tilapia, y es un parámetro morfométrico que se usa para evaluar la calidad genética del cultivar y el desarrollo de este (Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2022)

Tabla 14:

Valores de referencia para Ganancia de peso total (GPT) para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. Rocky Mountain White)

Mínimo	Máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i> . V Rocky Mountain White			
8.2	10.1	cm	(Arce Vega, 2014)
9.75	18.43	cm	(Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón, 2020)
11	23	cm	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016)
9.65	17.17	cm	Valores esperados (promedio)
<i>Oreochromis aureus</i>			
9	16	cm	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
8	17	cm	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
8.5	16.5	cm	Valores esperados (promedio)

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo

Es importante mencionar que la longitud estándar de los peces varía dependiendo principalmente con la calidad del agua. La influencia del agua contaminada en el crecimiento de los peces es negativa, ya que no les permite crecer y desarrollarse adecuadamente, debido a su alta relación carbono-nitrógeno, baja concentración de oxígeno y el pH (Telles et al., 2019). A su vez, se define que factores genéticos definen la morfología del cultivar que determina en gran medida la longitud de las tallas y el peso final (El-Sayed, 2006).

Los valores esperados para el incremento en la longitud estándar oscilan entre los 8 y los 18 centímetros en la fase de desarrollo, considerando un manejo adecuado de la calidad de las aguas recirculadas; como parámetro de calidad genética de los especímenes, tal y como se aprecia en la tabla 14 (Arce Vega, 2014. pág 35), (Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón, 2020) (Pérez et. al, 2016), (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).

2.6.3 Incremento de longitud de ancho (iSW)

La importancia del incremento de la longitud ancho se justifica porque define en gran medida la longitud y talla de los cortes, lo que determina en gran medida el valor comercial de la tilapia, y es un parámetro morfométrico que se usa para evaluar la calidad genética del cultivar y el desarrollo de este.

Tabla 15:

Valores de referencia para Incremento de longitud de ancho (iSW) para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. *Rocky Mountain White*)

Mínimo	Máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i> . V <i>Rocky Mountain White</i>			
4.3	6.2	cm	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016)
N.R	5.55	cm	(Arango et al., 2000)
6.47	10.76	cm	(Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón, 2020)
5.35	7.50	cm	Valores esperados (promedio)
<i>Oreochromis aureus</i>			
3.5	7	cm	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
3.5	6.5	cm	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
3.5	6.75	cm	Valores esperados (promedio)

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo

Es importante mencionar que la longitud estándar de los peces varía dependiendo principalmente con la calidad del agua. La influencia del agua contaminada en el crecimiento de los peces es negativa, ya que no les permite crecer y desarrollarse adecuadamente, debido a su alta relación carbono-nitrógeno, baja concentración de oxígeno y el pH (Telles et al., 2019). A su vez, se define que factores genéticos definen la morfología del cultivar que determina en gran medida la longitud de las tallas y el peso final (El-Sayed, 2006).

Los valores esperados para el incremento en la longitud de ancho oscilan entre los 6.2 y los 10.76 centímetros en la fase de desarrollo, considerando un manejo adecuado de la calidad de las aguas recirculadas; como parámetro de calidad genética de los especímenes, tal y como se visualiza en la tabla **15** (Arango et al., 2000) (Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón, 2020) (Pérez et. al, 2016) (Salazar Murillo et al, 2023).

2.7 Parámetros de eficiencia

2.7.1 Consumo de alimento (CON)

El consumo de alimento puede alcanzar hasta un 60% del total de costos operativos de una producción de tilapia, simultáneamente (Sánchez-Sequeira, 2006). La alimentación representa un 49.30% de los costos variables de una producción de tilapia, por lo que la importancia de este indicador es importante para determinar el costo de la operación, e identificar fuentes de alimento que puedan reducir dicho costo operativo (Chacón Palma, 2007)

Tabla 16:

Valores de referencia para Consumo de alimento (CON) para dos líneas genéticas de tilapia (Oreochromis aureus y Ocreochromis niloticus x Oreochromis aureus V. Rocky Mountain White)

Mínimo	Máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus. V Rocky Mountain White</i>			
2.4	3.1	g/día	(Chacón Palma, 2001)
2.1	4.3	g/día	(Adaptado de Tabla ATA, 2007)
0.2	0.7	g/día	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016)
1.3	1.9	g/día	Valores esperados (promedio)
<i>Oreochromis aureus</i>			
0.66	0.77	g/día	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
1.7	5.2	g/dpia	(Adaptado de Tabla ATA, 2007)
2.4	2.4	g/día	(Chacón Palma, 2001)
1.53	1.58	g/día	Valores esperados (promedio)

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo. %BWD: Consumo diario en relación al peso corporal. ATA: Tabla de alimentación (ver tabla 72).

Las principales fuentes de variación del indicador son (El-Sayed, 2006).

- Estado Fisiológico del animal (edad, peso, madurez)
- Factores ambientales (temperatura del agua, oxígeno disuelto)
- Calidad de la dieta

- Capacidad de conversión asociada a la genética

Un factor de alta importancia que debe considerarse en sistemas cerrados o internos (tipo indoor) de flujo continuo o recirculado es disponibilidad de fuentes de luz en torno a los 2000 lux con fotoperíodo de 12 horas luz, siendo este la mejor relación de luz posible que promueve un mayor consumo de alimento (El Sayed & Kawanna, 2004).

Se destaca, en la tabla **16**; la significativa influencia del consumo de alimento en los costos operativos de la producción de tilapia. Según Sánchez Sequeira (2006) y Chacón Palma (2006), este factor puede constituir hasta el 60% y el 49.30% de los costos totales y variables respectivamente. Evaluar este indicador se revela crucial para determinar los gastos operativos y detectar posibles vías de reducción. Diversos autores, como Zumbado-Salas et al. (2022) y Pérez et al. (2016), han medido el consumo promedio de especies como *Oreochromis niloticus* Var. Rocky Mountain White, llegando a 3.04-3.5 g y 0.2-0.7 kg respectivamente. Aportando a la discusión, Chacón Palma (2001) y Salazar Murillo et al. (2023) presentan datos de consumo para *Oreochromis aureus*, junto con la variabilidad de 4.9 g a 750 g, tal como se visualiza en la tabla 16. Además, se identifican los principales impulsores de la variación en el indicador, incluyendo aspectos fisiológicos, ambientales y genéticos, según la información presentada (El-Sayed, 2006).

2.7.2 Mortalidad

La mortalidad desempeña un papel crucial en la producción de tilapia, influyendo en la rentabilidad y eficiencia de los cultivos. Esta variable impacta directamente la cantidad final de peces viables, lo que a su vez afecta el volumen de producción. La vigilancia constante de la mortalidad se justifica por diversos motivos fundamentales. En primer lugar, desde la perspectiva económica, las pérdidas financieras ocurren debido a la inversión de recursos y tiempo en peces que no llegan a la fase de comercialización. Además, la relación entre mortalidad y eficiencia se traduce en una menor cosecha y, por ende, en una reducción de la productividad (Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón, 2020).

Tabla 17:

Valores de referencia para mortalidad para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. Rocky Mountain White)

Mínimo	Máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i> . V Rocky Mountain White			
0	3	%	(Lin, Cui, Hung, & Shiau, 1997)
0	8.33	%	(Shiau & Peng, 1999)
25	68	%	(Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón, 2020)
	1.5	%	(Chacón Palma, 2001)
	8.4	%	(Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016)
8.3	17.8	%	Valores esperados (promedio)
<i>Oreochromis aureus</i>			
N.R*	7	%	(Paz, 2004)
N.R*	0.73	%	(Paz, 2004)
17	72	%	(Paz, 2004)
N.R*	1.6	%	(Chacón Palma, 2001)
0.2	0.8	%	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
8.6	16.42	%	Valores esperados (promedio)

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo

Las principales causas de Mortalidad podrían ser (Lin, Cui, Hung, & Shiau, 1997):

- Poca resistencia a la manipulación.
- Aguas con exceso de acidez o de alcalinidad y alta concentración de amonio y/o nitrito en el agua o bajas concentraciones de oxígeno y baja saturación.
- Presencia de agentes patógenos causantes de enfermedades (*Trichodina spp*, *Edwasiella tarda*, *Flavobacterium*, tremátodos, myxosporidios, entre otros)

La Tabla 17 muestra reflejados en intervalos, provenientes de diferentes fuentes como Lin et al. (1997), Shiau & Peng (1999), Martínez-Meingüer (2020), Chacón Palma (2001), Pérez et al. (2016), Paz (2004), y Salazar Murillo et al. (2023), ofrecen una visión variada de la mortalidad en especies como *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis aureus*. Complementando esta información, Sánchez Sequeira (2006) identifica causas principales de la mortalidad, destacando la vulnerabilidad ante la manipulación, condiciones extremas del agua en cuanto

a concentraciones tóxicas de amonio, nitrito, altas temperaturas, entre otros. y la presencia de agentes patógenos. Ante este panorama, el monitoreo y la regulación meticulosa de la tasa de mortalidad se presentan como esenciales para mantener una operación productiva y rentable en la producción de tilapia.

2.7.3 Tasa específica de crecimiento

Primero, las tasas de crecimiento específicas están directamente relacionadas con la calidad y el valor de mercado de los peces. Además, la tasa de crecimiento afecta la eficiencia del cultivo de tilapia, porque un mayor crecimiento implica una mayor producción durante un cierto período de tiempo.

Las tasas de crecimiento específicas también son un indicador de salud y bienestar de los peces. Por lo tanto, al monitorear este nivel, los desafíos que se pueden identificar y acciones correctivas para aumentar el crecimiento y la salud de los peces (El-Sayed, 2006). A nivel de agronegocios, altas tasas específicas de crecimiento significan períodos de producción más cortos, lo que implica ahorros en costos operacionales, que da como consecuencia un aumento en la rentabilidad de la producción.

Tabla 18:

Valores de referencia para Tasa específica de crecimiento (SGR) para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. Rocky Mountain White)

Mínimo	Máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i> . V Rocky Mountain White			
2	4.5	% Δ PV/día	(Dong, y otros, 2009)
1.75	2.05	% Δ PV/día	(Lin, Cui, Hung, & Shiau, 1997)
2.35	2.93	% Δ PV/día	(Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón, 2020)
2.6	3.6	% Δ PV/día	(Adaptado de Tabla ATA, 2007)
N.R*	0.256	% Δ PV/día	(Hernández-Barraza, Trejo-Martínez, Loredo-Osti, & Gutiérrez-Salazar, 2016)
N.R*	3.9	% Δ PV/día	(Chacón Palma, 2001)
2.03	2.72	% Δ PV/día	Valores esperados (promedio)
<i>Oreochromis aureus</i>			
5.2	6	% Δ PV/día	(Paz, 2004)
2.7	2.9	% Δ PV/día	(Paz, 2004)
0.8	1.3	% Δ PV/día	(Paz, 2004)
2.4	4.5	% Δ PV/día	(Adaptado de Tabla ATA, 2007)
N.R*	3.1	% Δ PV/día	(Chacón Palma, 2001)
1.94	3.35	% Δ PV/día	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
2.66	3.33	% Δ PV/día	Valores esperados (promedio)

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo

Entre los principales factores que desencadenan variaciones en la tasa específica de crecimiento se pueden mencionar (Jover Cerdá, Pérez Igualada, Zaragoza, & Fernández Carmona, 1998):

- Temperatura del agua
- Disponibilidad de nutrientes en la dieta (carbohidratos y proteínas, principalmente)
- Sexo del espécimen
- Factores fisicoquímicos del agua (pH, oxígeno disponible, relación carbono/nitrógeno)
- Genéticos (variedad y adaptabilidad del espécimen)

La información proporcionada por Dong et al. (2009), Lin et al. (1997), Martínez-Meingüer (2020), Hernández-Barraza et al. (2016), Chacón Palma (2001), Paz (2004), y Salazar

Murillo et al. (2023), presentada en intervalos de valores en la tabla **18**, revela diversos matices de las tasas de crecimiento en *Oreochromis niloticus* V Rocky Mountain White y *Oreochromis aureus*. Además, Jover et al. (1998) destacan factores clave que inciden en las variaciones de estas tasas, incluyendo la temperatura del agua, disponibilidad de nutrientes en la dieta, características fisicoquímicas del agua y factores genéticos. En conjunto, el monitoreo y control de las tasas específicas de crecimiento emergen como elementos esenciales para garantizar un cultivo de tilapia saludable y altamente rentable.

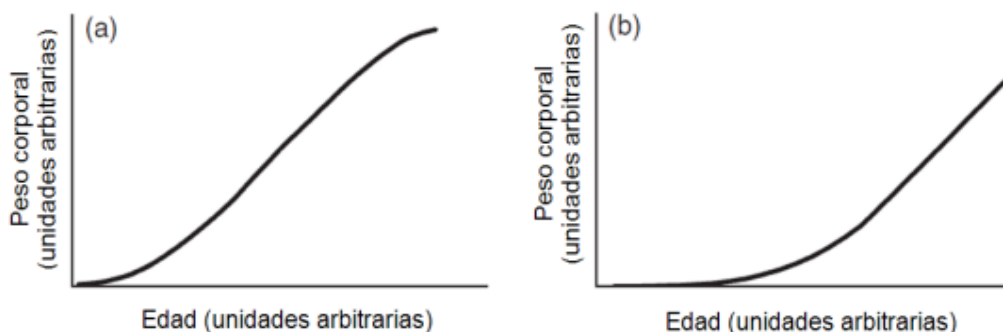
2.8 Crecimiento en peces

“La curva de crecimiento en animales, vista como un patrón de ganancia de peso conseguido a través del tiempo, se identifica por un comportamiento prácticamente sigmoideo caracterizado por un fuerte incremento durante las etapas iniciales y juveniles, y una posterior desaceleración a medida que el animal se acerca a su estado adulto o se presentan eventos reproductivos. Algunas especies de peces, moluscos y anfibios sin embargo, son capaces de continuar creciendo más allá de la madurez sexual o presentan crecimientos indeterminados cuya regulación se atribuye a factores ambientales) (Arce Vega, 2014). Por lo que es importante destacar que un adecuado seguimiento del crecimiento permite una estimación precisa de las necesidades del cultivar, en cuanto a alimento, y permite identificar tendencias antinaturales en el crecimiento, la cual puede estar dada por factores de alimentación, agua, prácticas pecuarias o equipo; se puede utilizar método de análisis causa y efecto basado en las 6M’s, el paretograma y la gráfica de control de variables para identificar causas de crecimiento anómalos, las cuales pueden ser multifactoriales y es necesario precisar la identificación de aquellas con mayor peso y significancia en los datos observados.

En la figura 2; “El comportamiento de la curva (b) puede explicarse gracias a la estrecha relación que existe entre el crecimiento y la concentración de ácidos nucleicos en los peces, de forma que el contenido de ADN es relativamente más estable que el ARN y está más asociado con el número de células o actividad mitótica (Arce Vega, 2014).

Figura 3:

Curvas de crecimiento para animales terrestres y acuáticos



Nota: (a): Curva de crecimiento de animales terrestres. (b): Curva de crecimiento de peces Tomado de: (Arce Vega, 2014)

Es decir, en éstos el crecimiento es debido a la proliferación celular (hiperplasia), mientras que el ARN está ligado a la síntesis de proteína e incremento en el tamaño de las células (hipertrofia) como sucede en otros grupos como los mamíferos (Arce Vega, 2014).

“En peces de aguas templadas, el crecimiento responde de acuerdo con las estaciones con un comportamiento multifásico o discontinuo (Arce Vega, 2014). Estos periodos se caracterizan por un rápido crecimiento en las estaciones cálidas y de mantenimiento del peso o escaso crecimiento en estaciones frías. Este comportamiento también se observa en peces tropicales y es generado por la estacionalidad de los ciclos de lluvia y sequía, que afectan tanto la disponibilidad de hábitat y alimento, así como la calidad y la temperatura del agua (Arce Vega, 2014).

“Las variables antes expuestas y otras no determinadas afectan finalmente el establecimiento de la Tasa de Alimentación Diaria (TAD), como la cantidad teórica de alimento mínima otorgada bajo la mayoría de las condiciones

, adaptada por los productores a las propias condiciones locales como temperatura, mejoramiento genético, etc.” (Arce Vega, 2014).

Por lo que, según; Arce Vega (2014), Katsanevakis (2006), Dumas et al. (2010), Bureau et al. (2000), Ali et al. (2005) y Azebedo et al., (1998), del crecimiento en condiciones ideales y estandarizadas, tiene una tendencia sigmoidea a través del tiempo, con un punto de inflexión en donde termina el crecimiento uniformemente acelerado e inicia una fase donde

el crecimiento es uniformemente desacelerado hasta llegar a la etapa adulta (donde el crecimiento por definición se detiene y las variaciones en peso no se deben a fases de desarrollo); en el instante donde se da el cambio de concavidad en la aceleración del crecimiento es el punto en donde este presenta una mayor tasa. Matemáticamente se puede definir de la siguiente manera:

2.8.1 Modelos matemáticos de Crecimiento

“Dependiendo de la capacidad de explicación de un fenómeno puede hablarse de modelos empíricos, cuya capacidad de explicación es baja ya que pretende la descripción de un fenómeno en función de variables independientes, pero sin entrar en los mecanismos de acción de estas, en cambio los modelos mecanísticos, incluyen una serie de variables más precisas que permiten inferir mejor sobre las variables dependientes o de salida. Dependiendo de la naturaleza de las variables de salida del modelo, éste puede ser determinístico cuando el valor de dichas variables es exacto, o sea, no posee un componente aleatorio; en este caso el modelo refleja el comportamiento del promedio de la población animal, por el contrario, si en estas variables se incluyen distribuciones de probabilidad, el modelo adquiere un carácter estocástico” (Arce Vega, 2014).

En el contexto de las explotaciones acuícolas, los modelos lineales son las de mayor practicidad, pero carecen de capacidad explicativa de las tendencias y comportamientos del fenómeno observado, en este caso, el crecimiento, la eficiencia y el rendimiento. En contraparte, los modelos no lineales describen mejor el comportamiento y tendencia de las variables, sin embargo, se requiere de un manejo de registros e información adecuados, exhaustivos y completos para su confección y estimación. (Arce Vega, 2014)

Arce Vega (2014), establece que los factores externos que modifican la tasa metabólica se pueden clasificar de dos maneras:

- Factores controladores: Actúan simultáneamente controlando sus efectos, por ejemplo, la temperatura, fotoperíodo y salinidad, entre otros.
- Factores limitantes: Aquellos que intervienen directamente en los procesos metabólicos; tales como, metabolitos, alimento, agua y gases respiratorios como el dióxido de carbono y el oxígeno disueltos, siendo este último, uno de los principales factores limitantes, su monitoreo diario es mandatorio, con una frecuencia de hasta

dos o tres veces por día, y la demanda de oxígeno para tilapia oscila entre los 3 y 10 mg por litro.

Entre las principales fuentes de variación de los resultados de un modelo de estimación del crecimiento que se deben considerar, se pueden mencionar (Arce Vega, 2014):

- Temperatura del agua
- Oxígeno disuelto
- Microflora y Microfauna disponible (importancia relevante en sistemas de mínimo recambio, especial cuidado con el agente fúngico *Saprolegnia*)
- Especie, línea genética y sexo

Por lo tanto, el uso de técnicas estadísticas brinda la oportunidad de determinar el nivel de conexión entre distintas variables externas controlables y limitantes, mediante el uso de métodos de correlación y regresión. Esto tiene como propósito desarrollar ecuaciones matemáticas que posibiliten la predicción de una variable dependiente. Cuando la relación entre la variable independiente y la variable de respuesta no sigue un patrón lineal, es viable aplicar transformaciones que conviertan esta relación en una conexión lineal entre las variables transformadas. También es posible emplear técnicas de regresión no lineal en situaciones donde se necesita ajustar una ecuación que relacione de manera efectiva estas variables en un formato no lineal (Arce Vega, 2014).

2.8.2 Modelos matemáticos de Crecimiento de von Bertalanffy

Basándose en el uso de modelos no lineales para estimar el crecimiento, la ecuación Von Bertalanffy es el método matemático más aplicado en el estudio de animales ectotermos, según. Dicha ecuación considera que el crecimiento está determinado por la diferencia neta entre las actividades anabólicas y catabólicas del organismo; tal como se considera en la siguiente ecuación: (Katsanevakis, 2006)

$$P(t) = P_{\infty}(1 - e^{-c(t-t_0)})^3$$

Considerando que:

$$P_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = k$$

Donde $P(t)$: es el peso en función del tiempo o edad, P_{∞} es el peso asintótico (atributo de peso característico en un animal adulto ($t \rightarrow \infty$)); c : es la tasa de maduración y t_0 : es el tiempo cuando $P(t)=0$, lo cual es hipotético según Arce Vega (2014)

Se considera que la ecuación de la teoría general de sistemas de Von Bertalanffy es imprecisa al solo considerar la diferencia energética neta de las actividades metabólicas, y no considera las etapas de desarrollo ni presenta continuidad en el rango de los reales positivos (Katsanevakis, 2006).

En contraste con lo expuesto por Choo & Bureau (1998) incorporaron diferentes métodos para estimar el peso corporal considerando la temperatura y el tiempo para ajustar el modelo de la teoría general de sistemas de Von Bertalanffy.

El modelo de estimación de peso de la teoría general de sistemas de von Bertalanffy es incompleto, porque al no considerar las etapas de desarrollo de un espécimen, se asume que la consideración de crecimiento es la diferencia neta entre anabolismo y catabolismo, y en animales ectotérmicos, no considera el efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática de animales sin la capacidad de generar su propio calor metabólico (Choo & Bureau, 1998); (Arce Vega, 2014) ;(Katsanevakis, 2006).

2.8.3 Factor de Conversión alimenticia (FCR)

El factor de conversión alimenticia, desde una perspectiva industrial, es un indicador de productividad que relaciona las materias primas consumidas respecto a la biomasa, por lo que es importante mantenerlo lo más bajo posible, ya que altos valores de FCR implican altos costos operativos por concepto de alimentación, y otros rubros indirectos asociados, como los costos ambientales asociados al mantenimiento de la calidad del agua y reducción de carga biológica del sistema productivo, ya que implica menores cantidades de excremento y alimento sin consumir (Paz, 2004).

Tabla 19::

Valores de referencia para Factor de conversión alimenticia (FCR) para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. *Rocky Mountain White*)

Mínimo	Máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i> . V <i>Rocky Mountain White</i>			
1.2	3.5	-	(Dong, y otros, 2009)
1.08	2.22	-	(Shiau & Peng, 1999)
1.10	1.54	-	(Shiau & Peng, 1993)
N.R	1.4	-	(Hernández-Barraza, Trejo-Martínez, Loredó-Osti, & Gutiérrez-Salazar, 2016)
N.A	1.8	-	(Chacón Palma, 2001)
1.12	2.09	-	Valores esperados (promedio)
<i>Oreochromis aureus</i>			
3.1	4.3	-	(Paz, 2004)
N.R	1.8	-	(Paz, 2004)
3.3	10	-	(Paz, 2004)
N.R	1.6	-	(Chacón Palma, 2001)
0.81	1.25	-	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
2.40	3.79	-	Valores esperados (promedio)

Nota: NR*: Autor no reporta un valor mínimo, solo un valor promedio. Se toma como máximo

Algunos factores que pueden influir en la tasa de conversión de alimentos de alta importancia son (Chacón Palma, 2001):

- Calidad de la dieta
- Método de alimentación (*ad libitum*, saciedad libre, entre otros)
- Variedad genética seleccionada
- Factores fisicoquímicos del agua (pH, oxígeno disponible, relación carbono/nitrógeno)

Otro factor de importancia es la disponibilidad de un fotoperíodo de 12 horas luz con una intensidad luminosa de 2000 lux, ya que como se mencionó anteriormente, promueve un ritmo circadiano más alto ya que naturalmente, durante las horas luz en latitudes tropicales, se acelera el metabolismo, lo cual se materializa como un mayor consumo de alimento, mayor ganancia de peso y una mejor relación de conversión alimenticia.

El factor de conversión alimenticia (FCR), desde una perspectiva industrial, se erige como un indicador primordial de la productividad que conecta el consumo de materias primas con

la biomasa, buscando mantenerlo en niveles bajos para reducir costos operativos, incluidos los relacionados con la alimentación y otros aspectos indirectos, como los costos ambientales inherentes al control del agua y la carga biológica en el sistema productivo. La importancia de minimizar el FCR radica en su correlación directa con los costos económicos y ambientales (Paz, 2004). Los valores de referencia obtenidos de estudios de *Oreochromis niloticus* V *Rocky Mountain White* y *Oreochromis aureus*, presentados en intervalos y reflejados por Dong et al. (2009), Shiau & Peng (1999, 1993), Hernández-Barraza et al. (2016), Chacón Palma (2001), Paz (2004) y Salazar Murillo et al. (2023), ilustran en la tabla **19**, siendo el rango de valores esperados para el híbrido entre 1.08 y 3.5 y para la línea azul de tilapia un valor mínimo de 0.81 y un máximo de 10 reportado por Paz (2004); los valores la variabilidad de esta métrica entre diferentes líneas genéticas, Además, Chacón Palma (2001) destaca factores de alta relevancia que pueden influir en el FCR, como la calidad de la dieta, el método de alimentación, la variedad genética y los factores fisicoquímicos del agua. En síntesis, el mantenimiento de un bajo FCR se erige como un objetivo crítico para optimizar tanto la eficiencia económica como la sostenibilidad ambiental en la producción de tilapia.

2.8.4 Coeficiente térmico de crecimiento (CTC)

Es importante para optimizar el rendimiento, ya que la influencia de la temperatura del agua es crítica porque afecta la acción enzimática de las tilapias que se inhiben debido a que su rango de acción depende de la temperatura del medio acuoso a la que se encuentran expuestas, lo que posteriormente afecta la tasa específica de crecimiento y la tasa de conversión alimenticia (El-Sayed, 2006).

Tabla 20:

Valores de referencia para Coeficiente termico de Crecimiento (CTC) para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. Rocky Mountain White)

Mínimo	Máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i> . V Rocky Mountain White			
0.848	0.916	- ($\times 10^{-1}$)	(Mariluz Fernandez, 2019)
0.209	0.345	- ($\times 10^{-2}$)	(Arce Vega, 2014)
0.207	0.381	- ($\times 10^{-2}$)	(Arce Vega, 2014)
2.96	3.29	- ($\times 10^{-3}$)	Valores esperados (promedio)
<i>Oreochromis aureus</i>			
0.99	2.36	- ($\times 10^{-3}$)	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
0.209	0.345	-- ($\times 10^{-2}$)	(Arce Vega, 2014)
1.63	1.99	- ($\times 10^{-3}$)	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
1.57	2.60	- ($\times 10^{-3}$)	Valores esperados (promedio)

Nota: Se reporta en ordenes de magnitud diferentes y se determina la media estandarizando a ($\times 10^{-3}$).

Los principales factores que influyen en el coeficiente térmico de crecimiento se pueden mencionar (El-Sayed, 2006).

- Calidad del Agua
- Alimentación
- Variedad genética seleccionada
- Temperatura del agua y del medio ambiente

La optimización del rendimiento en la producción de tilapia está estrechamente vinculada a la temperatura del agua, factor que impacta la acción enzimática de las tilapias. Esta acción enzimática, influenciada por las temperaturas ambientales, repercute en la tasa específica de crecimiento y la tasa de conversión alimenticia (El-Sayed, 2006). Los valores de referencia en la tabla 20 del Coeficiente Térmico de Crecimiento (CTC) en *Oreochromis niloticus*. V Rocky Mountain White y *Oreochromis aureus*, respaldados por Mariluz Fernández (2019), Arce Vega (2014), y Salazar Murillo et al. (2023), presentan la variabilidad de esta métrica. Entre los factores que influyen en el coeficiente térmico de crecimiento se encuentran la calidad del agua, la alimentación, la variedad genética y la temperatura del agua y el entorno (El-Sayed, 2006). En conjunto, la temperatura del agua se posiciona como un elemento

esencial que afecta la eficiencia productiva y los indicadores de crecimiento y conversión alimenticia en la producción de tilapia.

2.9 Parámetros de rendimiento

2.9.1 Índice viscerosomático (iVS)

La caracterización de la canal en la tilapia a través de medidas morfométricas es un procedimiento importante para evaluar los rendimientos corporales de diferentes partes del cuerpo sin necesidad de sacrificar el pez. Entre estas medidas, el índice viscerosomático desempeña un papel relevante. Las alteraciones en los valores o la proporcionalidad entre las medidas morfométricas pueden tener un impacto indirecto en las características de la canal. Por lo tanto, estas medidas pueden utilizarse como criterio de selección en la producción de tilapia, resaltando la importancia del índice viscerosomático en la evaluación y mejora de la calidad de la canal (Diodatti, Tadeu, & Freato, 2008)

Tabla 21:

Valores de referencia para Índice viscerosomático (iVS) para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. Rocky Mountain White)

Mínimo	Máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i> . V Rocky Mountain White			
11.27	12.18	%	(Torres Castillo, 2019).
16.21	17.44	%	(Durigon, y otros, 2020)
13.74	14.81	%	Valores esperados (promedio)
<i>Oreochromis aureus</i>			
11.27	12.18	%	(Torres Castillo, 2019)
16.21	17.44	%	(Durigon, y otros, 2020)
8	9	%	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
11.82	12.87	%	Valores esperados (promedio)

Las principales fuentes de variación de este factor se deben, principalmente a la deposición de grasa en las vísceras, la cual se puede ver afectada por la genética y alimentación, así como el peso de la canal, ya que a mayor peso mayor deposición de grasa visceral (Bielma Sarabia & López Garrido, 2019, pág. 44.) Triana-García *et al.* (2013) establecen que el índice viscerosomático es un indicador de salud, ya que valores anómalos de este parámetro pueden sugerir la presencia de desórdenes nutricionales o patologías infecciosas, por lo que la

presencia de enfermedades del tracto gastrointestinal de los especímenes puede variar los valores obtenidos para el índice viscerosomático.

La importancia del índice viscerosomático para la evaluación y mejora de la calidad de la canal es resaltada por Diodatti et al. (2008). Los valores reportados en intervalos para el índice viscerosomático en la tabla **21** indican que este puede oscilar entre un 9 y un 17.44% para *Oreochromis niloticus*. V *Rocky Mountain White* y *Oreochromis aureus*, proporcionados en la tabla por Torres Castillo (2019), Durigon et al. (2020), y Salazar Murillo et al. (2023). La deposición de grasa visceral, influenciada por la genética, alimentación y peso de la canal, se presenta como la principal fuente de variación de este factor, según Bielma Sarabia & López Garrido (2019) y Triana-García et al. (2013), quienes también enfatizan su potencial como indicador de salud y detección de desórdenes nutricionales o patologías infecciosas en la tilapia.

2.9.2 Relación Cabeza-Cuerpo (RCC)

La evaluación de las medidas morfométricas es un procedimiento de gran importancia en la caracterización de la canal de tilapias, ya que permite estimar los rendimientos corporales de diferentes partes del cuerpo sin necesidad de sacrificar los peces. Entre estas medidas, la relación cabeza cuerpo adquiere relevancia significativa. Cualquier alteración en los valores o en la proporcionalidad de estas medidas puede tener un impacto indirecto en las características de la canal. Por lo tanto, las medidas morfométricas se utilizan como criterio de selección, destacando la importancia de la relación cabeza cuerpo en la evaluación y mejora de la calidad de la canal de tilapias (Diodatti, Tadeu, & Freato, 2008).

Tabla 22:

Valores de referencia para Relación Cabeza Cuerpo (RCC) para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. Rocky Mountain White)

Mínimo	Máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i> . V Rocky Mountain White			
17.5	17.5	%	(Diodatti, Tadeu, & Freato, 2008)
19	20	%	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
18.25	18.72	%	Valores esperados (promedio)
<i>Oreochromis aureus</i>			
11.27	21	%	(Torres Castillo, 2019)
16.21	18.43	%	(Durigon, y otros, 2020)
8	19	%	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
18.25	18.72	%	Valores esperados (promedio)

La principal fuente de variación de la relación cabeza cuerpo, está asociada a la calidad genética del espécimen cultivado por lo que es un parámetro que se utiliza ampliamente (Diodatti, Tadeu, & Freato, 2008). Asociado a la genética, también puede variar por el estado fisiológico y la edad del animal.

Este parámetro se emplea como criterio de selección, poniendo de relieve la significancia de la relación cabeza-cuerpo en la evaluación y mejoramiento de la calidad de la canal en las tilapias (Diodatti et al., 2008). Los valores presentados en la tabla 22 que relaciona el peso total de la canal respecto al peso de la cabeza; en *Oreochromis niloticus*. V Rocky Mountain White y *Oreochromis aureus*, documentados por Diodatti et al. (2008), Torres Castillo (2019), Durigon et al. (2020) y Salazar Murillo et al. (2023), muestran la variabilidad en este parámetro, con un rango esperado entre 18.43 a un 21 % de peso de cabeza en relación con el peso antes del proceso de canal. La genética del individuo cultivado surge como la fuente primordial de variación en la relación cabeza-cuerpo, siendo un parámetro ampliamente utilizado (Diodatti et al., 2008), y también puede ser influida por el estado fisiológico y la edad del animal.

2.9.3 Rendimiento en canal

El rendimiento en canal en la producción de tilapia es un indicador crucial de eficiencia y rentabilidad en la acuicultura. Representa la cantidad de carne comestible obtenida de cada pez y tiene un impacto significativo en la eficiencia de conversión alimenticia, el valor económico del cultivo, la competitividad en el mercado y la sostenibilidad a largo plazo de la operación acuícola. Maximizar el rendimiento en canal requiere la implementación de prácticas de cultivo eficientes, control de la calidad del agua, gestión cuidadosa de la alimentación y una cosecha adecuada, lo que garantiza productos de alta calidad, competitividad en el mercado y una utilización óptima de los recursos (Diodatti, Tadeu, & Freato, 2008).

Tabla 23:

*Valores de referencia para Relación Cabeza Cuerpo (RCC) para dos líneas genéticas de tilapia (*Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. *Rocky Mountain White*)*

Promedio mínimo	Promedio máximo	Unidades	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i> . V <i>Rocky Mountain White</i>			
65	70	%	(Diodatti, Tadeu, & Freato, 2008)
65	72.20	%	(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)
65	71.1	%	Valores esperados (promedio)
<i>Oreochromis aureus</i>			
64	71	%	(Torres Castillo, 2019)
63	69	%	(Durigon, y otros, 2020)
63.5	70	%	Valores esperados (promedio)

Las principales causas de variación en el rendimiento en canal de tilapia pueden atribuirse a una serie de factores tanto internos como externos al sistema de cultivo. Internamente, la genética del pez, su edad y tamaño al momento de la cosecha, así como la calidad y cantidad de alimento proporcionado, influyen en el desarrollo de la carne. Externamente, factores ambientales como la temperatura del agua, la calidad y disponibilidad de oxígeno, así como el manejo del cultivo y la densidad de siembra, pueden afectar la tasa de crecimiento y la composición corporal de la tilapia.

El rendimiento en canal en la producción de tilapia es un indicador fundamental para evaluar la eficiencia y rentabilidad en la acuicultura. Según Diodatti, Tadeu y Freato (2008), el

promedio mínimo y máximo de la Relación Cabeza Cuerpo (RCC) para la línea genética *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* V. Rocky Mountain White se sitúa entre el 60% y el 70%. Mientras que, según Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos y Herrera-Muñoz (2023), estos valores oscilan entre el 65% y el 72.20%. Por otro lado, para la línea genética *Oreochromis aureus*, Torres Castillo (2019) establece un promedio mínimo no especificado y un máximo del 70%, mientras que Durigon et al. (2020) reportan valores entre el 65% y el 72.20%. Estas cifras son vitales para evaluar la calidad y el potencial productivo de la tilapia, y pueden variar debido a factores como la genética del pez, la alimentación, el manejo del cultivo y condiciones ambientales como la temperatura del agua y la disponibilidad de oxígeno

2.10 Costos de producción para una explotación de tilapia

Los costos de producción se pueden determinar por diferentes criterios, tales como; elementos del costo, (materiales directos, mano de obra directa, costos indirectos de fabricación) su relación con la producción (fijos o variables) o su departamentalización (por áreas funcionales como producción, administrativa, finanzas-contabilidad, entre otros) (Jiménez Boulanger & Espinoza Gutiérrez, 2007). El criterio de asignación de costos por elemento es práctico y genera mucha información, ya que relaciona los egresos con la producción, y genera información acerca sobre costos de materias primas, planillas, costos energéticos, por lo que es un criterio adecuado para su implementación en la producción agropecuaria, sin embargo, no permite la determinación del punto de equilibrio.

2.10.1 Costo Materias Primas

Corresponde al costo de materias primas que se pueden asociar directamente con el producto final, no corresponde al costo de todos los materiales utilizados en la fabricación de los productos, únicamente aquellos materiales que no han ingresado al proceso de producción. Según la relación con el producto, este puede clasificarse como costo de material directo o costo indirecto (Jiménez Boulanger & Espinoza Gutiérrez, 2007). En el caso de la producción de tilapia; (Chacón Palma, 2001) son:

Alimentación

“La alimentación representa entre el 50 y el 60% del costo de producción del cultivo de la tilapia. El manejo del alimento, la técnica de alimentación, la cantidad suministrada y principalmente la calidad del alimento definen el éxito de la actividad” (Sánchez-Sequeira, 2006).

“La producción tiene dos componentes que la hacen muy sensible a sus variaciones y son: en primer lugar, el costo del alimento, que representa el 49.30% de los costos variables y 33.8 % del total de costos

Se aclara que la alimentación corresponde en su mayoría, el único rubro de los costos por concepto de materiales directos, ya que es el único que se puede asociar directamente con la producción. Por tanto, otros insumos, como productos de limpieza, insumos veterinarios, para medición e instrumentación, no entran dentro de esta clasificación.

Semilla

Corresponde al costo de establecimiento de lotes de tilapia para la producción (Chacón Palma, 2007). Significa el costo asociado a la adquisición de alevines, los cuales pueden ser solicitados a preferencia del cliente, tomando aspectos como la reversión sexual y la variedad.

2.10.2 Costo de mano de obra

Corresponde al costo de toda la mano de obra de producción y este puede ser clasificada como mano de obra directa o indirecta, el caso de la mano de obra directa se agrega directamente al inventario de producto en proceso, mientras que la indirecta se acumula como un costo indirecto de fabricación (Jiménez Boulanger & Espinoza Gutiérrez, 2007). El segundo componente es la mano de obra, cuyo costo unitario es inverso al número de kilos de biomasa, hasta el punto de saturación de la capacidad del personal. Este último punto crea conflicto por no tenerse claro cuál es la biomasa máxima o área de estanques que puede manejar un trabajador de manera eficiente. Entre las actividades principales que gestiona la mano de obra directa es la alimentación, monitoreo de calidad de agua, siembra de alevines nuevos, y la cosecha de productos terminados (Chacón Palma, 2007).

2.10.3 Costos indirectos de producción

Los costos indirectos de fábrica, también conocida como carga fabril, son todos aquellos costos que guardan una relación con las operaciones del cultivo y manufactura, y aquí se acumulan los rubros que no guardan relación con el producto final, como materiales indirectos, mano de obra indirecta, costos energéticos, seguros, servicios de limpieza y apoyo a la producción, depreciación de maquinaria, equipo e instalaciones (Jiménez Boulanger & Espinoza Gutiérrez, 2007). Dentro de esta clasificación entran los siguientes rubros (Chacón Palma, 2007):

- ***Mano de obra indirecta:*** Comprende aquella fuerza laboral que colabora en las operaciones de la producción, como limpieza de áreas, servicios de seguridad y vigilancia, supervisión, gestión de la calidad, entre otros; pero sus labores no están relacionadas con las operaciones de producción como alimentación o cosecha.
- ***Materiales indirectos:*** Comprende aquellos suministros necesarios para ejecutar y materializar la producción, pero no tienen relación con el producto final en una relación de conversión insumos-producto terminado. Tal es el caso de insumos de limpieza, insumos de sacrificio, medición.
- ***Costos energéticos:*** Necesario en el funcionamiento de maquinarias y equipos para la producción, sin embargo, es difícil relacionarlos con la producción y se toma como un costo indirecto de fabricación.
- ***Depreciación de activos:*** Para reflejar la razón de uso de instalaciones, maquinaria y equipos en el tiempo, se carga al producto final como un costo indirecto porque la relación que guarda con los productos terminados no es directa pero sí necesaria para el desarrollo de las operaciones de producción.

2.11 Costos comparados

La estimación de costos, tomando en cuenta la inflación interanual acumulada desde el año 2001 al año 2022 en Costa Rica, según el Banco mundial (2023) corresponde a un 282,64%, lo que permite estimar los resultados de costos primos (Chacón Palma, 2001). El costo de semilla para establecer la producción en dicho año (2001) fue de ₡120 000, por lo que tomando en cuenta el parámetro de inflación acumulada hasta la actualidad un costo probable para dicho rubro de ₡339 167,55; aproximadamente.

Para el rubro de alimentación, el costo estimado según los fue de ₡255 452,00; equivalente a ₡ 722 008,57 para el año 2021 tal como lo muestran las tablas 23 y 24 (Chacón Palma, 2001).

Tabla 24:

Costos de alimentación estimados por variedad de tilapia

Año	2001	2022
Variedad	Costos de alimentación	
<i>O. aureus</i>	₡ 255 452,00	₡ 722 008,57
V. Rocky mountain white	₡ 252 743,00	₡ 714 351,86

Nota: Fuente (Chacón Palma, 2001). Inflación acumulada para Costa Rica estimada en un 282,64% para el periodo que abarca desde el año 2001 al 2023. Costo de mano dmados por

Tabla 25:

Costo de mano de Obra estimados por variedad de tilapia

Año	2001	2022
Variedad	Costo de mano de obra	
<i>O. aureus</i>	₡ 168 590,00	₡ 476 502,14
V. Rocky mountain white	₡ 244 490,00	₡ 691 025,61

Nota: Fuente (Chacón Palma, 2001). Considerando una inflación acumulada para Costa Rica estimada en un 282,64% para el periodo que abarca desde el año 2001 al 2022.

Tal como lo indica la tabla 24, el costo de mano de obra para el año 2021, fue más alto para la variedad Rocky Mountain White, con ₡244 490,00, siendo equivalentes a ₡691 025,61 para el año 2021, siendo esta una referencia más actual.

En la tabla 25; se muestra un resumen de costos primos totales por variedad de tilapia, donde se concluye que la variedad Rocky montan White es hasta un 30% más costosa en cuanto a los costos primos (semilla, alimentación y mano de obra).

2.11.1 Costos unitarios por kilogramo de peso vivo

El costo unitario, se establece como una razón entre los costos totales de la producción según el criterio del elemento del costo, entre la cantidad de unidades producidas, es decir, los kilogramos de peso vivo al final de la producción para este caso (Jiménez Boulanger & Espinoza Gutiérrez, 2007).

Chacón Palma (2007), elaboró un informe de gestión para una producción de 7.6 toneladas métricas de tilapia, en el cual indica, cual es el costo de operación de dicho establecimiento y su costo por kilogramo de peso vivo. Sin embargo, dicho informe carece de una estructura, tal como se visualiza en la tabla 26.

Tabla 26:

Informe de gestión para una producción de tilapia de 7625 kilogramos producidos en el año 2006 con estimaciones monetarias para el año 2022

Rubro	2006	2022
Ingresos por Ventas	₡ 13 545 000,00	₡ 16 960 250,27
Costos de Operación		₡ -
Insumos	₡ 4 188 500,00	₡ 5 244 592,71
Salarios de operación (+ cargas sociales) -		₡ -
Gastos Generales		₡ -
Total Costos de Producción	₡ 4 188 500,00	₡ 5 244 592,71
UTILIDAD BRUTA	₡ 9 356 500,00	₡ 11 715 657,56
Depreciación anual	₡ 2 000 000,00	₡ 2 504 282,06
Gastos financieros (intereses)	₡ 3 570 000,00	₡ 4 470 143,48
Total gastos	₡ 5 570 000,00	₡ 6 974 425,55
Utilidad antes de Impuestos/renta	₡ 3 786 500,00	₡ 4 741 232,02
Indicadores de gestión		₡ -
Costo por kilo	₡ 1 279,80	₡ 1 602,49
Ganancia por kilo	₡ 496,59	₡ 621,80
Remuneración a la mano de obra (jornal)	₡ 3 340,94	₡ 4 183,33
UAI + depreciación /N° de jornales familiares		
Margen neto de utilidades	27,95%	
Relación beneficio/costo	1,39	
Ingreso Disponible (efectivo disponible)		
UIA + depreciaciones-inversiones	₡ 5 286 500,00	₡ 6 619 443,56
Del periodo +prestamos o donaciones-amortizaciones		

Nota Fuente: (Chacón Palma, 2007). Tomando en cuenta una inflación acumulada de 125,21% para el período comprendido entre los años 2006 y 2022, según el Banco Mundial (2023).

En la tabla **26**, se toma como referencia los recursos invertidos en una producción familiar de tilapia de 7.6 toneladas métricas para el año 2006, en modalidad extensiva; estimando el costo actual. Sin embargo, pese a que dicho informe carece de estructura, da una idea aproximada del costo de producción por kilogramo de peso vivo para tilapia, sin tomar en consideración aspectos técnicos como la variedad o planes de alimentación. No se considera la mano de obra dentro de los rubros de producción, por lo que los resultados presentados en la tabla **26** podría no ser verosímiles.

Capítulo III. Metodología

3.1 Enfoque de la investigación

Esta investigación tiene un enfoque mixto debido a que busca medir y analizar las variables planteadas en la hipótesis con un enfoque cuantitativo; de manera objetiva y sistemática, para determinar si la variedad genética influye en la productividad global de un sistema cerrado de recirculación de flujo continuo tipo tradicional, especialmente en los indicadores de crecimiento, eficiencia y rendimiento.

El enfoque cuantitativo, para este caso es utilizado para obtener resultados numéricos precisos, extrapolables y generalizables que comprueban o descartan la hipótesis planteada, mediante el uso de tamaño de muestras representativos, uso de instrumentos estandarizados y procedimientos de medición y evaluación sistematizados.

Agregando los objetivos 2 y 3, la caracterización y asignación de costos de producción para las variedades de tilapia requiere de técnicas de análisis con enfoque cualitativo, ya que busca identificar y clasificar los rubros y montos asociados a la producción de tilapia por elemento del costo y a cada una de las variedades genéticas evaluadas.

Finalmente, dicha información determinada con enfoques distintos (cuantitativo para el objetivo 1 y cualitativo para el objetivo 2) debe ser integrada para determinar los costos unitarios de producción en peso fresco. (objetivo 3).

3.2 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo correlacional, donde se busca describir diferencias entre las variedades de tilapia y su crecimiento, además de la predicción del peso en función del tiempo, dimensiones y variables de eficiencia; además de asociar el rendimiento y costo de producción a cada línea genética dadas las condiciones ambientales del experimento.

La idea central de la investigación consiste en la recopilación de datos sobre dos variedades de tilapia y posteriormente realizar análisis estadístico para determinar la relación entre el crecimiento, eficiencia, rendimiento y costo como variables independientes y la variedad genética como variable dependiente, para evaluar la existencia y relación entre las variables estudiadas.

3.3 Marco espacial y temporal

La presente investigación se realizó en la provincia de Cartago, en el Cantón de la Unión, Distrito San Rafael, específicamente en la Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata, de la Universidad de Costa Rica, en el marco de la investigación “Desempeño zootécnico de dos líneas de tilapia (*Oreochromis spp.*) bajo sistemas acuícolas de recirculación”; a cargo del Ingeniero Agrónomo Zootecnista; M.Sc. Juan Ignacio Herrera; y el Tecnólogo en Alimentos; M.Sc. Alejandro Chacón Picado. La investigación se desarrolló entre el 15 de Agosto de 2023 y el 15 de Diciembre de 2023.

Figura 4:

Estación experimental de ganado lechero Alfredo Volio Mata, Universidad De Costa Rica



3.3.1 Sistema cerrado de recirculación

En la figura 63 (ver apéndices) muestra la composición del sistema de recirculación utilizado, A continuación, se desglosa cada componente del sistema y su función dentro del proceso:

TS-01: Tanque sumidero tricapa de 750 L

Este tanque recolecta el agua usada que sale de las unidades experimentales para ser tratada. Actúa como un punto de recolección inicial donde el agua puede contener residuos sólidos y compuestos nitrogenados. La línea de drenaje lleva el agua desde las unidades experimentales al tanque TS-01.

B-1: Bomba de agua externa de 1.5 HP

La bomba B-1 impulsa el agua desde el tanque TS-01 hacia el sistema de filtración y biofiltro. Es esencial para mantener el flujo continuo de agua en el sistema de recirculación. Toma agua de TS-01 y la dirige hacia el FM-01.

FM-01: Tanque de fibra de vidrio con material filtrante

Este tanque contiene medios filtrantes que eliminan sólidos suspendidos y detritos del agua. Ayuda a clarificar el agua antes de su tratamiento biológico. El agua filtrada sale del FM-01 y pasa por la válvula VA-01.

VA-01: Válvula de alivio de 5 vías

Regula el flujo de agua dentro del sistema. Puede controlar la dirección y presión del agua, asegurando que solo pase al siguiente componente cuando sea necesario. Dirige el agua filtrada hacia el biofiltro, o a la línea de salida para su descarte.

BF-01: Sistema de biofiltro con lecho flotante de 750 L

El biofiltro es crucial para la conversión de amoníaco en nitritos y luego en nitratos a través de procesos biológicos realizados por bacterias nitrificantes. Este proceso es esencial para mantener niveles seguros de nitrógeno en el agua. El agua purificada biológicamente del a través de un lecho flotante de plástico es recirculada de vuelta a las unidades experimentales a través de la línea de retorno (verde).

Unidades de recepción o unidades experimentales

Son los tanques individuales donde se mantuvieron las tilapias. En este sistema, hay varias unidades etiquetadas como UE-1A, UE-1B, etc. Las unidades experimentales pueden contener diferentes tratamientos o grupos de peces. Reciben agua fresca y tratada del sistema, y su agua usada es drenada de regreso al TS-01 para recirculación y tratamiento, completando el circuito de circulación del agua.

3.4 Sujetos de información

Los sujetos de información en esta investigación se centran en dos líneas genéticas de tilapia: *Oreochromis aureus* y *Oreochromis sp. var. Rocky Mountain White*. Estas variedades de tilapia son los principales sujetos de estudio en relación con su desempeño zootécnico y los costos de producción durante la fase de desarrollo en un sistema cerrado de recirculación de agua.

3.5 Fuentes de información

Las fuentes de información para esta investigación se obtendrán de diversas fuentes. En primer lugar, se recopilarán datos directamente de la estación experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica, donde se llevará a cabo el proyecto. Estos datos incluyeron registros de consumo de alimento, desperdicio de alimento, edades, fechas, hora, así como de calidad de agua, para posteriormente, determinar los parámetros zootécnicos que describieron la eficiencia de los animales en el sistema dado.

Además, se utilizarán fuentes secundarias como informes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) relacionados con la acuicultura y la producción de alimentos a nivel mundial. También se recopilará información de investigaciones previas realizadas por grupos de investigación en acuicultura en Costa Rica y de informes proporcionados por entidades como el Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

3.6 Variables o categorías de análisis

Variables

Crecimiento:

- Ganancia de peso total (GPT)
- Incremento en longitud estándar (iSL)
- Incremento en longitud de Ancho (iSW)

Eficiencia:

- Consumo total de Alimento (CON)
- Mortalidad
- Tasa Específica de crecimiento (SGR)
- Factor de Conversión alimenticia (FCR)
- Coeficiente térmico de crecimiento (CTC)

Rendimiento:

- Índice viscerosomático (iVS)
- Relación Cabeza Cuerpo (RCC)

Categorías

Costos por elemento:

- Materiales directos (Semilla, alimentación)
- Mano de Obra directa
- Costos indirectos de producción
- Costo Total de producción
- Costos unitarios de producción

3.7 Herramientas

3.7.1 Análisis estadísticos de las variables respuesta

Para un cumplimiento adecuado del objetivo 1, se manejaron los registros de calidad de agua, consumo, mortalidad, pesos y medidas en hojas de cálculo de Microsoft Excel para su almacenamiento, y posterior procesamiento. Los análisis estadísticos por unidad experimental, y las gráficas de control de variables para los parámetros de calidad de agua al sistema RAS efectuados se realizaron utilizando IBM SPSS Statistics 26. Las variables respuestas se evaluaron utilizando el Shapiro-Wilk's Test para verificar el supuesto de normalidad y la prueba de Levene para verificar la homogeneidad de varianzas. La comparación de medias se realizó utilizando la prueba de T-Student si se cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. En caso de que falle el supuesto de homogeneidad de varianza, se aplica la prueba de T-Student para dos muestras independientes con Corrección de Welch. Se utilizó la transformación de Box-Cox si preliminarmente no se cumplen ambos supuestos y se repite el proceso de verificación de distribución normal y homogeneidad de varianzas con los datos transformados. Si ya del todo no se cumplen ambos supuestos se utilizó la prueba de U de Mann-Whitney en caso de que algún supuesto de normalidad u homogeneidad de varianzas no se cumpla (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).

Se utilizó la técnica de Análisis de Covarianza (ANCOVA) para restar el efecto que tienen los pesos y tallas iniciales sobre las variables respuesta de pesos y tallas finales, esto para medir el efecto real de la raza en el crecimiento (Chacón Palma, 2001).

3.7.2 Determinación de costos totales por elemento y costos unitarios

Para el objetivo 2, se utilizó la hoja de cálculo de Microsoft Excel para cuantificar el peso total obtenido, la oferta, consumo y desperdicio total de alimentos, compra de material semilla y cuantificación de otros costos indirectos por concepto de corriente eléctrica, kit's colorimétricos, mano de obra indirecta, insumos de limpieza etc., mediante el costeo por orden de trabajo, ya que permite hacer una perfecta distribución de costos por línea genética, distribuyendo por igual la carga de trabajo y los costos indirectos, diferenciando los pesos totales obtenidos, las semillas utilizadas y el alimento consumido en función de la línea genética. Para estimar costos por depreciación, se realizó estimación del costo del inmueble mediante el método de reposición, para determinar el valor actual razonable de construir un edificio similar en un terreno equivalente; y su tasa de mano de obra, integrando con la hoja de Cálculo de Microsoft Excel, se totalizan los costos por concepto de construcción de infraestructura e instalación de maquinaria y equipo, y se calcula la depreciación mensual, asignándola a los costos indirectos. Igualmente, el objetivo 3 se cumple al unificar los datos del objetivo 1 y el 2, dividiendo los costos totales entre la cantidad de kilogramos producidos (biomasa final), utilizando igualmente, la hoja de cálculo.

3.8 Sistematización de objetivos

3.8.1 Objetivo 1

3.8.1.1 Homogenización de especímenes

Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022) indican que inicialmente, adquirieron aproximadamente 300 animales masculinizados por medio del protocolo de aplicación de hormona 17 α -metil-testosterona, utilizando una dosis de 60 mg/kg de alimento, con el fin de obtener una población monosexual de machos; este procedimiento fue establecido y ejecutado en las instalaciones de la Estación Acuícola Diamantes del INCOPECA por su propio personal. Una vez finalizado el ensayo de alimentación y con el fin de corroborar la efectividad del proceso de inducción sexual, se realizó el sexado a todos los animales por medio de observación de la papila genital, identificando el orificio ovopositor en hembras. Al momento de su llegada, se hizo una selección de los animales por pesos similares para distribuirlos en las peceras con una capacidad máxima de 56 L; el peso

promedio inicial fue de 1,8 g. Se colocaron 12 peces por pecera con el fin de asegurar la cantidad de peces necesaria en caso de posibles mortalidades. Pasaron por una aclimatación de diez días en la que fueron alimentados a saciedad con alimento comercial 1,5 mm, código DAA-774-103 (MAG, 2022), mismo utilizado durante todo el experimento El porcentaje de machos esperado tras la aplicación de un protocolo de reversión sexual con 17- α -metil-testosterona es de 95% (Montoya Toapanta, 2013)

Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) indican que para seleccionar peces con pesos y tallas homogéneos; colocaron 8 alevines por pecera con un volumen real de 56 L y una densidad inicial de 0,5 kg/m³. Cada repetición (línea) de 4 peceras, estuvo acoplada a un filtro externo tipo “canister” con espuma de poliuretano de baja densidad como material filtrante y con filtración biológica de tipo lecho móvil, con una capacidad de 800 litros por hora. Los alevines iniciaron el experimento con un peso de 3,25 g \pm 0,35 g. La prueba tuvo una duración de 46 días, con un fotoperiodo de 12 h/12 h, utilizando un control de luz artificial con dos bombillos fluorescentes marca Phillips de 32 watt y 2600 lúmenes para todas las peceras.

Por lo que, para adaptar la homogenización de especímenes, en este ensayo se optó por seleccionar de un conjunto de 100 tilapias por variedad, las 60 tilapias con pesos y tallas más cercanos a la media para descartar la existencia de valores atípicos, y eliminar el riesgo de propagación de enfermedades. Hecha esta selección de tallas y pesos, se colocaron 10 animales por tanque, cada uno de estos posee 450 litros de capacidad, para una densidad de 31 peces por metro cúbico, utilizando para cada variedad 3 tanques y 56 peces en total por tratamiento. Los peces seleccionados tenían de media 30 gramos para *O. aureus* y alrededor de 45 gramos para H. Rocky.

3.8.1.2 Diseño de experimento

La investigación determina el efecto de la línea genética sobre el desempeño zootécnico y el rendimiento del cultivar por lo que es deseable que; en caso de existir alguna diferencia, se deba principalmente al factor genético (factor de tratamiento) y no a otros, ya que se buscan mantener constantes y homogéneas cualquier otra fuente de variabilidad, como esquema de alimentación, temperatura del agua, nivel de oxígeno y pH entre otros (factores de bloques), por lo que se utiliza el diseño experimental unifactorial completamente aleatorizado con 6

repeticiones, siendo el más adecuado para desarrollar el experimento (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, Análisis y diseño de experimentos, 2008).

Se empleó un diseño unifactorial completamente aleatorizado, con dos tratamientos (Línea Genética *Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* Var. *Rocky Mountain White*) con 12 unidades experimentales, asignando 6 unidades experimentales por cada tratamiento, utilizando el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu_j + T_j + e_i$$

Donde:

Y_{ij} : Son las variables respuesta (Consumo de alimento, Mortalidad, Tasa Específica de Crecimiento, Factor de conversión Alimenticia, Coeficiente térmico de crecimiento, índice viscerosomático, relación cabeza cuerpo y rendimiento en canal; de la i-ésima repetición del j-ésimo tratamiento)

μ_j : Es la media general de la variable respuesta del j-ésimo tratamiento

T_j : Es el efecto del j-ésimo tratamiento (línea genética)

e_{ij} : Es error aleatorio de la i-ésima repetición del j-ésimo tratamiento; causado por otros factores ajenos a la línea genética.

Para restar el efecto que tienen los pesos y tallas iniciales (ancho, largo y peso inicial), se utilizó el Modelo Lineal General de Análisis de Covarianza, para medir el efecto real del tratamiento sobre los pesos y tallas finales al final de cada muestreo, únicamente en los pesos y tallas. De modo que se ajusta la variable respuesta evaluada para restar el efecto de los pesos y tallas iniciales sobre las variables respuesta en los muestreos restantes y globales, lo que permite evaluar el efecto de la línea genética de una manera más exacta, anulando el efecto sobre las covariables identificadas probando las hipótesis planteadas sobre los valores corregidos, tal y como se indica en el siguiente modelo:

$$\hat{y}_{ij} = \mu_j + T_j + \beta (x_{ij} - \bar{x}_j) + e_{ij}$$

Donde:

\hat{y}_{ij} : Es la variable respuesta ajustada de la i-ésima repetición del j-ésimo tratamiento.

μ_j : Es la media general de la variable respuesta del j-ésimo tratamiento

T_j : Es el efecto del j-ésimo tratamiento (línea genética)

β : Coeficiente de regresión lineal que indica la dependencia de la variable respuesta (\hat{y}_{ij}) de la covariable identificada (x_{ij})

x_{ij} : Covariable de la i-ésima repetición del j-ésimo tratamiento

\bar{x}_j : Media general de la covariable del j-ésimo tratamiento

e_{ij} : Es error aleatorio de la i-ésima repetición del j-ésimo tratamiento; causado por otros factores ajenos a la línea genética y al efecto de la covariable.

Se consideran 12 repeticiones totales y dos tratamientos, por lo que hay 10 grados de libertad para el error, los cuales explican la variabilidad residual no asociada al efecto de las covariables y tampoco al efecto del tratamiento, la cual es resultante de otros factores no controlados del experimento.

Tabla 27:

Fórmula Experimental

Tratamientos	Repeticiones					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
T1	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10
T2	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10

3.8.1.3 Condiciones experimentales

3.8.1.3.1 Monitoreo de la calidad del agua

Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022) indican que monitorearon y controlaron parámetros de calidad de agua (pH, oxígeno disuelto, salinidad, amoníaco, nitritos, nitratos y temperatura). Para la medición del oxígeno, salinidad, temperatura y pH, utilizaron diariamente un medidor multiparamétrico (Professional Plus, YSI) antes de la primera alimentación. De forma semanal, usaron un kit colorimétrico para medir los nitratos (Freshwater Master Test Kit, API) y fotómetros portátiles para evaluar el nitrito y amoníaco

(Checkers HI707-HI700, Hanna Instruments). Realizaron recambios periódicos al sistema de aproximadamente un 5% diario y limpiezas completas a los sistemas de filtración de forma semanal.

Los tanques fueron sifonados cada dos días para mantener una adecuada calidad de agua y el volumen de agua fue repuesto. Semanalmente fueron monitoreados los parámetros acuáticos como pH, oxígeno disuelto, concentración de nitritos y nitratos, utilizándose kits de determinación, según las recomendaciones de Boyd y Tucker (1998) (citado por Lozada Farías, 2019).

En consonancia con lo anterior, se monitoreó la calidad del agua de forma diaria determinando el pH, Salinidad, oxígeno disuelto, temperatura y dureza de forma diaria fijando los límites críticos inferiores y superiores según lo especificado. Utilizando un Instrumento multiparamétrico (Professional Plus, YSI) (ver figura 58). En caso de obtener valores no permitidos se plantean diferentes acciones correctivas adecuadas al sistema RAS para corregir la calidad del agua, lo que previene afectaciones y pérdidas mayores. Para realizar el análisis de calidad de agua, se utilizó la técnica de Control Estadístico de Procesos, para determinar con exactitud las probabilidades de obtener valores no tolerados en caso de obtener problemas recurrentes con el suministro de agua, para plantear acciones correctivas de mayor complejidad.

3.8.1.3.2 Temperatura

Sánchez-Sequeira (2006); utilizó un instrumento para la medición del oxígeno disuelto y la temperatura que se denomina Oxigenómetro aplicando mediciones diarias, en el siguiente horario: Madrugada (1 - 3 a.m.); Mañana: 1 (6 - 8 a.m.); Mañana: 2 (9 - 11 a.m.) Tarde 1: (12 - 2 p.m.) Tarde 2: (3 - 5p.m) y Noche (7 - 9 p.m).

Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) realizaron muestreo con instrumento multiparamétrico YSI Profesional Plus, haciendo una toma diaria de temperatura, a las 09:00 horas, antes del primer tiempo de alimentación

Igualmente, se utilizó el instrumento Multiparamétrico YSI Profesional Plus (ver figura 58); se realizaron 3 tomas de temperatura al día, una en la Mañana, entre las 08:00 y las 09:00 horas, otra al medio día, entre las 12:00 y las 13:00 horas, y una última en la tarde; entre las 16:00 y las 17:00 horas, tomando así entre 18 y 21 tomas de temperatura por semana,

suficiente para construir una gráfica de control tipo media-desviación estándar, con submuestras agrupadas semanalmente. Se utilizaron 3 calentadores, 1 de 500w, y otro de 200w para subir la temperatura a rango de confort (ver marco teórico, tabla 3).

3.8.1.3.3 pH

Es posible utilizar un espectrofotómetro, recolectando la muestra en cada batería, estanque o jaula, constituyendo la muestra con agua de cada batería. Con una frecuencia de 2 veces por semana, se realizó la determinación de pH mediante un espectrofotómetro. (Sánchez-Sequeira, 2006).

Se puede utilizar un instrumento multiparamétrico YSI Professional Plus para determinar pH, antes de realizar la primera alimentación, a las 09:00 horas con frecuencia diaria. (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).

Se utilizó el reactivo del Kit Colorimétrico PRODAC Test (ver figura 57) para determinar el pH, con una frecuencia diaria, extrayendo 5ml de agua del sistema recirculado y añadiendo 2 gotas del reactivo, se dejó reposar la muestra durante 5 minutos y se realizaba la comparación de colores observados en la escala, de modo que se categorizaba como exitoso, colores que indicasen un pH entre 6.5 y 7.5 y como fracasos aquellos fuera de este rango.

3.8.1.3.4 Alcalinidad

Rodríguez Nuñez (2020) realizó con el método de titulación con EDTA (o AEDT en español, ácido etilendiaminotetraacético) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) respectivamente para medir alcalinidad.

Se puede utilizar el método tritimétrico SM2320 para obtener la sumatoria de todas las bases titulables, aguas potables, superficiales, residuales domésticas e industriales, por lo que se utilizó para determinar la alcalinidad total en estanques piscícolas (Casadiegos Agudelo, 2023).

Se utilizó el método de titulación con EDTA utilizando el Freshaster Water Test Kit, API (ver figura 57), para alcalinidad total, tomando 5 mililitros del tanque colector, y añadiendo gota o gota hasta visualizar un viraje en el color. Posteriormente, se registran las gotas y se relaciona este valor a los especificado por el fabricante, en partes por millón de $CaCO_3$.

3.8.1.3.5 Oxígeno Disuelto y su porcentaje de saturación

Sánchez-Sequeira (2006); utilizó un Oxígenómetro para medir la concentración del oxígeno disuelto, en el siguiente horario: Madrugada (1 - 3 a.m.); Mañana: 1 (6 - 8 a.m.); Mañana: 2 (9 - 11 a.m.) Tarde 1: (12 - 2 p.m.) Tarde 2: (3 - 5p.m) y Noche (7 - 9 p.m)

Se puede utilizar un instrumento multiparamétrico YSI Professional Plus para determinar la concentración de oxígeno en partes por millón y su nivel de saturación, antes de realizar la primera alimentación, a las 09:00 horas con frecuencia diaria. (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).

Se utilizó el multiparamétrico YSI Professional Plus (ver figura 58) para determinar la concentración y la saturación de oxígeno, regularmente a las 15:00 horas, después de dos tiempos de alimentación, esto para eliminar el efecto del bajo consumo de oxígeno en tempranas horas del día. Posteriormente, se agrupan los valores medidos semanalmente para la construcción de una gráfica de control del tipo X-R y determinar el índice de capacidad.

3.8.1.3.6 Salinidad

Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022) aseguran haber realizado una medición diaria antes del primer tiempo de alimentación utilizando el YSI Professional Plus para determinar la salinidad.

Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) realizaron una medición diaria antes del primer tiempo de alimentación utilizando el YSI Professional Plus para determinar la salinidad.

Por tanto, en este ensayo se realizó una medición diaria después del segundo tiempo de alimentación, a las 15:00 horas, utilizando la sonda multiparamétrica YSI Professional Plus (ver figura 58). Posteriormente, se utilizó la carta de control Shewart tipo X-R para evaluar la estabilidad y el control del parámetro en el tiempo.

3.8.1.3.7 Dureza

Para determinar la dureza del agua es posible hacerlo con el método de titulación con EDTA (o AEDT en español, ácido etilendiaminotetraacético) y ácido sulfúrico (H₂SO₄) respectivamente (Rodríguez Nuñez, 2020).

El ácido etilendiaminotetraacético y sus sales de sodio (EDTA) forman un complejo de quelato soluble al añadirlo a las soluciones de algunos cationes metálicos. Cuando se añade

EDTA al agua que contiene calcio y magnesio, aquél se combina primero con el calcio. De acuerdo con los criterios actuales, la dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato de calcio, en miligramos por litro (IDEAM, 2007).

Se utilizó el método de titulación con EDTA con sal tetrasódica que utiliza el Freshwater Master Kit, API tal y como indica la figura 57, tomando 5 mL de agua del tanque colector. Se toma como valor la cantidad de gotas utilizadas para viraje de color, y posteriormente se hace el empate con los grados y concentración especificadas por el fabricante.

3.8.1.3.8 Nitrógeno amoniacal Total ($NH_3 + NH_4^+$)

Es posible utilizar un espectrofotómetro, recolectando la muestra en cada batería, estanque o jaula, constituyendo la muestra con agua de cada batería. Con una frecuencia de 2 veces por semana, se realizó la determinación de nitrógeno amoniacal total mediante un espectrofotómetro (Sánchez-Sequeira, 2006). Mientras que Salazar Murillo et al. (2023) utilizó la prueba colorimétrica Freshwater Master Test Kit, API; para estimar el Nitrógeno Amoniacal Total.

Emerson et al. (1975) desarrolló un método para estimar las concentraciones de ion Amonio y Amoniaco a partir de una regresión por mínimos cuadrados, para temperaturas desde los 0°C hasta los 30°C; y para valores de pH desde los 6 a los 10 puntos en la escala. Utilizó como estimadores, la constante de disociación en función de la temperatura, y el pH; tal y como lo muestra el siguiente procedimiento:

“Se puede estimar la pKa; para temperaturas entre los 0 y 30°; con la ecuación:

$$\rho k_a(T) = 0.09 + 2729.92/T$$

Donde:

$\rho k_a(T)$: Es la constante de disociación del Amoniaco en función de la temperatura

T : Es la temperatura del medio acuoso.

Esto permite, a su vez, estimar la fracción como porcentaje de Amoniaco (NH_3) con el siguiente método de cálculo:

$$f(\rho k_a, \rho H) = 1 / (10^{\rho k_a(T) - \rho H} + 1)$$

Donde:

$\rho k_a(T)$: Es la constante de disociación del Amoniacó en función de la temperatura

T : Es la temperatura del medio acuoso.

ρH : es el Potencial de Hidrógeno de la solución acuosa.

Por lo que basado en el hallazgo de Emerson et al (1975) y el procedimiento técnico utilizado por Salazar Murillo et al (2023); la determinación de NH_3 y NH_4^+ se realizó de la siguiente Manera:

1. Se utilizó el Freshwater Master Test Kit, API (ver figura 57); para determinar la concentración de Nitrógeno Amoniacal total, misma va en la siguiente escala (ppm): 0; 0.25; 0.50; 1; 2; 4; 5). Esto Indica la concentración de Nitrógeno Amoniacal Total, y de igual manera, se utiliza esta misma herramienta colorimétrica para determinar el pH.
2. Con el YSI profesional Plus, se determinó la temperatura del agua.
3. Con los valores determinados en los pasos y 2 Se utiliza la ecuación de Emerson para estimar la concentración de ion Amonio y Amoniacó.

En un procedimiento matemático, se puede visualizar de la siguiente manera:

“Sea $[\text{TAN}]$ la concentración de Nitrógeno Amoniacal (en ppm), y $f(\rho k_a, \rho H)$; el porcentaje de iónicación de Amoniacó (NH_3) se puede estimar la concentración de amoniacó $[\text{NH}_3]$ (en ppm) y de ion Amonio $[\text{NH}_4^+]$ (en ppm) de la siguiente manera:

$$[\text{NH}_3] = [\text{TAN}] * f(\rho k_a, \rho H) \rightarrow [\text{NH}_3] = [\text{TAN}] * (1 / (10^{\rho k_a(T) - \rho H} + 1))$$

Y como:

$$[\text{TAN}] = [\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+]$$

Es verdadero; se Puede estimar a concentración de Ion Amonio en la disolución acuosa, con el siguiente método de cálculo:

$$[NH_4^+] = [TAN] - [NH_3]$$

Por lo que quedan definidos los procedimientos técnicos para determinar la concentración de Amoniac, siendo esta crítica para un adecuado desarrollo de los sujetos de información. Posteriormente, con los valores diarios, determinados para cada parámetro de nitrógeno amoniacal, se utilizó el método de control estadístico de procesos, mediante la herramienta de gráficos de cumplimiento. Con un límite de tolerancia de 0,1 ppm para el amoniaco y de 2 ppm para el Ion Amonio.

3.8.1.3.9 Nitrato

Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022) hicieron uso de un kit colorimétrico Fresh Master Test Kit API para determinar los nitratos, Se desconoce el protocolo de aplicación para la medición del parámetro.

Se puede utilizar un Kit Fresh Master test API para determinar la concentración de nitratos, con una frecuencia semanal, (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023). Se realizó la determinación de Nitratos de forma diaria, utilizando el Kit Fresh Master test API (ver figura 57), que funciona a través de comparación colorimétrica, siempre y cuando la concentración de nitratos se encuentre entre las 0 y las 160 partes por millón. Después de este valor, se requiere la preparación de diluciones de 1 mililitro de agua del sistema en volúmenes de agua destilada. A esta dilución, se agita y se extraen 5ml, y se realiza la determinación de nitratos en la dilución, y por ley de volúmenes y concentraciones, se estima la concentración de nitratos en el sistema recirculado, mediante la Ley de Dilución de Berzelius. Matemáticamente; se puede expresar de la siguiente manera: “Sea entonces V_i , un volumen de un mililitro de una disolución acuosa por analizar y C_i una concentración desconocida y mayor las 160 ppm; y V_f un volumen por compuesto por 1 mililitro de la disolución y agua destilada y C_f la concentración determinada en el test; se puede aproximar la concentración desconocida mayor a 160 ppm, (C_i) mediante el siguiente procedimiento”:

$$v_i \cdot C_i = v_f \cdot C_f \leftrightarrow C_i = \frac{v_f \cdot C_f}{v_i}$$

Como $V_i = 1\text{ml}$; y V_f se constituye con una dilución de V_i y agua destilada, el método de cálculo se define como:

$$c_i = \frac{v_f \cdot c_f}{1\text{ml}} = v_f \cdot c_f$$

El procedimiento para realizar la determinación de este parámetro, cuando es desconocido y mayor a las 160 ppm se estandarizó en la siguiente secuencia:

1. Se tomó un mililitro del tanque colector, con una Jeringa graduada a 3 mililitros.
2. Se tomó una cantidad razonable de agua destilada, con una pipeta aforada a 5ml. Si se sospecha que la concentración de nitratos es aproximadamente 200ppm; se tomaron 19 mililitros de agua destilada. Si se sospecha que es de 250 ppm se toman 24 ml de agua estilada. Es decir, si se sospecha que la concentración es un número múltiplo de 10; se determina el Volumen de agua destilada de la siguiente manera:

$$V_{H_2O_d} = (c_i / 10) - 1$$

3. Se realizó la dilución, tomando el volumen de agua destilada y el mililitro de agua del sistema, y agitándolo.
4. De la dilución prepara en el paso 3, se toman 4 mililitros con una pipeta aforada, y se vierten en un tubo de ensayo.
5. Se realiza la determinación de concentración de Nitratos con la dilución. En caso de que sea un color claramente legible, y apreciable, se asocia este color con C_f ; y se toma este valor dentro de la ecuación:

$$c_i = v_f \cdot c_f$$

6. A este punto, ya se conocen V_f y C_f ; por lo que es posible determinar C_i , siendo esta la concentración de Nitratos en el sistema. Si en el ensayo, no se logra obtener un color apreciable y legible, debe repetirse este procedimiento, aumentando el volumen de agua destilada, hasta obtener un color claramente legible y apreciable. Se utilizaron relaciones de 1:5; 1:10; 1:20 para determinar la concentración.

Una de las principales limitantes de este procedimiento, es que no permite una estimación exacta del parámetro, sin embargo, permite determinar la concentración de nitratos superiores a las determinadas por el fabricante del Kit Fresh Master test API (ver figura 57). No se utilizó la herramienta de control estadístico de procesos, únicamente la herramienta de serie de tiempo, ya que, la limitante asociada a la escala de la herramienta química para la determinación del parámetro no permite apreciar la variación del parámetro en el tiempo, por lo que no se pueden estimar medidas de variabilidad adecuadas, y porque este parámetro de control no es crítico para la salud y desarrollo de los sujetos de información.

3.8.1.3.10 Nitrito

Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022) hicieron uso de un kit colorimétrico Fresh Master Test Kit API para determinar los nitritos, Se desconoce el protocolo de aplicación para la medición del parámetro.

Se puede utilizar un Kit Fresh Master test API para determinar la concentración de nitratos, con una frecuencia semanal, (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023). La determinación de los nitratos se realizó utilizando el Fresh Master test Kit, Marca API; de forma diaria, para analizar la tendencia. Esta es una herramienta colorimétrica, tal y como se indica en los apéndices en la figura 57.

3.8.1.4 Control estadístico de variables mediante cartas de control

El objetivo básico de una carta de control es observar y analizar el comportamiento de un proceso o parámetro a través del tiempo. Así, es posible distinguir entre variaciones por causas comunes y especiales (atribuibles), lo que ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso y decidir las mejores acciones de control y de mejora. Cuando se habla de analizar el proceso nos referimos principalmente a las variables de salida (características de calidad), pero las cartas de control también pueden aplicarse para analizar la variabilidad de variables de entrada o de control del proceso mismo. (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009).

El control estadístico de la calidad se basa en los tres postulados de Walter Andrew Shewhart publicados en 1934; los cuales son:

1. “All Chance systems of causes are not like in the sense that they enable us to predict the future in terms of the past” (Los sistemas de causas al azar no son similares en el sentido de que nos permiten predecir el futuro en función del pasado).
2. “Constant systems of chance causes do exist in nature” (Los sistemas constantes de causas al azar existen en la naturaleza.)
3. “Assignable causes of variation may be found and eliminated” (Causas asignables de variación pueden ser encontradas y eliminadas)

Los postulados de Shewhart en el control estadístico de calidad reflejan la esencia estocástica de los procesos industriales, donde los sistemas de causas al azar exhiben una variabilidad intrínseca impredecible, característica fundamental que desafía la predicción precisa del futuro en función del pasado. Esta observación resalta la necesidad imperativa de modelos probabilísticos para comprender y gestionar adecuadamente la variabilidad inherente a los fenómenos naturales. En este sentido, se reconoce que los sistemas constantes de causas al azar persisten en la naturaleza, indicando la presencia de fuentes de variación no eliminables por completo, cuya aleatoriedad subyacente puede ser modelada y controlada con precisión limitada. Sin embargo, los esfuerzos se centran en identificar y abordar las causas asignables de variación, aquellas fuentes específicas de variabilidad que pueden ser descubiertas y eliminadas mediante análisis rigurosos y medidas correctivas, en aras de mejorar continuamente la calidad y el rendimiento de los procesos industriales.

Una manera de detectar anomalías son los índices de capacidad, para efectos de este documento, se analizará únicamente el índice de capacidad de proceso de corto plazo, considerando entonces que la variación especificada debe ser menor a la real para concluir que un proceso está bajo control (C_p), mediante la siguiente ecuación:

$$C_p = \frac{\text{Variación Tolerada o ideal}}{\text{Variación Real}}$$

La variación tolerada está dada por las especificaciones de rango para cada parámetro en el marco teórico y resultan de la media aritmética de los datos reportados en otras investigaciones similares. Por tanto, se puede deducir lo siguiente:

$$\text{Variación Tolerada o ideal} = LSE - LIE$$

Donde *LIE* y *LSE* son los límites inferiores y superiores determinados en el marco teórico, es decir, la variación tolerada o ideal.

La variación real entonces; es la resultante de la aleatoriedad del subgrupo de muestras. Recordando el supuesto de normalidad en la distribución de esos datos, lo que implica que si los datos provenían de una población normal, su distribución de probabilidad se ajusta perfectamente con la media aritmética y la desviación estándar; y se podía inferir que un 99,74% de los datos de esa población se encuentran entre la media y ± 3 desviaciones estándar. Este concepto, visto de manera absoluta, implica que los datos de esa población "normal" debían variar 3 desviaciones estándar por debajo de la media y 3 desviaciones estándar por encima de la media, dando como resultado el concepto de 6 desviaciones estándar en una población normal, lo cual es crucial para comprender cómo abordar la variación real a partir de un subgrupo de muestras relativamente pequeño, es este caso, las recolectadas semanalmente. Del ejercicio anterior se deduce lo siguiente:

$$\text{Variación real} = 6\sigma$$

Por tanto, de las dos anteriores ideas, se obtiene que el índice de capacidad está dado por la ecuación:

$$C_p = \frac{\text{Variación Tolerada o ideal}}{\text{Variación Real}} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Sin embargo, es difícil estimar la desviación estándar en subgrupos de muestras relativamente pequeños, por lo que se puede estimar a partir del recorrido o rango, de la siguiente manera:

$$\bar{R} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}$$

Obtenido entonces el rango medio, se puede corregir para aproximar a la desviación estándar, mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Donde d_2 es una constante que relaciona el valor del Rango medio con el valor de la desviación estándar poblacional conocida. Este valor permite estimar o aproximar la desviación estándar poblacional de una distribución normal a partir de un conjunto de muestras muy pequeño, lo cual reduce los costos de inspección en el tiempo (Shewhart, 1931).

Por tanto, se puede estimar el índice de capacidad de proceso de la siguiente manera:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)}$$

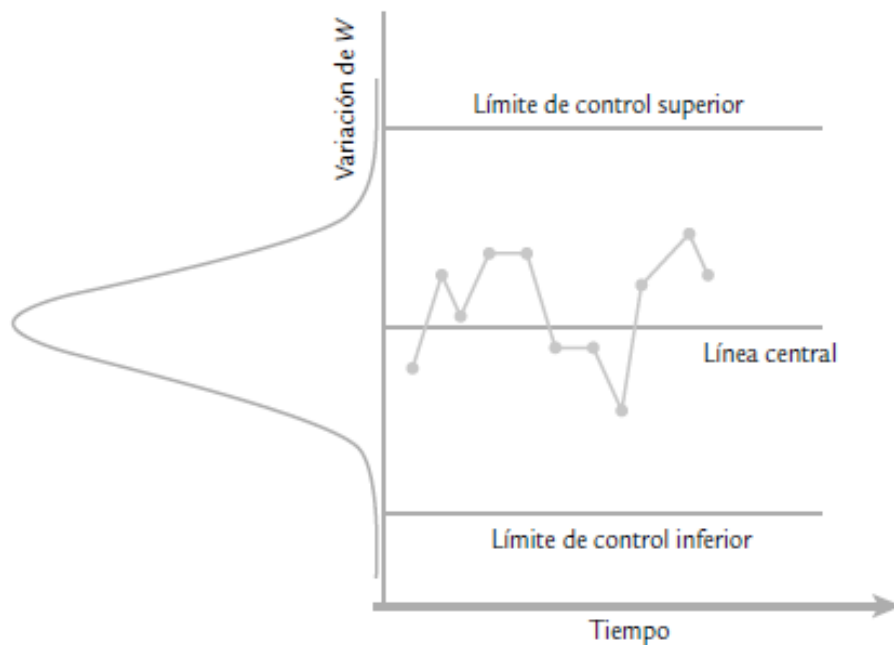
La interpretación

$$\text{Si } C_p = \frac{\text{Variación Tolerada o ideal}}{\text{Variación Real}}; \rightarrow C_p \geq 1 \leftrightarrow \text{Variación Tolerada} \geq \text{Variación Real}$$

Este índice de C_p utiliza para determinar la capacidad de un proceso. Cuando es mayor o igual a 1 (≥ 1), significa que la Variación Tolerada o ideal es mayor o igual que la Variación Real. Esto implica que el proceso tiene la capacidad de producir resultados dentro de los límites aceptables, es decir, puede cumplir con los estándares predefinidos o las especificaciones requeridas. En otras palabras, si el cociente entre la Variación Tolerada y la Variación Real es al menos igual a 1, significa que la variabilidad del proceso es controlada y está dentro de los límites aceptables en relación con las tolerancias establecidas para dicho proceso.

Figura 5

Idea y elementos de una gráfica de control estadístico



Nota: (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009)

El control estadístico de procesos (SPC) es una poderosa herramienta para la detección de problemas, que demuestra la estabilidad del proceso y la mejora de la capacidad al reducir la variabilidad. El SPC es capaz de detectar rápidamente cambios en un proceso, permitiendo realizar una investigación y acción correctiva, antes de que comiencen a ocurrir una gran cantidad de no conformidades. Entre las principales herramientas utilizadas en el control estadístico de procesos se encuentran los gráficos de control. Estos gráficos son técnicas de seguimiento capaces de demostrar cómo se desarrolla el proceso (Acuña Acuña, 2012).

Las cartas de control de Shewhart desempeñan un papel crucial en el análisis de la calidad del agua al proporcionar una herramienta visual y estadística para monitorear y evaluar de manera continua los parámetros relevantes. Estas cartas permiten detectar patrones, variaciones y posibles desviaciones en los datos recolectados durante el monitoreo de la calidad del agua en sistemas acuícolas.

Actualmente se controlan tanto variables como atributos. Entre los métodos más populares son el control de variables tipo media rango (X-R); media-desviación estándar (X-S) y para el control de atributos se cuentan con las cartas de control de defectuosos. Las cartas de control de media rango (X-R) se utilizan cuando se tienen variables continuas y se utilizan los supuestos de normalidad para determinar que un 99.96% de las observaciones están centradas respecto a la media con una variación de tres desviaciones estándar ($\mu \pm 3\sigma$)

pero se dispone de un tamaño de subgrupo pequeño ($2 < n < 9$). En el caso de las cartas de control tipo media rango (X-R) se realiza el siguiente procedimiento de cálculo para los límites de control:

Sea “L” un límite crítico, se puede determinar el mismo considerando que la variación de una variable continua respecto a la media se ajusta a una distribución normal considerando tres desviaciones medias; por lo que se cumple que:

$$Lc = \mu \pm 3\sigma$$

Se puede aproximar “ σ ” mediante el rango medio (\bar{R}), tal y como lo indica la siguiente ecuación:

$$\bar{R} = \frac{x_{max} - x_{min}}{2}; \sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Donde “ d_2 ” es un factor de ajuste utilizado que considera la variabilidad inherente al proceso en función a la cantidad de muestras por subgrupo y se utiliza para calcular los límites de control inferiores y superiores. Por lo que para considerar “ 3σ ” dentro de la variación de media rango, se realiza el siguiente procedimiento:

$$3\sigma_{\bar{x}} = 3 \left(\frac{\bar{R} / d_2}{\sqrt{n}} \right) = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R} = A_2 \bar{R}$$

Por tanto, de los procedimientos anteriores, se puede deducir lo siguiente:

$$3\sigma = A_2 \bar{R}$$

Por lo que los límites críticos están dados por:

$$LICX = \mu - A_2 \bar{R}$$

$$LC = \mu$$

$$LSCX = \mu + A_2 \bar{R}$$

Donde:

LICX: Es el límite crítico inferior calculado a partir de la variación de los datos observados.

LC: Línea central o promedio aritmético

LSCX: Es el límite crítico superior calculado a partir de la variación de los datos observados.

A_2 : Es un factor de ajuste utilizado que considera la variabilidad inherente al proceso en función de la cantidad de muestra (ver anexos).

\bar{R} : Es el rango promedio.

En el caso de las cartas media-desviación estándar (X-S), se utilizan para tener una mayor potencia para detectar cambios pequeños, por lo que se requiere mayor tamaño de subgrupo ($10 \leq n$), ya que la detección de cambios es poco efectiva mediante las cartas de media rango cuando se dispone de mayor cantidad de muestras. Es una técnica más sensible, desde una perspectiva estadística.

De igual manera, se asume el supuesto de normalidad para determinar límites críticos, lo cual implica que un 99.96% de las observaciones están centradas respecto a la media con una variación de tres desviaciones estándar ($\mu \pm 3\sigma$), y vienen dados por:

$$LICX = \mu - 3 \left(\frac{\bar{\sigma}}{C_4 \sqrt{n}} \right)$$

$$LC = \mu$$

$$LSCX = \mu + 3 \left(\frac{\bar{\sigma}}{C_4 \sqrt{n}} \right)$$

LICX: Es el límite crítico inferior calculado a partir de la variación de los datos observados.

LC: Línea central o promedio aritmético

LSCX: Es el límite crítico superior calculado a partir de la variación de los datos observados.

C_4 : Es un factor de ajuste utilizado que considera la variabilidad inherente al proceso en función de la cantidad de muestra (ver anexos).

$\bar{\sigma}$: Es la desviación estándar por subgrupo.

Para evaluar si un parámetro, proceso o artículo está controlado, se puede recurrir a la proporción de defectuosos por muestra o subgrupo mediante la carta *p*; la cual funciona mediante la siguiente idea:

- Por período, se toma una cantidad de muestras o subgrupo de n_i ensayos o inspecciones, y se cataloga como defectuosa o no defectuosa. Se puede evaluar una o más características de calidad.

- Si de las n_i inspecciones del i -ésimo grupo son defectuosos, se grafica en la carta p y se analiza la variación de la proporción de unidades por subgrupo bajo la siguiente fórmula:
-

$$\rho_i = \frac{d_i}{n_i}$$

Siempre bajo el supuesto de que los límites de control están dados por $\mu \pm 3\sigma$, se sabe que en una distribución binomial, la media y la desviación estándar están dados por:

$$u_i = \bar{\rho}; \text{ y } \sigma_i = \sqrt{\frac{\bar{\rho}(1 - \bar{\rho})}{n}}$$

Por tanto, se puede deducir que los límites de control de la carta p están dados por:

$$LICX = \bar{\rho} - 3 \sqrt{\frac{\bar{\rho}(1 - \bar{\rho})}{n}}$$

$$LC = \bar{\rho}$$

$$LSCX = \bar{\rho} + 3 \sqrt{\frac{\bar{\rho}(1 - \bar{\rho})}{n}}$$

Cuando el tamaño de subgrupo n no se mantiene constante a lo largo de las muestras se tienen dos alternativas: la primera es usar el tamaño promedio de subgrupo \bar{n} , en lugar de n . La segunda es construir una carta de control con límites variables que comentaremos más adelante. Si el promedio del proceso medido a través de p es desconocido, entonces será necesario estimarlo por medio de un estudio inicial (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008).

La variación de los parámetros de calidad de agua, en sistemas recirculados, se puede atribuir la variación de estos por causas de orden general, agrupadas de la siguiente manera; Variación por Causas comunes: Permanece constante en el tiempo y es aportada naturalmente

por los insumos (suministro de agua), prácticas de manejo, tasa de alimentación y crecimiento de los peces, carga biológica del sistema (como densidad de siembra) y la actividad biológica del biofiltro.

Variación por causas especiales: Son las principales causas de variación y pueden ser controladas por las prácticas pecuarias realizadas en el sistema productivo. Algunas de estas pueden ser; las fallas en los equipos, como problemas de bombeo, aireación, filtrado o calentamiento que puedan afectar la temperatura, oxigenación y circulación del agua; desbalance de nutrientes, prácticas de alimentación y colección de residuos.

Por tanto, para el control de temperatura, se utiliza el método de las cartas de control media desviación estándar (X-S) tomando como subgrupo la cantidad de muestras tomadas por semana. Para lo que es la oximetría, dureza, alcalinidad y salinidad, se utilizan las cartas de media rango (X-R) y para las mediciones de pH y compuestos nitrogenados, al usar kit Freshwater Master API, se optó por utilizar las cartas de control de ensayos defectuosos, estandarizando al color objetivo. Si el color observado es diferente del color objetivo, se califica como defectuoso y se grafica cuantos ensayos del subgrupo compuesto por las muestras tomadas por semana, resultaron distintos del objetivo. Posteriormente, se construye la carta para evaluar la variabilidad y estabilidad del parámetro en el tiempo.

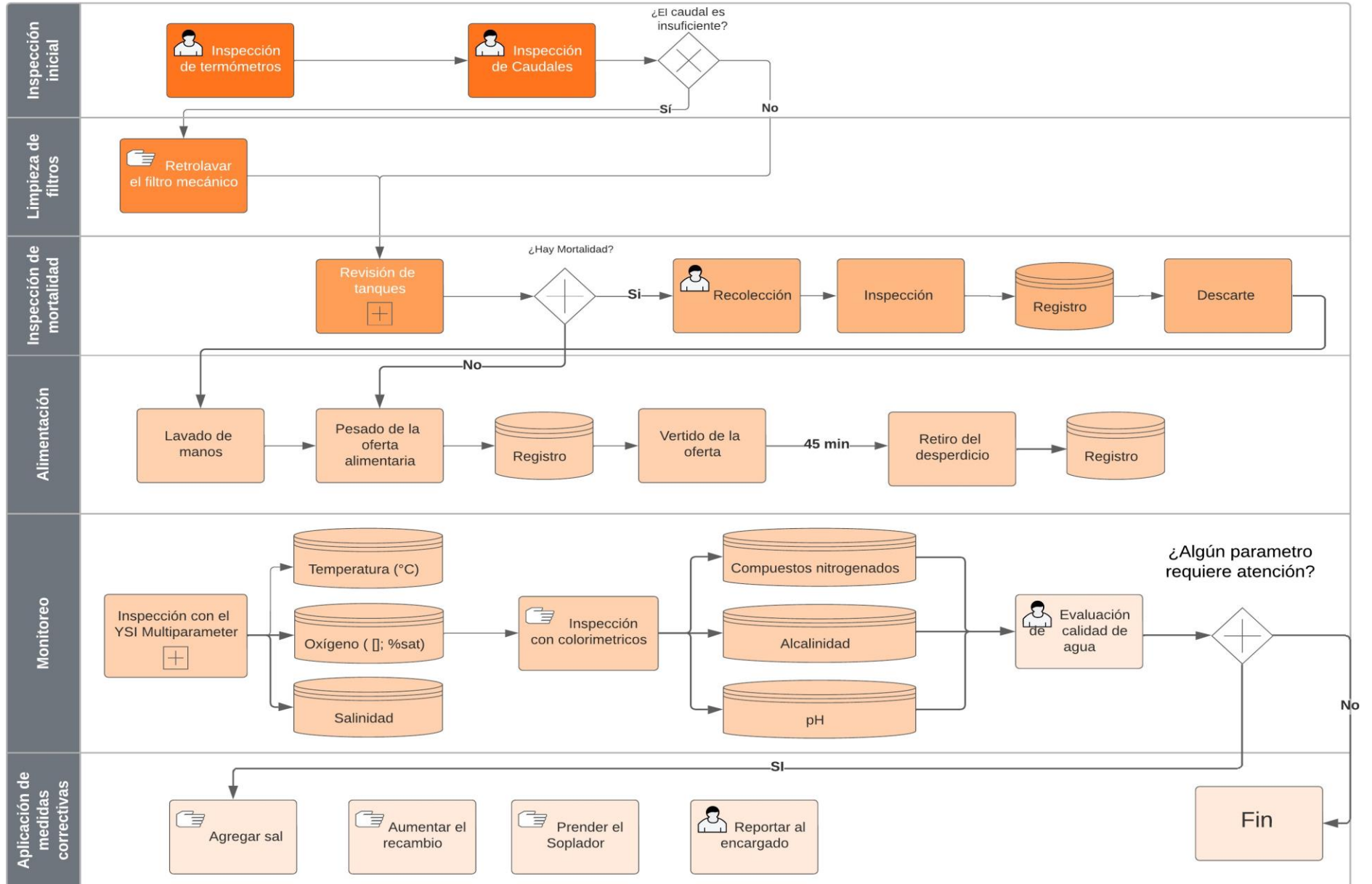
Posteriormente, con una herramienta de diagrama de espina de pescado, se identificaron aquellos problemas presentados, se agruparon según la naturaleza de su variación. Eventualmente mediante histogramas y gráficas de control, se cuantifican la frecuencia de aquellos sucesos presentados que no son aceptables, y finalmente se utiliza la herramienta de Pareto para evaluar aquellos que requieren una mayor prioridad. Los índices de capacidad fueron estimados utilizando el Programa SPSS Statistics 26.

3.8.1.5 Registros Pre-Cosecha

Del diseño experimental planteado, derivan los registros de ganancias de peso, en longitud y ancho estándar, consumo de alimento y desperdicio de alimento, mortalidad, temperatura del agua y tiempo de experimentación por unidad experimental. Posteriormente, estas variables permiten determinar diferencias significativas en cuanto el crecimiento, eficiencia y rendimiento, entre las variedades cultivadas. Todas las mediciones son poblacionales, es

decir, se mide cada espécimen de cada una de las unidades experimentales, sin excepción. La figura 6 indica exactamente cuáles son las etapas que se realizaron en cada tiempo de alimentación y en qué secuencia fueron las subtareas ejecutadas.

Figura 6.
Esquema de flujo de proceso por sub tareas



3.8.1.6 Variables de crecimiento

3.8.1.6.1 Procedimiento de anestesiado

Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022).realizaron las mediciones morfométricas y pesajes con un calibrador Vernier y una balanza granataria ($\pm 0,1$ g), anestesiando a los animales vía inmersión en eugenol marca Dharma, del tipo 100%-USP Grade) a una concentración de 40 mg/L. Mantuvieron los alevines bajo anestesia tres minutos, durante el proceso de medición, y luego se regresaron a sus peceras donde se recuperaron en un tiempo aproximado de cinco minutos o menos.

Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) realizaron las mediciones morfométricas (Figura 2) y pesajes micrómetro Vernier y una balanza granataria (LEADZM, resolución 0,01 g) respectivamente. Para realizar este procedimiento, aturdieron a los especímenes por la vía de inmersión en eugenol (Dharma, Eugenol 100%-USP Grade) a una concentración de 50 mg por litro de agua durante la fase inicial y de engorde.

Para determinar el comportamiento del crecimiento, es fundamental la inmovilización y aturdimiento para medir peso, e incrementos en longitud y ancho estándar. Para esto, se utiliza Eugenol como anestésico, en una concentración de 40ppm, (ver figura 59) para sedar a los especímenes y realizar mediciones de peso y morfometría. Posteriormente, se reintegraron a las peceras respectivas, donde se dura un tiempo de 5 minutos para su posterior recuperación.

3.8.1.6.2 Ganancia de Peso Total

La estimación de la Ganancia de Peso Total, en gramos, se estima mediante diferencia de forma periódica cada 15 días. Es decir, se pesan los especímenes en balanzas granatarias y se registra el dato de peso. Con esto, se tiene un peso inicial y un peso final y una pendiente de aumentos de peso en el tiempo, tal y como se refleja en la ecuación:

$$GPT = (Pf - Pi)$$

Tal que; GPT: es la ganancia de peso total en gramos; Pf: es el peso final gramos; y Pi: es el peso inicial en gramos (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023)

Se utilizó la ecuación anterior tomando cada espécimen como repetición, para un total de 56 especímenes por tratamiento en las mismas unidades de medición (gramos).

Por lo que se utiliza el método planteado anteriormente; tomando el promedio por unidad experimental, (promedio por tanque). Dicho parámetro se estima cada 15 días, en gramos, con un equipo con incertidumbre de ± 0.1 gramos (ver figura 61).

3.8.1.6.3 Incremento de longitud Estándar

La medición de longitud estándar, en centímetros, se estima mediante diferencia de forma periódica cada 15 días, por lo que se miden los especímenes con cinta métrica desde el extremo anterior de la boca hasta el extremo anterior de la aleta caudal. Con esto, se tiene una longitud estándar inicial, una final y las diferencias entre ellas, lo que permite calcular el incremento, tal y como se refleja en la ecuación:

$$iSL = SL_f - SL_i$$

Tal que iSL : es el incremento en la longitud estándar (cm); SL_f : es la longitud estándar final (cm); y SL_i : es la longitud estándar inicial (cm) (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).

Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022) utilizaron un calibrador Vernier para realizar la medición de longitud estándar con una frecuencia bisemanal y al igual Salazar Murillo et al (2023) que utilizó el método de cálculo planteado en la ecuación anterior para determinar los incrementos de longitud estándar por tratamiento.

Por lo que se decidió utilizar un calibrador Vernier indicado en la figura 55 para determinar la longitud estándar, con la misma frecuencia a 15 días entre mediciones durante la fase de desarrollo. La ecuación se utilizó para determinar el incremento en la longitud estándar durante la fase de experimento.

3.8.1.6.4 Ancho Estándar

La medición de ancho estándar, en centímetros, se estima mediante diferencia de forma periódica cada 15 días, por lo que se miden los especímenes con cinta métrica desde la cresta dorsal a la aleta lateral del pez. Con esto, se tiene un ancho estándar inicial, una final e incrementos periódicos de la misma, tal y como se refleja en la siguiente ecuación:

$$iSW = SW_f - SW_i$$

Tal que iSW : es el incremento en el ancho estándar (cm); SW_f : es el ancho estándar final (cm); y SW_i : es ancho estándar inicial (cm) (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).

Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022) utilizaron un calibrador Vernier para realizar la medición de longitud de ancho con una frecuencia bisemanal y al igual que Chacón-Villalobos et al. (2023); utilizó el método de cálculo planteado en la ecuación anterior para determinar los incrementos de longitud estándar por tratamiento.

Se utilizó un calibrador Vernier indicado en la figura 55 de los apéndices, para determinar la longitud de ancho, con la misma frecuencia a 15 días entre mediciones durante la fase de desarrollo. La ecuación anterior se utilizó para determinar el incremento en la longitud estándar durante la fase de experimento.

3.8.1.7 Variables de Eficiencia

3.8.1.7.1 Consumo de alimento

Sánchez-Sequeira (2006). Utilizó la tabla ATA como referencia para la planeación de esquemas de alimentación e indica que debe ajustarse a los niveles de hambre o saciedad que manifiesten los especímenes, de modo que inicialmente, se pesó el alimento, por suministrar para determinar la oferta alimentaria. Luego de 10 minutos, obseró si hubo desperdicio o no. En Caso de que no haya presencia de desperdicios, se anota como observación y se ajusta la ración para garantizar la saciedad volumétrica en los especímenes, por el contrario, si hay desperdicios, se hace un conteo de fracciones de alimento no consumidas para posteriormente, con el dato del peso promedio por fracción, obtener un estimado de alimento no consumido total.

Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022). Indican que alimento comercial fue empleado durante la aclimatación inicial y en el ensayo de alimentación. La ración diaria ofrecida a cada tratamiento fue estimada considerando la capacidad máxima de consumo de MS de los alevines como un porcentaje de la biomasa en las distintas fases de crecimiento, utilizando una tasa inicial de alimentación (TAD) de 7%, la cual fue disminuyendo en un 1% cada dos semanas (Arce, 2014). Estas dietas no fueron isoproteicas ni isoenergéticas . La ración diaria se distribuyó en tres raciones según el ritmo circadiano de

alimentación: a las siete en punto de la mañana se brindó el 40% de la ración, al medio día el 30% y el restante 30% a las cinco de la tarde, monitoreando el consumo y llevando un registro de las cantidades de alimento residuales o no ofrecidas.

Tabla 28:

Régimen de Alimentación para ambos tratamientos

Alimento	BioMar, ($\phi=1.5\text{mm}$)	BioMar, ($\phi=1.5\text{mm}$ [40%]; $\phi=3.0\text{mm}$ [60%])	Biomar ($\phi=3.0\text{ m}$)
Días de alimentación	0 - 24	25 - 31	32-99
Hora de la oferta (Mañana)	07:00:00	08:00:00	09:00:00
Medio Día	11:00:00	12:00:00	12:30:00
Tarde	16:00:00	16:00:00	16:00:00
Tiempo antes de retiro (min)	10	20	40
Oferta (respecto al BWD%)	5%	2.6%	2.4%

Inicialmente, se obtiene un peso promedio por cada fracción de alimento extrusado. Para esto, se pesan 100 fracciones de alimento balanceado para determinar el peso promedio por fracción de alimento. Esto con la finalidad el desperdicio por conteo. Sin embargo, a partir del día 32, se utilizó la regresión lineal volumétrica para estimar el desperdicio, esto por un tema de practicidad.

Utilizando la tabla ATA (tabla 72 en los anexos) se estima el requerimiento diario de consumo durante la fase de desarrollo y se divide en 3 raciones distribuidas de la siguiente manera: a las 07:00 hrs se suministra un 30% de la ración diaria requerida, a las 13:00hrs se suministró otro 30% de la ración y a las 17:00 hrs se suministró el 40% restante de la ración diaria. Posteriormente, 10 minutos después de cada tiempo de ración, se cuentan y retiran las fracciones de alimento no consumido. La ración diaria ofrecida a cada tratamiento se estimó considerando la capacidad máxima de consumo de MS de los alevines como un porcentaje de la biomasa en las distintas fases de crecimiento, utilizando una tasa inicial de alimentación (TAD) de la cual fue disminuyendo en un la oferta de alimento y el desperdicio obtenido, por diferencia se estima el consumo real de alimento, el cual es importante para ajustar planes de alimentación anteriormente formulados, posteriormente se registra. Se ajustó la ración en base al peso promedio del pesaje y el número de animales, aunque realmente, siempre se

monitoreó el consumo para determinar las variables de crecimiento en base al consumo máximo real. Los costos se calculan en base a la oferta de alimento, y el consumo, el %BWD y el FCR se determinan tomando como base, el consumo real de alimento, es decir, removiendo y midiendo el desperdicio antes de cuantificar consumo.

Para estimar el consumo de alimento respecto al peso corporal, se utiliza el siguiente método de cálculo:

$$\%BWD = \frac{CMR}{P_f}$$

Donde:

%BWD : Es el consumo de alimento respecto al peso corporal+

CMR: Es el consumo medio real

P_f : Es el peso al momento de la determinación del la %BWD.

3.8.1.7.2 Mortalidad

Sánchez-Sequeira (2006) señala que aa recolección de información acerca de mortalidad se realizó en las mañanas, posterior a la toma de datos sobre parámetros del agua, en cada una de las unidades experimentales.

La mortalidad se determina mediante observación y registro. A la hora de suministrar alimento, se observa si hubo muerte de animales. En caso de que haya presencia de algún cadáver, se extrae del tanque, se registra la muerte, y observaciones adicionales para determinar posibles causas de muerte y se ajusta la oferta alimentaria según los animales existentes por unidad experimental. El reporte de mortalidad se reporta cada 15 días y al final se determina una mortalidad general para todo el experimento, tal y como se refleja en la siguiente ecuación(Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).

$$\%Mortalidad = \frac{Peces\ finales}{Peces\ Iniciales} * 100$$

Tal que; la mortalidad es un porcentaje; los Peces finales son los que se registran en el último tiempo de alimentación y los iniciales en el primer tiempo de alimentación.

Se realizó la revisión de cadáveres, antes de realizar la oferta alimenticia, para cada tiempo de alimentación, es decir, tres veces al día. Se determina el peso del cadáver, y se revisan las condiciones de calidad de agua para descartar o verificar la causa de la muerte asociada a

defectos físico-químicos encontrados. Se realiza el registro del cadáver con los siguientes datos:

- Fecha
- Turno (Mañana, tarde, noche)
- La unidad experimental
- Peso (g)
- Observación del estado del cadáver (si flota, si tiene lesiones a nivel branquias o si presenta afectaciones tales como heridas visibles, abscesos y si tiene vísceras sanas)

Posteriormente, se realiza el cálculo de mortalidad de forma bisemanal, siempre considerando, si el animal estaba vivo al momento del anestesiado y el pesaje.

3.8.1.7.3 Tasa específica de crecimiento.

“Se determinó la tasa específica de crecimiento con el siguiente método del cálculo: Tasa de crecimiento $100 * [\ln(\text{peso final (g)}) - \ln(\text{peso inicial (g)})] / \text{tiempo (días)}$ ” (Triana-García, Gutierrez-Espinosa, & Eslava-Mocha, 2023).

“Es una medida derivada de los registros de ganancia de peso total que relaciona el crecimiento como porcentaje del peso vivo respecto al tiempo total de crianza en días, tal y como se indica en la ecuación siguiente”:

$$\text{SGR} = \left(\frac{\ln(Pf) - \ln(pi)}{t(\text{días})} \right) * 100$$

Tal que SGR: es la Tasa Específica de Crecimiento, Pf: es el peso final en gramos y Pi: es el peso inicial en gramos (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).

Los autores Triana-García, et al. (2023) y Salazar-Murillo, et al. (2023) concuerdan con el método de cálculo para determinar la tasa específica de crecimiento, por lo que se usó sin mayores modificaciones en las unidades de medición. Por cada unidad experimental, se midieron los pesos cada 15 días, y se comparó el crecimiento promedio respecto al pesaje anterior, tomando dicha cantidad de tiempo como base para el cálculo de la tasa específica de crecimiento.

3.8.1.7.4 Factor de conversión alimenticia

“La conversión alimenticia se calculó utilizando la fórmula siguiente: kilogramos de alimento consumido / ganancia de peso total. (Sánchez-Sequeira, 2006).” Fue aplicado tomando en cuenta lotes de peces como repeticiones.

Es una medida derivada de los registros de consumo real de alimento, y la ganancia de peso total, que relaciona el consumo real de alimento en gramos, respecto al peso total ganado en gramos, tal y como se indica en la siguiente ecuación:

$$FCR = \frac{CON}{GPT}$$

Donde *FCR*: es el factor de conversión alimenticia; *CON*: es el consumo real de alimento; y *GPT*: es la ganancia de peso total en gramos (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023). Dicho método fue aplicado tomando en cuenta la ganancia de peso de cada espécimen como repetición.

Por lo que, la técnica empleada, demanda tomar en gramos tanto el consumo de alimento como las ganancias de peso, ya que se pesaron todos a la hora de determinar la ganancia de peso total y se tiene registro de la cantidad de alimento consumido por unidad experimental (tanque). Posteriormente, se totaliza el alimento consumido con la ganancia de peso total promedio por tanque para posteriormente, calcular el FCR para cada repetición del j-tratamiento (línea genética), tal y como indican Sánchez-Sequeira (2006) y Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023).

3.8.1.7.5 Coeficiente térmico de crecimiento

Es una medida derivada de los registros de ganancia de peso total en gramos respecto al promedio de temperatura del agua de cada unidad experimental, y correlaciona la tendencia del crecimiento según cambios en la temperatura tal y como se indica en la siguiente ecuación:

$$(CTC) = \frac{Pf^{\frac{1}{3}} - Pi^{\frac{1}{3}}}{\Sigma^{\circ}Ce} * 10^3$$

Donde; (CTC): es el coeficiente térmico de crecimiento, Pf: es el peso final en gramos; Pi: es el peso inicial en gramos; y Ce: Es el promedio de las temperaturas diarias del agua (Choo & Bureau, 1998).

Se utilizó el método de cálculo planteado por Choo & Bureau (1998), en la ecuación anterior al igual que Zumbado Salas *et al.* (2022), sin adecuaciones ni modificaciones adicionales (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).

En este ensayo se utilizó el método de cálculo planteado en la ecuación para el CTC sin modificaciones ni adecuaciones adicionales. Debido a la naturaleza de flujo recirculado, el tamaño del sistema y su disposición, se asume que todas las unidades experimentales comparten la misma temperatura en el mismo instante. Lo anterior implica que una sola medición de la temperatura tanto en la mañana, medio día y tarde se toma como la temperatura de todo el sistema, y el promedio diario es el componente que se toma en cuenta para la determinación del CTC tal y como indican (Choo & Bureau, 1998) y (Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2022). Los cambios de peso se obtienen de los datos obtenidos promedio de ganancia de peso total para cada unidad experimental (tanque).

3.8.1.8 Registros Postcosecha

Al concluir la fase de desarrollo, Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) sexaron los animales y sacrificaron mediante eutanasia; utilizando una dosis de una concentración diez veces mayor del anestésico (500 mg/L). Seguidamente, se diseccionaron para recuperar las vísceras, hígado, gónadas y cabeza del pez, con el fin de determinar los índices mencionados anteriormente. Por último, se realizó un análisis de composición química del tejido del cuerpo eviscerado de los peces, lo que resultó en un total de cuatro repeticiones por tratamiento.

Rojas-Runjaic, y otros (2011) indican que seleccionaron de manera aleatoria 60 tilapias (15 peces/tanque) por medio de una red (atarraya de 1,5 pulgadas de luz de malla) con peso promedio de $312,88 \pm 43,87$ g y longitud total (LT) promedio de $25,59 \pm 1,18$ cm. El sacrificio lo realizaron mediante choque térmico por inmersión en agua fría (8-10 °C durante 10 minutos promedios) Después de sacrificados los peces, determinaron los parámetros morfométricos concernientes a LT, longitud estándar (LS) mediante un íctiometro (marca: Wilco, modelo 118, precisión de 0,1 mm) y las medidas referentes a la longitud de cabeza

(LC), altura de cabeza (AC), espesor del tronco (EH), longitud del tronco (LH) y altura del tronco (AH) con un vernier (marca: Solinger, modelo estándar, precisión de 0,1 mm).

Para hacer el sacrificio de los peces, mediante los siguientes procedimientos:

- Choque térmico: Se realizó mediante inmersión de los peces en agua a -8 a -10°C durante al menos 5 minutos para generar aturdimiento similar a Rojas-Runjaic, y otros (2011)., Posteriormente se procede a realizar el eviscerado de la siguiente manera:
- Descabezado: Se procedió a cortar la cabeza, realizando un corte en la sección branquial, realizando un esfuerzo perpendicular al punto de la incisión.
- Eviscerado: A cada espécimen, se le realizó una incisión superficial en línea recta de forma longitudinal en el abdomen, desde la cloaca hasta el sector ventral del opérculo para extraer las vísceras y se procede a retirar los órganos internos (estómago, intestinos, hígado y páncreas, riñones, bazo, gónadas entre otros) (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).
- Enjuague: Se procede con un enjuague con agua a temperatura ambiente en la cavidad interna resultante, para eliminar cualquier residuo.
- Clasificación: Se clasifican los órganos retirados en vísceras, cabezas, piel y gónadas para su posterior pesaje. Se registran los pesos corporales, de las gónadas, las vísceras, la cabeza y la piel para determinar el índice viscerosomático, la relación cabeza cuerpo y el peso final de la canal, para cada unidad experimental (tanque). Con esta información se determinan las variables de rendimiento del índice viscerosomático y la relación cabeza cuerpo.

Se hizo un lavado de manos riguroso con detergente líquido a una concentración del 2%, y una desinfección con alcohol al 70%. Posteriormente se procede a colocar guantes de nitrilo tipo quirúrgicos en las manos, y se desinfectan con alcohol al 70%.

Se utilizaron cuchillos diversos de acero grado alimentario con acero tipo 430; una tabla plástica de cocina color rojo con medidas de 45 centímetros de ancho por 55 centímetros de largo, recipientes varios para clasificar los residuos y una balanza granataria para hacer el pesado de las vísceras, cabezas, piel y animales en canal. Todos los utensilios se lavarán con Detergente Avalon anti grasa al 1%, y se desinfecta con una solución de amonio cuaternario a 100ppm.

3.8.1.9 Variables de rendimiento

Rojas-Runjaic, y otros (2011) indican que posterior al descamado, el filete se obtuvo mediante corte manual longitudinal en la musculatura dorsal a lo largo de toda la extensión de la columna vertebral y sobre las costillas pleurales, a fin de obtener dos medios filetes correspondientes a cada lado del pez. Además, aclaran que el corte fue realizado por una única persona y se mantuvo el filete con piel para proporcionar estabilidad al músculo. Para establecer los pesos corporales se empleó una balanza semianalítica (marca: Ohaus, modelo SP 402) con precisión de 0,01 g y utilizaron el siguiente método de cálculo

Peso fresco (PF); Peso de la canal (Pc): [PF – (peso vísceras + peso de branquias)]; Peso del tronco (Pt): [Pc – (peso cabeza + peso aletas)]; Peso del tronco limpio (TSe): [Pt – escamas]; Peso del filete (PFi): [TSe – peso espinazo]; Residuos (R): [peso cabeza + peso vísceras + peso branquias + peso escamas + peso del espinazo].

Triana-García, Gutierrez-Espinosa, & Eslava-Mocha (2023) relatan que al comenzar el ensayo muestrearon 36 peces para la evaluación de los parámetros iniciales. Al finalizar el período experimental se registró el peso de todos los peces y tomaron 10 peces por réplica para evaluación de los parámetros finales. Para histopatología del hígado tomaron cinco animales de cada réplica. Tanto al inicio como al final se determinaron valores de peso, índice hepatosomático y viscerosomático. Se realizó evaluación de patología macroscópica del hígado e histopatológica. Los peces se anestesiaron con una solución de Eugenol: etanol 1:10 a una dosis de 100 mg/L. Se pesaron con una balanza analítica (Ohaus Traveler, Parsippany, USA). Posteriormente, se sacrificaron los peces mediante sección de la medula.

A nivel de rendimiento se determinó el índice viscerosomático, y la relación cabeza cuerpo, por lo que se recuperaron los pesos de la cabeza y las vísceras. Dichos pesos se determinaron con una balanza granataria ($\pm 0,1$ g), para su posterior análisis de datos.

3.8.1.9.1 Índice Viscerosomático

Triana-García et al, (2013) determinó este parámetro mediante el uso del método de cálculo: Índice viscerosomático = $100 * (\text{peso de las vísceras} / \text{peso corporal})$.

Es una medida derivada del peso total de las vísceras con relación al peso vivo del animal, y es un componente de las mermas en el rendimiento total de la canal tal y como se indica en la ecuación presentada y se expresa como porcentaje:

$$iVS = \frac{Pv}{Pf} * 100$$

Donde *iVS*: Es el índice viscerosomático. *Pv*: es el peso de las vísceras en gramos y *Pf*: es el peso final del pez en gramos (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).

El índice viscerosomático se determinó haciendo uso de la ecuación presentada por Salazar Murillo et al (2023) tal y como especifica el diseño experimental, es decir, a todos los especímenes disponibles al momento, agrupados por tanque; para obtener el promedio por tratamiento.

3.8.1.9.2 Relación Cabeza Cuerpo

Se determinó la relación cabeza cuerpo haciendo un pesado de la cabeza después de obtener la canal comparando el peso de la cabeza respecto al cuerpo, de la siguiente manera: $RCC = \text{Peso fresco (PF)} / \text{peso cabeza}$ (Rojas-Runjaic, y otros, 2011).

Es una medida derivada del peso de la cabeza con relación al peso vivo del animal, y es un componente de las mermas en el rendimiento total de la canal tal y como se indica en la ecuación adjunta y se expresa como porcentaje:

$$RCC = \frac{Pcab}{Pf} * 100$$

Donde *RCC*: es la relación cabeza-cuerpo, *Pcab*: es el peso de la cabeza en gramos, y *Pf*: es el peso final del pez en gramos (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).

Tal y como recomiendan Rojas-Runjaic, y otros (2011) y, Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023), para determinar este parámetro de rendimiento, después del sacrificio, se determina el peso de la cabeza, para estimar su proporción respecto al peso fresco, haciendo uso de la ecuación anterior.

3.8.1.9.3 Rendimiento en canal

Se requirió una balanza granataria calibrada para determinar el peso de la canal, lo que demanda sacrificio y eviscerado. Se registra el peso para obtener el peso en canal. (Rojas-Runjaic, y otros, 2011).

Es una medida derivada del peso de la cabeza con relación al peso vivo del animal, y es un componente de las mermas en el rendimiento total de la canal tal y como se indica en la ecuación adjunta y se expresa como porcentaje:

$$RC = \frac{PF - pV - Pcab}{Pf} * 100$$

Donde RC: es el rendimiento en canal, $Pcab$: es el peso de la cabeza en gramos, pV : es el peso de las vísceras y Pf : es el peso final del pez en gramos (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023).

Tal y como recomiendan Rojas-Runjaic, y otros (2011) y, Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023), para determinar este parámetro de rendimiento, después del sacrificio, se determina el peso de la cabeza y de las vísceras, para estimar su proporción respecto al peso fresco, haciendo uso de la ecuación anterior.

3.8.2 Objetivo 2 (modelo de costo lotes de producción, asignación de costos por elemento)

3.8.2.1 Clasificación de los costos por el criterio de los elementos

3.8.2.1.1 Materiales Directos

3.8.2.1.1.1 Material Genético

Chacón Palma (2007) señala que se ha venido utilizando la semilla reversada a través de la aplicación de hormona alfa dimetil testosterona, mezclada con el alimento durante los 28 días de vida de los alevines. Sin embargo, en los últimos, del 2003 al 2006; algunos productores de semilla recurrieron al cruzamiento de dos especies puras, con el fin de obtener altos porcentajes de machos en sus progenies a mediados de la década de los años 2000 inició la introducción de la línea de supermachos, que producto de una cruce de machos con

cromosomas YY (supermacho) y hembras normales XX, obteniendo una progenie de 100% machos (XY), sin necesidad de hormonas.

Los alevines de tilapia aurea y blanca (*Oreochromis aureus*) provinieron de la Estación Acuícola Diamantes ubicada en Guápiles, Pococí, perteneciente al Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA) (Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2022)

Como se resaltó anteriormente, se adquirieron alevines en la calidad de sexualmente reversados, con el protocolo de aplicación de hormona 17- α -metil-testosterona, de la Estación Acuícola Los Diamantes, ubicada en Guápiles, Pococí, administrada por el Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura, sin un protocolo de sexado visual postcompra. Se realizó la compra de 200 animales, 100 por tratamiento y el criterio de selección fue la talla y el peso, cada uno en un costo unitario de 75 colones.

3.8.2.1.1.2 Alimentos balanceados

En este aspecto se puede identificar a empresas que tienen sus operaciones de cultivo ubicadas en tierra firme como es el caso de abalones, y también productoras que tienen sistemas de cultivo en mar en sistemas flotantes como mejillón y ostión (Muñoz Mansilla, 2017).

“La elaboración de un plan de producción se calcula estimando el consumo de alimentos, la tasa de conversión de alimento y la tasa de crecimiento mensual de la población de peces. Existen diferentes tipos de software para la planificación de la producción. Todos ellos emplean el cálculo de la tasa de crecimiento a través del tiempo de los peces. La tasa de crecimiento depende de la especie, su tamaño y la temperatura del agua. Una manera fácil para aproximarse a un plan de producción es obtener una tabla de alimentación para la especie. Estas tablas están disponibles a los fabricantes de alimentos para peces.” (Gómez Santacruz & Barra Céspedes, 2018).

Para determinar el costo por concepto de alimentación, se utiliza la segmentación en función de los tratamientos valorados, por factor, en este caso la raza como el factor único y las líneas genéticas como tratamientos, como criterio para asignar el alimento consumido. Posteriormente, se totaliza el alimento ofertado, y se multiplica por un costo unitario calculado en función del costo total y del contenido neto del producto.

3.8.2.1.1.3 *Mano de Obra*

La lista de salarios mínimos se clasifica con base en los Perfiles Ocupacionales, documento aprobado por el Consejo Nacional de Salarios (Resolución Administrativa 03-2000). Esta lista es una guía ilustrativa, elaborada de conformidad con esos perfiles, contiene algunas ocupaciones seleccionadas por el Departamento de Salarios Mínimos. Las ocupaciones aquí incluidas se basan en las tareas típicas conocidas, por lo que un puesto determinado podría tener una clasificación distinta según sus características y responsabilidades específicas.

Se considera toda la Mano de Obra como directa, y se requiere personal semicualificado, capaz de operar equipo de bombeo, filtrado y monitoreo, por lo que se realizará el modelo tomando en cuenta el supuesto de nivel de calificación, y asignando el rubro de mano de obra a los costos directos, bajo el supuesto de medio tiempo laboral, ya que se requieren al menos, 8 horas para completar las tareas de oferta de alimento, retiro del alimento no consumido, monitoreo de parámetros fisicoquímicos con sonda multiparamétrica analógica y kit colorimétrico, y completar los tiempos de alimentación según horas especificadas, además del trabajo de registro y digitalización; por lo que se requiera que tenga fundamentos de análisis químico para una aplicación correcta de los procedimientos de medición de parámetros de calidad de agua además de conocimientos en cómputo.

3.8.2.1.1.4 *Costos Indirectos*

3.8.2.1.1.4.1 *Depreciación Inmuebles*

En el Manual de Valores Base Unitarios por tipología constructiva se establece que; para determinar el valor de un bien inmueble, se debe en primer lugar, clasificar el inmueble según su sistema constructivo, con rango de vida útil de diseño (VUD) de la siguiente manera (Ministerio de Hacienda, 2019):

- Temporales (rango de 1 a 9 años)
- Vida corta (rango de 10 a 24 años)
- Vida media (rango de 25 a 59 años)
- Vida larga (rango de 60 a 100 años)
- Permanentes (rango de 101 a 120 años).

Posteriormente se debe actualizar el precio considerando los Índices de Precios de Insumos para la Construcción de viviendas y edificios publicados por el Banco Central de Costa Rica (BCCR) y del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS); en caso de que no se pueda aplicar, se debe considerar un incremento del 4,98% anual desde la fecha de construcción hasta la fecha actual.

Para estimar el valor de inmuebles construidos, se utiliza el método de reposición. Esto implica que, para determinar el valor inicial del inmueble, debe utilizarse el método de reposición; que se basa en el principio de “que no se justifica pagar más dinero por una propiedad, que el costo de construir una estructura similar en un terreno equivalente”. Para la determinación del valor de las construcciones, instalaciones y obras complementarias que se deseen valorar usando el presente Manual, primero se debe tipificar la obra como se describe a continuación y luego aplicar el “Método de depreciación” (Ministerio de Hacienda, 2013).

Para determinar la depreciación de cualquier inmueble, se debe tomar el valor inicial del Inmueble, que está dado por los costos de construcción de este, el cual se puede estimar en función de los metros cuadrados construidos, considerando un valor de inflación anual dado por Índices de Precios de Insumos para la Construcción de viviendas y edificios. El Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, publica anualmente, el promedio de costos de construcción para cada categoría de inmueble, y mediante una medición satelital del perímetro del módulo, es posible determinar los metros cuadrados construidos; para determinar los costos de construcción de este, siendo estos, la base del valor inicial del inmueble al inicio de su vida útil. Se debe asignar un valor residual, mismo está dado por el CFIA y el Ministerio de Hacienda, y la vida útil, determinada por el Ministerio de Hacienda, el cual permite, tanto el método lineal como el de suma de dígitos de los años, sin embargo, para efectos de este ensayo, se consideró el método lineal.

3.8.2.1.1.4.2 Depreciación Maquinaria

Se recomienda recoger toda la información concerniente a cada máquina, equipo o herramienta utilizada en una hoja de cálculo, asignando una clave para la gestión de la maquinaria, posteriormente, se utilizó un modelo relacional para relacionar las maquinarias, departamentos, horas de trabajo y vidas útiles estimadas para sistematizar el cálculo de la depreciación, utilizando modelos de regresión (Peiro Boscá, 2015).El método de

depreciación aceptado a nivel nacional, es el método de línea recta tal y como se establece en el Sistema Costarricense de Información Jurídica para la Valoración, Revaluación, Depreciación de Propiedad Planta y Equipo. Dicho modelo tiene las siguientes consideraciones (Ministerio de Hacienda, 2019):

- Depreciación: Es la distribución sistemática del costo de un activo durante su vida útil.
- Vida útil es: El periodo o de tiempo durante el cual espera una empresa usar un activo; o bien, el número de unidades de producción o similares que una entidad o institución espera obtener de un activo.
- Costo de Adquisición: Incluye el precio neto pagado por los bienes, más todos los gastos necesarios para tener el activo o en lugar y condiciones que permitan su funcionamiento, como los derechos y gastos de importación, fletes, seguros, gastos de instalación y acondicionamiento necesarios hasta su puesta en operación.
- Valor residual o Valor de rescate: Aquella parte del costo de un activo que se espera obtener al final de su vida útil.
- Valor en libros: Es el costo del activo menos la depreciación.

Se construyó una base de Datos con los equipos comprados, en donde se anota su costo de adquisición final (más I.V.A); el valor residual determinado por el Ministerio de hacienda, y la vida útil esperada reconocida por el aparato estatal. Posteriormente, se determina la tasa de depreciación mensual, por método de línea recta, para estimar el costo de depreciación mensualmente. Misma sistematización se utiliza para determinar la depreciación acumulada, y el valor en libros del activo, sin embargo, el valor en libros es trivial, ya que la depreciación acumulada a lo largo del ensayo es la que permite asignar el desgaste a cada tratamiento para realizar la determinación de los costos totales.

3.8.2.1.1.4.3 Costos *Energéticos*

Lo primero que se debe hacer es identificar y cuantificar los elementos de consumo eléctrico, y anotar la potencia consumida por cada uno de ellos, mostrada en la placa de datos del mismo aparato, si no se tiene la potencia, se puede calcular si la placa tiene los valores de tensión y de intensidad de la corriente (INA, s.F). Para empezar, se puede crear una tabla con los valores de tensión, corriente y potencia, esto por cada aparato encontrado y de ser posible,

etiquetarlo y establecer la ubicación. De esta manera se puede cuantificar por equipo, ubicación en la residencia o local comercial, la tensión de operación, la corriente consumida y la potencia revisando los datos de su placa, la potencia se puede obtener directamente de la placa pero si por alguna razón esta no viene, pero si la tensión e intensidad de la corriente aparecen, se puede calcular la potencia multiplicando estos valores, y se anotan en la imagen anterior, esta tabla se puede confeccionar en un cuaderno cuadriculado o en la computadora en Excel (INA, s.F).

Es importante establecer muy bien los tiempos de uso de los equipos eléctricos, entre más preciso sea el tiempo, más cercano al monto cobrado por mes de parte del operador eléctrico será el cálculo, y se podrán tomar decisiones más acertadas para reducir este consumo de energía (INA, s.F).

Se debe identificar el Proveedor de energía, el cual está determinado por la ubicación del predio, el régimen tarifario vigente, y la tarifa del mes evaluado para determinar con exactitud, el monto por cobrar, mismo está disponible en la página oficial de la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP, 2024).

Se realizó el cálculo del consumo eléctrico tomando en cuenta los siguientes Supuestos:
Ubicación: San Rafael de la Unión.

- Régimen tarifario: T-Ge General.
- Supuesto de uso de equipos: Continuo (deben funcionar las 24 horas para mantener la salud y el confort de los peces y la integridad estructural del sistema).

Posteriormente, se realizó el inventario de máquinas y equipos, revisando los valores de tensión, corriente y potencia para cada equipo. Se determinó la energía consumida al día (en Kwh) para el supuesto de uso continuo de los equipos empleados; mediante el siguiente cálculo:

$$\text{Consumo eléctrico} = [T_n * I_n] * [(1000)^{-1}] * [24] * t * C_m$$

Donde:

T_n : Es la tensión en voltios utilizada por el n-ésimo elemento eléctrico.

I_n : Es la intensidad de corriente en amperios utilizada por el n-ésimo elemento eléctrico.

t_n : Es el número de días de uso de la maquinaria y equipo.

C_m : Es la tarifa mensual en Kilovattio/hora autorizada por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.

3.8.2.1.1.4.4 Costos Hídricos

El agua se cobra mensualmente por el operador del servicio, y debe emitir una factura que desglose la cantidad de metros cúbicos consumidos en los servicios de acueducto, alcantarillado e hidrantes, y cobrar de acuerdo con las tarifas autorizadas por la ARESEP y los esquemas tarifarios en el servicio de agua. ARESEP define tarifas para cada uno de los operadores, según los costos operativos de cada uno y la cantidad de clientes a quienes deben abastecer del servicio (ARESEP, 2024).

El cálculo del costo por uso de recurso hídrico se realiza bajo el supuesto de que todas las unidades experimentales y los niveles de los tanques están a máxima capacidad, y que el porcentaje de recambio diario es del 5%, tal y como se establece en la propuesta inicial. El acueducto correspondiente que se consideró para el cálculo fue el de Tres Ríos, administrado directamente por Acueductos y Alcantarillados (AyA).

3.8.2.1.1.4.5 Costos de Monitoreo

Cabe señalar que los costos de la mala calidad pueden ser muy altos dependiendo del desempeño de la empresa, e incluso llegan a representar entre 25 y 40% de las ventas de la empresa para un nivel de aceptación de $\pm 3\sigma$ (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009). Sin embargo, en situaciones de buena calidad, este costo no debería representar más de un 5% de la estructura de los costos; debido a que no hay retrasos en la producción y los productos terminados cumplen con las expectativas y criterios de calidad esperados por el cliente (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009).

Para realizar el monitoreo de temperatura, oxígeno y salinidad, se utilizó el multiparamétrico YSI Professional Plus, por lo que se toma la depreciación del artefacto dentro del rubro de monitoreo, para asignar una categoría de costo a esta actividad dentro del conjunto de los Costos Indirectos de Fabricación. De la misma manera, se cuantifica el costo de monitoreo de pH, nitrógeno amoniacal total, nitritos, nitratos, dureza y alcalinidad, con el Freshaster Water test Kit, API; basado en la tasa de uso determinada por el fabricante y los días donde se aplicó el ensayo, esto para cada reactivo para reflejar el costo real del monitoreo de los parámetros físico-químicos.

3.8.2.1.1.4.6 Otros Gastos: Mortalidad

La Norma Internacional de Contabilidad 2 indica el tratamiento contable para inventarios, su medición mediante el importe apreciado de comercialización y los costos considerados de comercio y consumado en los períodos de elaboración, incluyendo la disminución por deterioro de inventarios, también menciona la medición de activos biológicos, finalmente, detalla la metodología de acuerdo con el tipo de inventarios (Suárez Mena & Balón Tomalá, 2021). La NIC 41 Menciona que “Un activo biológico debe medirse desde su reconocimiento como tal, al inicio y final del período fiscal, respecto al valor razonable y restando los costos de la venta, según los menciona el párrafo 30 cuando a la fiabilidad no permita realizar su medición en el valor razonable” (IFRS, s.F). Por lo que basado en la norma Internacional de Contabilidad 41, se hizo un traslado de costos de los rubros de semilla (animal al inicio del experimento), alimentación, depreciación de instalaciones (inmuebles), maquinaria y equipo y monitoreo, haciendo uso de un Modelo relacional que permite, determinar cuál fue el costo acumulado del espécimen encontrado, desde el inicio del experimento, hasta la fecha de la mortalidad, para cada unidad experimental. Esto para determinar el valor razonable de los peces muertos al momento de su hallazgo, basado en los costos aplicados durante la transformación biológica. Lo mismo se hace con el objetivo de descontar los animales fallecidos del costo real total del experimento y del costo unitario final para cada raza evaluada.

3.8.2.2 Modelo de costos de producción por lote-orden de trabajo

Existen varios sistemas de acumulación de costos; la acumulación de costos por proceso y el sistema de costeo por órdenes de trabajo, costeo por actividades, costeo ABC entre otros. Cuando se trabaja con costos por órdenes de trabajo, lote, o pedido, que sea físicamente identificable a medida que avanza su producción. Previo a la iniciación de la producción, se debe haber expedido una orden que se identifica con un número interno, y al agregar los elementos de costo, se lleva una relación directa o estadística de los insumos consumidos en una hoja de costos, que identifica específicamente una orden y contiene los respectivos espacios para acumular materia prima, mano de obra y costos indirectos consumidos por

dicha orden. La hoja de costos permite conocer el costo total de la orden y, por tanto, el costo unitario (Sinisterra Valencia, 2006).

En un sistema de costos por órdenes de trabajo, el esfuerzo de la asignación de los tres elementos del costo (materias primas directas, mano de obra directa y carga fabril) se encamina hacia el pedido de un cliente, un contrato, una unidad de producción o un lote elaborado para satisfacer las especificaciones de los clientes y presenta las siguientes características (García Colín, 2020)

- La producción no tiene un ritmo constante, por ello requiere una planificación que comienza con la recepción que comienza con la recepción de un pedido, que suele ser la base para preparar y emitir la orden de fabricación.
- Cada trabajo representa distintas especificaciones de fabricación: período de tiempo, recorrido de la producción, máquinas a utilizarse, entre otros.
- Se conoce el destinatario de los bienes o servicios antes de comenzar la producción, es decir, la demanda suele anteceder a la oferta.
- Se usa cuando la producción consiste en trabajos a pedido; también cuando el tiempo requerido para fabricar una unidad de producto es relativamente largo y cuando el precio de venta depende estrechamente del costo de producción.
- Se identifica claramente, cada trabajo a lo largo de todo el proceso, desde que se emite la orden de fabricación hasta que concluye la producción.
- La unidad para la que se acumulan los costos es la orden específica.
- Permite conocer con facilidad, y en cualquier momento, el costo de cada trabajo, por lo tanto, se simplifica la tarea de establecer el valor de las existencias en proceso.
- La fabricación está planeada para proveer a los clientes de un determinado número de unidades a un precio de venta acordado. El costo del trabajo es una base para hacer una comparación con el precio de venta

Bajo estos supuestos, establecidos por Sinisterra Valencia (2006) y García Colín (2020) se adaptó la técnica de costeo por órdenes de trabajo, siendo en este caso la especificación de producción, los tratamientos aplicados del factor “línea genética”; ya que es posible identificar los recursos utilizados a cada una de estas. Tal afirmación implica que los costos aplicados se centralizan en una hoja de costo para cada línea genética. En el caso de la Carga

Fabril, se distribuyen los costos con base en la cantidad de tanques (unidades experimentales); y se cuantifica la cantidad de materias primas (alimentos y material genético) a cada tratamiento en su respectiva hoja de costos, y la mano de obra directa se distribuye a partes iguales, ya que cada tratamiento utiliza 6 repeticiones, por lo que son seis tanques asignados a cada línea genética para un total de 12 tanques. Queda excluido la mortalidad, ya que esta se maneja como gasto por pérdidas, determinados igualmente, en la hoja de trabajo.

3.8.3 Objetivo 3

Para determinar los costos unitarios, se necesita tener una claridad que se entiende como costos y gastos de producción, tanto en lo industrial, como en lo comercial, administrativo y financiero. Con base en el conocimiento de los costos unitarios, se puede calcular precio de venta involucrando un margen de utilidad que le asegure la supervivencia y el desarrollo de la empresa. Este mismo conocimiento permite prever la incidencia de los gastos y costos en los resultados, para diseñar políticas de planeación y control (Sinisterra Valencia, 2006).

Los costos unitarios se pueden determinar mediante la acumulación de materiales directos mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación en relación con el número final de unidades producidas (Jiménez Boulanger & Espinoza Gutiérrez, 2007)

Para determinar los costos de producción, se agrupan los costos directos e indirectos en la hoja de trabajo y se comparan respecto a la cantidad total de unidades producidas, en este caso, los kilogramos totales finales para cada tratamiento, tal y como se indica en la siguiente fórmula

$$C/U_j = \frac{MD_j + MOD_j + CIF_j}{Bf_j}$$

Tal que:

C/U_j : Representa el costo unitario en colones del j -ésimo tratamiento o línea genética.

MD_j : Son los materiales directos consumidos por el j -ésimo tratamiento o línea genética.

MOD_j : Es la mano de obra asignada al j -ésimo tratamiento.

CIF_j : Son los costos indirectos de producción prorratedos y acumulados por el j -ésimo tratamiento.

Bf_j : Es la biomasa total del j -ésimo tratamiento o línea genética a los 100 días de ensayo.

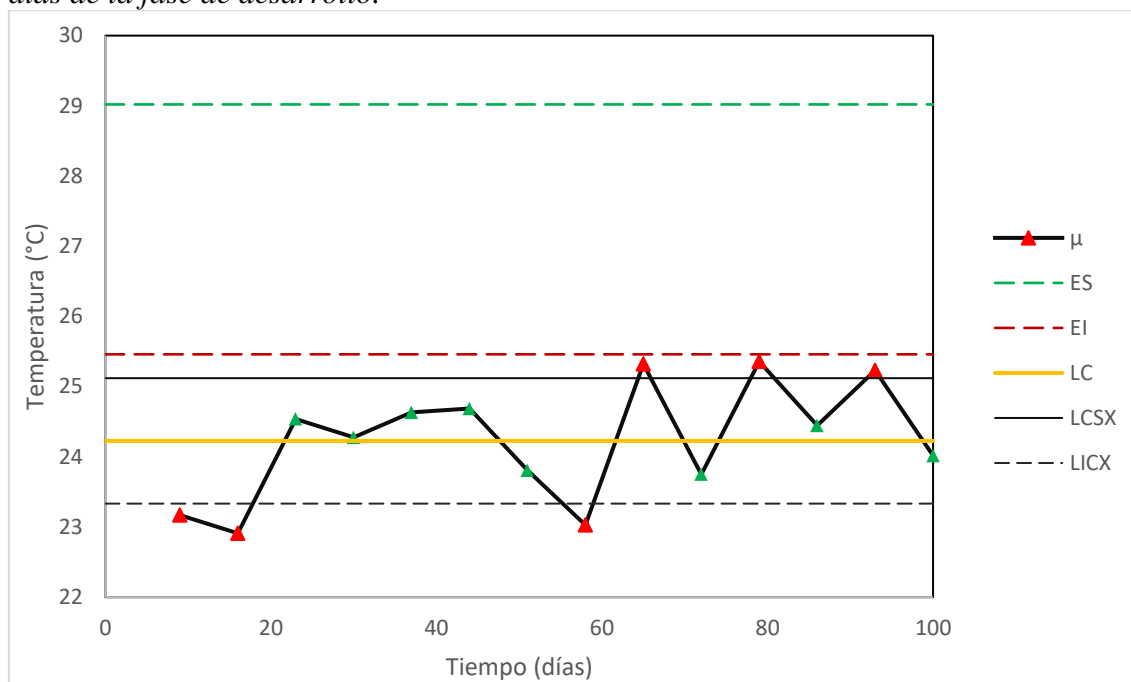
Capítulo IV. Resultados

4.1 Parámetros físico-químicos de calidad de agua

4.1.1 Temperatura

Figura 7:

Carta de control Shewhart tipo X-S para el control de la temperatura durante los 100 días de la fase de desarrollo.



Nota: μ : Promedio Semanal; ES: Especificación Superior y EI: Especificación inferior (ver tabla 3) LCSX: Límite Crítico superior y LICX: Límite crítico inferior. LC: línea central $E(\mu)$.

La figura 7 refleja una alta variabilidad de la temperatura, acotada entre los valores de 22°C y los 27°C a lo largo del tiempo, con un promedio general de 24,26°C y una desviación estándar de 1,31°C (para 181 mediciones realizadas).

Dicha carta de control refleja que la temperatura presentada en la figura 6 no se ajusta a las temperaturas específicas entre los 25,46°C y los 29,02°C.

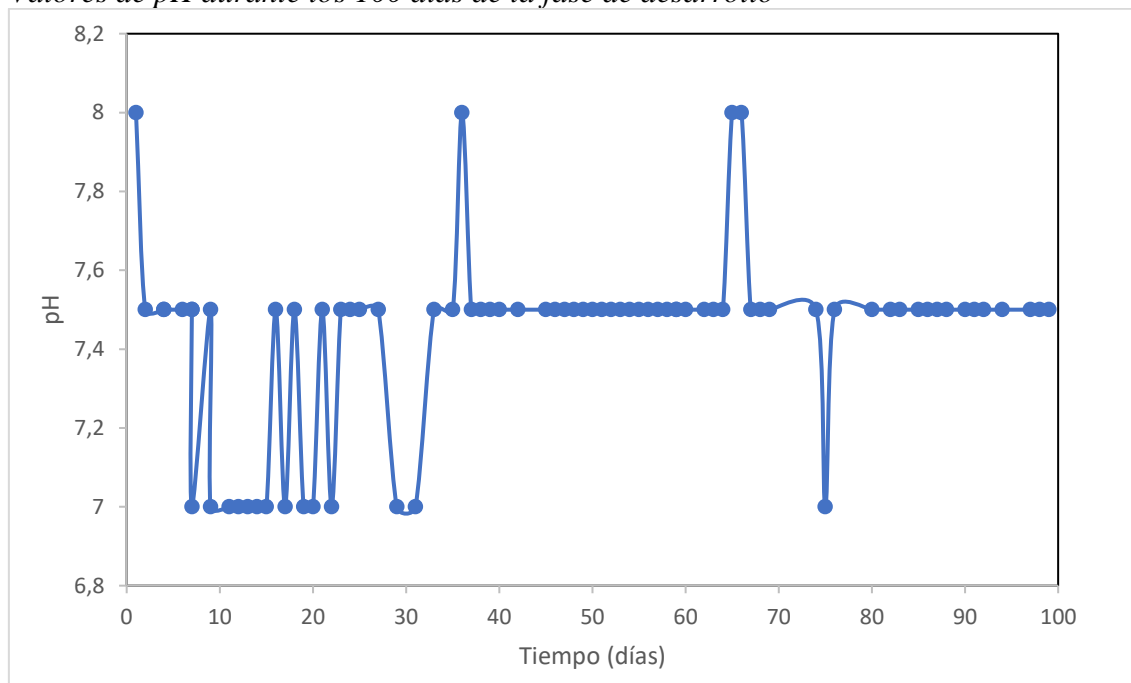
Se han registrado cinco violaciones de las reglas de control, incluyendo puntos que están por debajo o por encima de los límites críticos. Esto sugiere una variabilidad significativa en la temperatura. Las estadísticas del proceso revelan que el 79,6% de los datos se encuentran fuera del límite de especificación inferior (EI), lo que indica que hay una alta proporción de datos que no superan el límite mínimo aceptable de temperatura.

Los índices de capacidad muestran que el proceso no está bien ajustado para cumplir con las especificaciones de temperatura. Por ejemplo, el índice de capacidad C_p está por debajo de 1 ($C_p=0,532$), lo que indica que la variabilidad del proceso es demasiado alta en relación con la dispersión permitida dentro de las especificaciones.

4.1.2 pH

Figura 8:

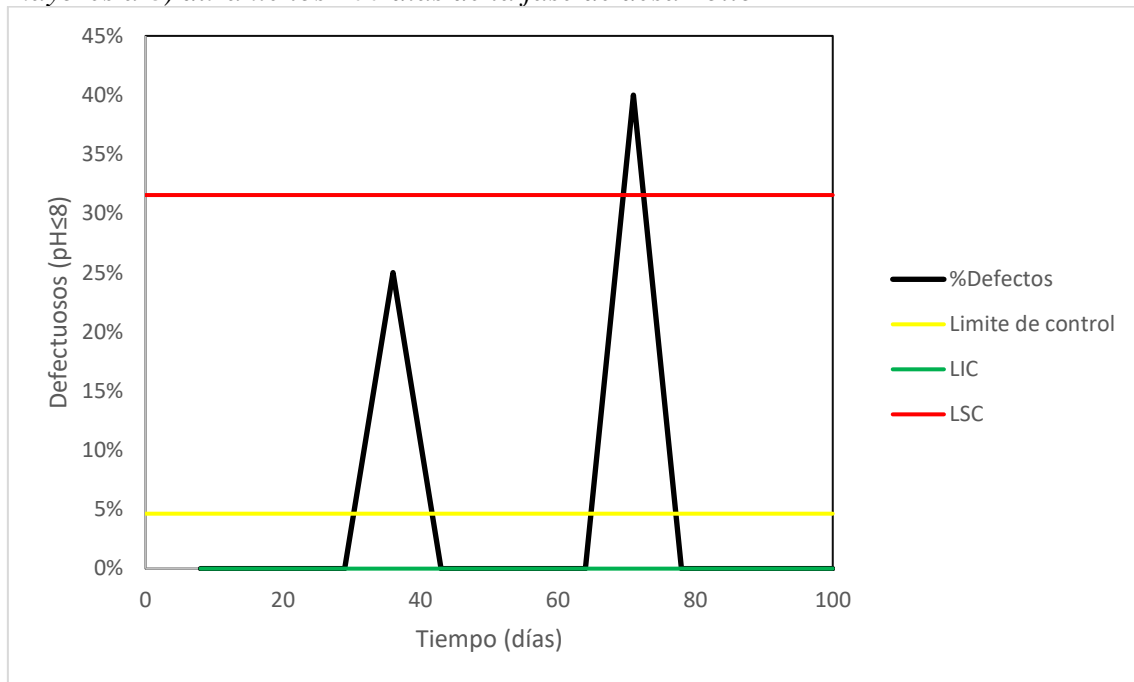
Valores de pH durante los 100 días de la fase de desarrollo



Durante los 100 días de la fase de desarrollo, el promedio del pH fue de 7.4, con una desviación estándar de 0.2; observando mayores variaciones del parámetro durante los primeros 30 días del ensayo, tal y como lo muestra la figura 7. Al final del ensayo, el pH se mantuvo estable en 7,5 puntos de la escala; sin embargo, hubieron variaciones entre los 65 y 75 días de ensayo, las cuales tuvieron bastante peso, debido que en dos de los ensayos en este intervalo de tiempo el pH fue mayor a 8, lo cual no se tolera.

Figura 9:

Carta de control Shewhart tipo P (basado en la proporción de pH menores a 6.5 y mayores a 8) durante los 100 días de la fase de desarrollo



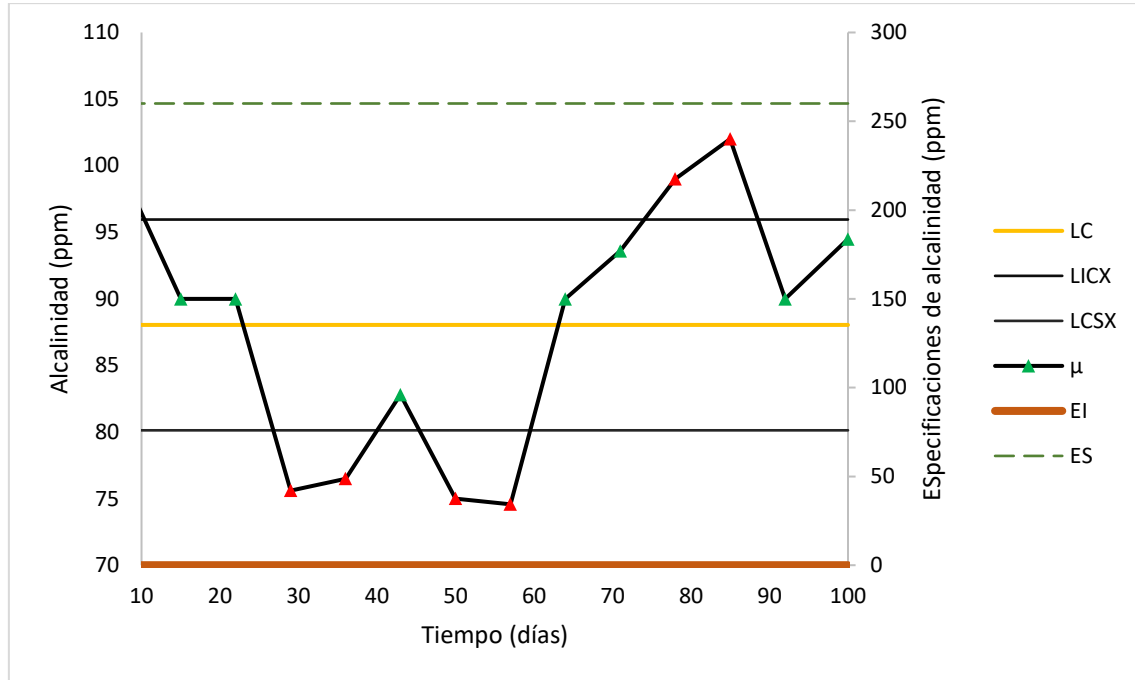
Nota: Límite de control: Línea central o promedio $E(\mu)$. LIC: Límite de control inferior. LSC: Límite de control superior.

Tal y como lo muestra la figura 9, las dos mediciones del pH ocurridas entre los días 65 y 66 que fueron mayores a 7.5, representan una violación a la regla de tolerancia, ya que el porcentaje de ensayos defectuosos en ese intervalo de tiempo supera lo tolerado. En general, las estadísticas del proceso dictan que solo un 6.2% de las veces que se midió el pH, estuvo por encima de los 7.5 e iguales a 8, por lo que se puede aseverar que el sistema RAS tradicional es capaz de estabilizar el pH (Para una prueba binomial de una muestra, se rechaza la hipótesis de que el cumplimiento y no cumplimiento tienen la misma probabilidad con un $p\text{-value}=0.000$ y se acepta la hipótesis de que el cumplimiento es del 90% y el no cumplimiento es del 10% con un $p\text{-value}=0,106$). Solo en los días 66 y 65 se violó la regla de tolerancia.

4.1.3 Alcalinidad

Figura 10:

Carta de control Shewhart tipo X-R para la alcalinidad durante los 100 días de la fase de desarrollo.



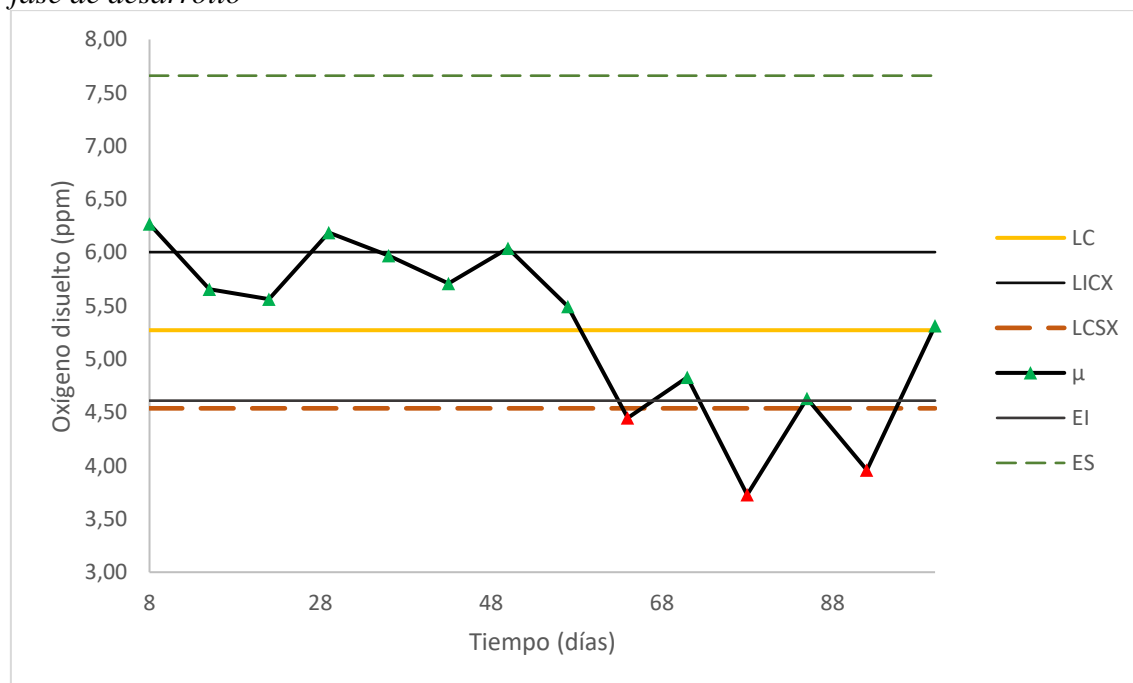
Nota: μ : Promedio Semanal; ES: Especificación Superior y EI: Especificación inferior (ver tabla 3) LCSX: Límite Crítico superior y LICX: Límite crítico inferior. LC: línea central $E(\mu)$.

En cuanto a la alcalinidad, definida como la capacidad tampón de una disolución, expresada como la concentración total de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos; a nivel general se mantuvo entre las 72 y las 108 ppm, con una media de 87 ppm y una desviación estándar de 12.71 ppm durante los 100 días de la fase de desarrollo, tal y como se muestra en la figura 10. Además, la ausencia de datos fuera de los límites de especificación y la baja proporción estimada de datos fuera del límite superior de especificación consolidan la robustez del proceso en términos de consistencia y control. Este desempeño excepcional implica una confianza considerable en la capacidad del proceso, con un índice de $C_p=4.738$, para mantener la alcalinidad dentro de los límites deseados, lo que sugiere un entorno operativo altamente estable y controlado, ya que la tolerancia establecida es 4.7 veces mayor que la variación de los datos presentados.

4.1.4 Oxígeno Disuelto

Figura 11:

Carta de control Shewhart tipo X-R para el oxígeno disuelto durante los 100 días de la fase de desarrollo



Nota: μ : Promedio Semanal; ES: Especificación Superior y EI: Especificación inferior (ver tabla 3) LCSX: Límite Crítico superior y LICX: Límite crítico inferior. LC: línea central $E(\mu)$.

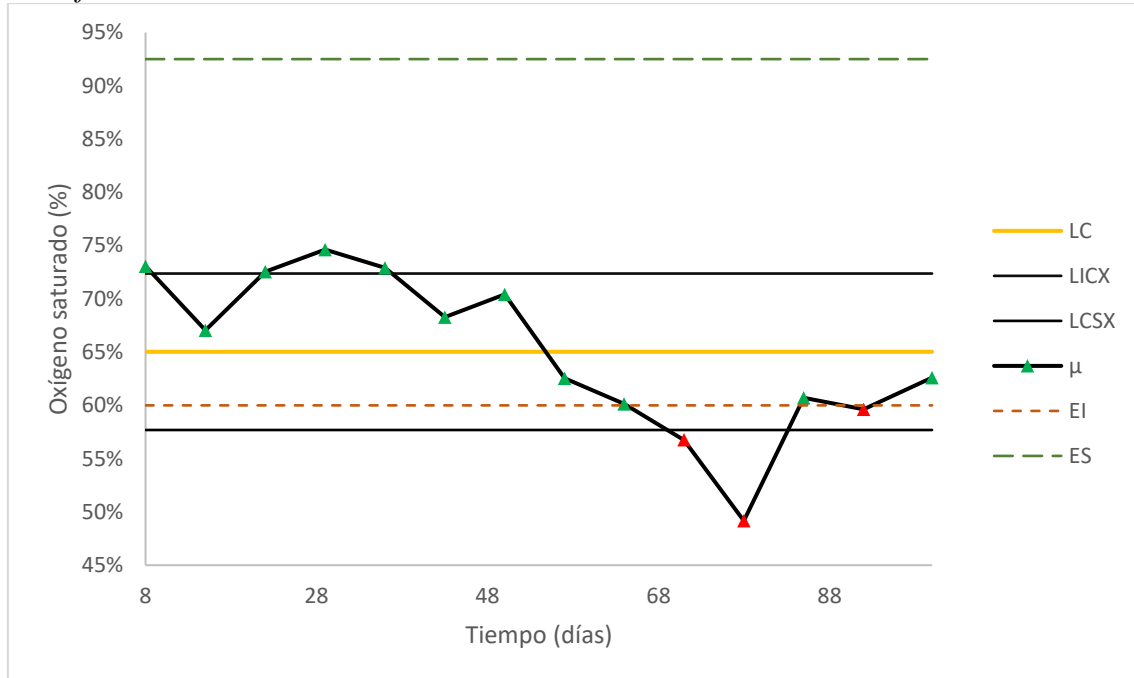
En la figura 11, se muestra el comportamiento del oxígeno disuelto en función del tiempo, el cual muestra una tendencia hacia la baja, empezando entre 5 y 7 partes por millón durante los primeros 50 días de ensayo y disminuyendo paulatinamente, esto implica que el comportamiento de tal variable no es estocástico en sí mismo.

De igual manera, en la figura 11 se visualiza la concentración de oxígeno respecto a los límites especificados. El índice de capacidad es de $C_p = 0,781$, lo que implica que la variación real es mayor que la variación tolerada, por lo que se concluye que el parámetro del oxígeno disuelto no está dentro de los parámetros de control. Dicho control se perdió hacia el final del ensayo, tal y como se muestra en la figura 10. Generando al final un 17.9% de observaciones fuera de la tolerancia permitida.

4.1.5 Porcentaje de saturación del oxígeno

Figura 12:

Carta de control Shewhart tipo X-R para la saturación del oxígeno durante los 100 días de la fase de desarrollo



Nota: μ : Promedio Semanal; ES: Especificación Superior y EI: Especificación inferior (ver tabla 3) LCSX: Límite Crítico superior y LICX: Límite crítico inferior. LC: línea central $E(\mu)$.

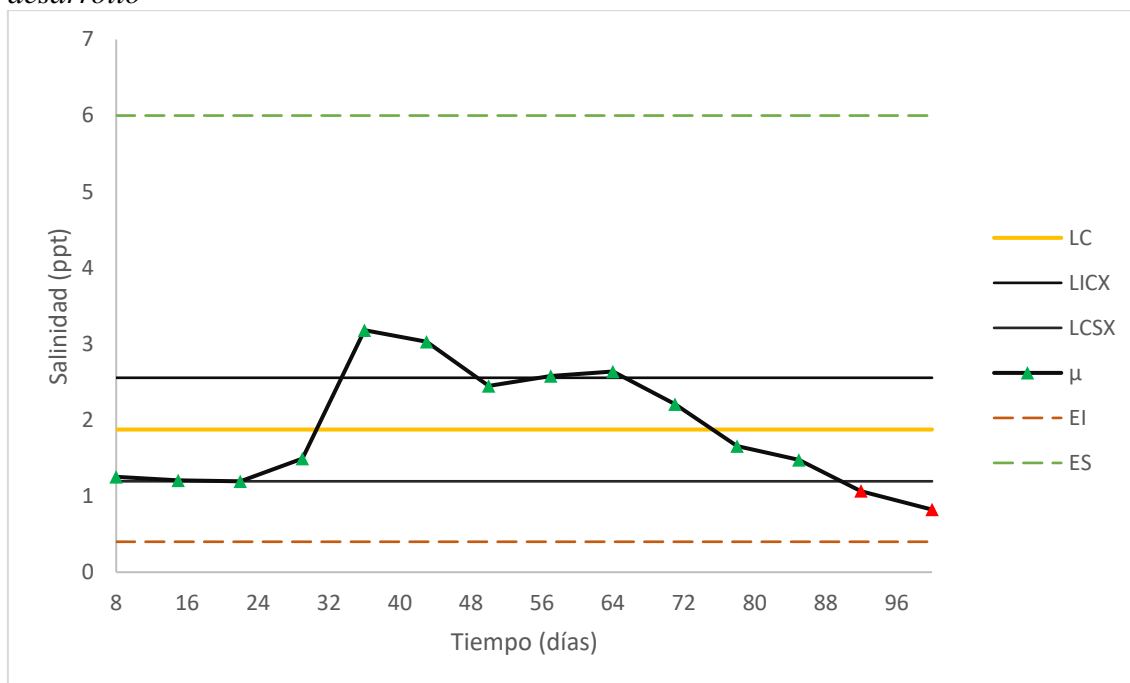
La figura 12 refleja la evolución temporal del porcentaje de saturación del oxígeno en agua, y es una tendencia bastante similar al mostrado en la figura 11; con un promedio del 65.82% y una desviación estándar de 9.56%, se nota una tendencia decreciente después del día 50 hasta el día 100.

La figura 12 muestra la evolución de la saturación del oxígeno, basado en los límites especificados. Se determinó un índice de capacidad de $C_p=0.753$ por lo que la saturación del oxígeno se controló durante todo el experimento y no hubo variaciones peligrosas en este parámetro, excepto al final, donde se perdió el control del parámetro produciendo un 25,6% de observaciones fuera de especificación distribuidas entre los días 60 y 100. Dicha tendencia en la figura 11 es bastante similar a la de la figura 12, lo que implica que tanto la saturación del oxígeno como su concentración son fenómenos correlacionados.

4.1.6 Salinidad

Figura 13:

Carta de control Shewhart tipo X-R para la salinidad durante los 100 días de la fase de desarrollo



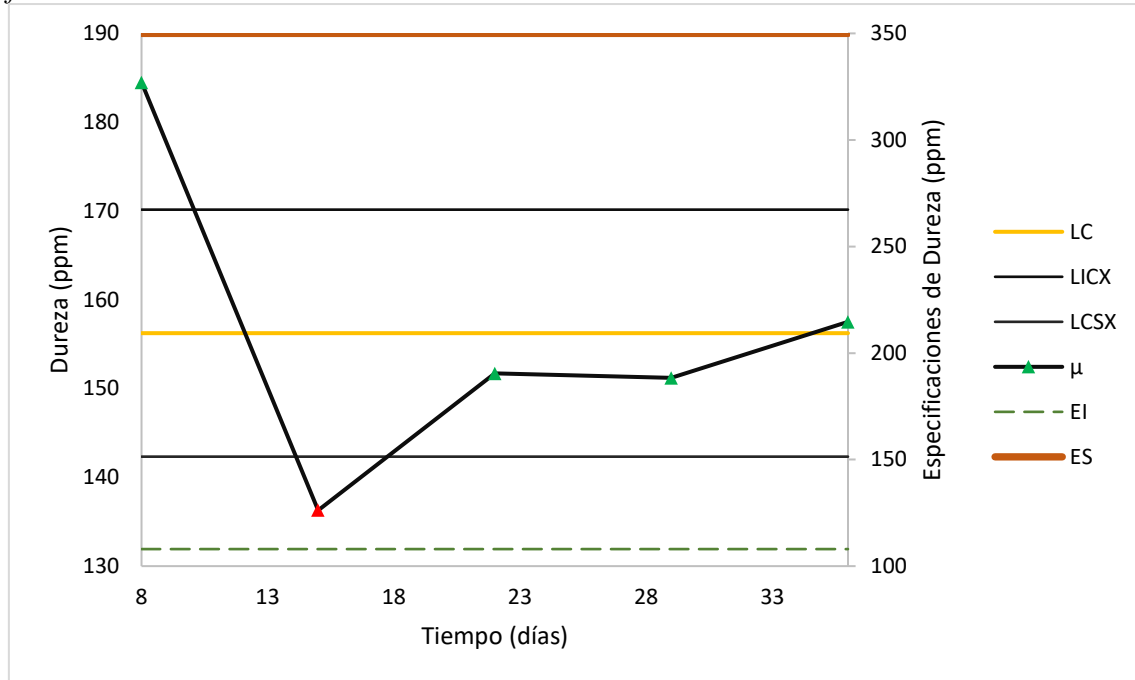
Nota: μ : Promedio Semanal; ES: Especificación Superior y EI: Especificación inferior (ver tabla 3) LCSX: Límite Crítico superior y LICX: Límite crítico inferior. LC: línea central $E(\mu)$.

En cuanto a la salinidad, la figura 13 muestra el comportamiento de la sal disuelta a través del tiempo, con una salinidad promedio de 1.84 ppt y una desviación estándar de 0.93 ppt. Siempre se trató de mantener una salinidad menor a tres pero distinta de cero, por lo que incrementos notables en el parámetro denotan prácticas de manejo para atender alguna contingencia. La figura 13 muestra el comportamiento general de la salinidad, nunca se superó la especificación de 6ppt, sin embargo, después del día 20 se subió a 4 y con los recambios se fue disminuyendo paulatinamente; esto por un tema de manejo de hongos a nivel dérmico debido al avistamiento de lesiones. A nivel general, el índice de capacidad es de $C_p=2.531$, lo que indica que la variación presentada es menor que la variación tolerada, la distribución es trivial debido a que la variación observada es muy baja respecto a la tolerada; por lo que se determina que la salinidad se controló adecuadamente en el sistema RAS tradicional.

4.1.7 Dureza

Figura 14:

Carta de control Shewhart tipo X-R para la dureza durante los primeros 37 días de la fase de desarrollo



Nota: μ : Promedio Semanal; ES: Especificación Superior y EI: Especificación inferior (ver tabla 3) LCSX: Límite Crítico superior y LICX: Límite crítico inferior. LC: línea central $E(\mu)$.

En cuanto a la dureza, la figura 14 muestra la serie de tiempo. En los primeros 15 días se pueden apreciar fluctuaciones importantes, sin embargo, después del día 15 el parámetro se estabilizó entre las 144 y las 180 ppm, con un promedio general de 157 ppm y una desviación estándar de 26.77 ppm.

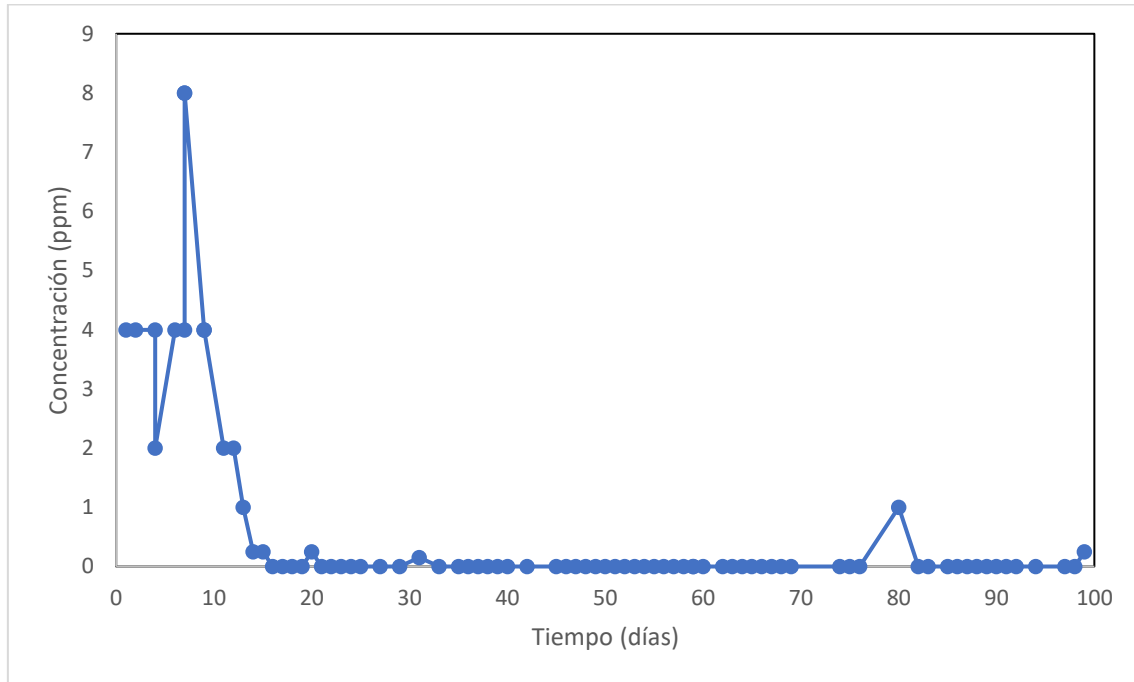
La variación del parámetro es despreciable respecto al promedio debido a que el índice de capacidad es de 3.366, lo que implica que la variación tolerada es 3 veces mayor que la variación presentada, por lo que el control de este parámetro es una preocupación menor y de importancia trivial.

4.1.8 Nitrógeno amoniacal

La figura 15 refleja el comportamiento del nitrógeno amoniacal total. En los primeros quince días de ensayo, el nitrógeno amoniacal se mantuvo bastante alto, sin embargo, después del día 15 se estabilizó el comportamiento de este parámetro a 0, con una pequeña variación en el día 80, sin embargo, dicha variación fue de importancia trivial. Las variaciones importantes se presentaron al inicio del ensayo.

Figura 15:

Serie de tiempo para el nitrógeno amoniacal total (TAN) durante los 100 días de la fase de desarrollo



Amoniaco (NH₃)

Figura 16:

Serie de tiempo para la concentración de amoniaco durante los 100 días de la fase de desarrollo

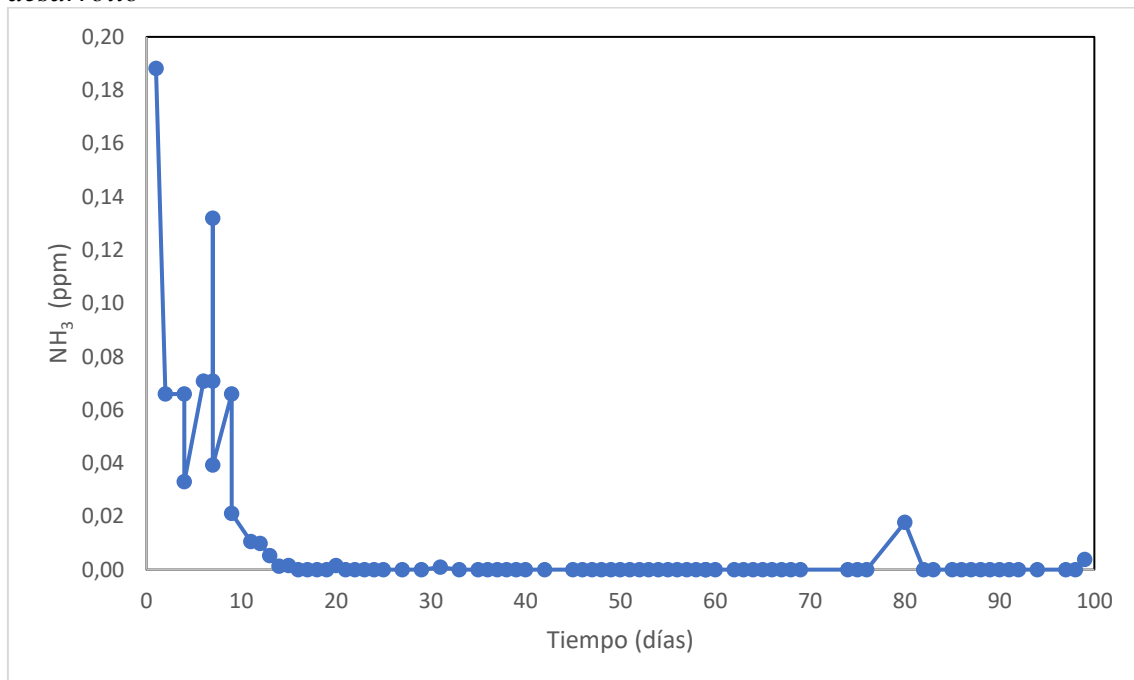
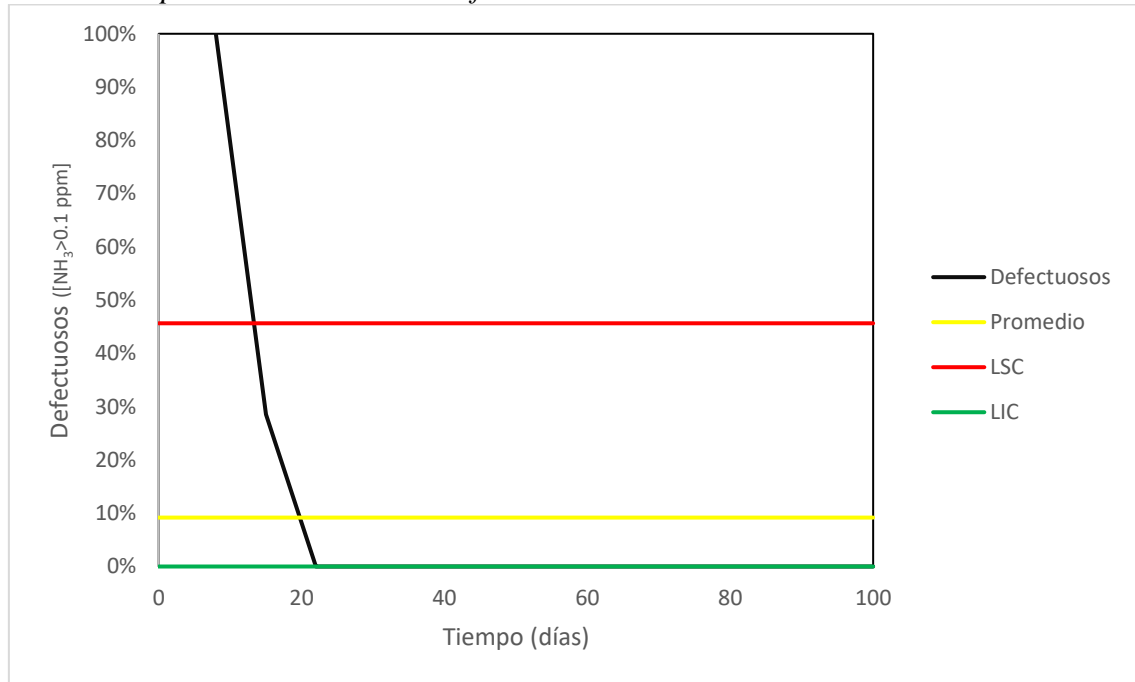


Figura 17:

Carta de control Shewhart tipo P (basado en valores de amoniaco mayores a 0.1ppm) durante los primeros 100 días de la fase de desarrollo



Nota: Nota: Promedio: Línea central $E(\mu)$. LIC: Limite de control inferior. LSC: Límite de control superior.

En la figura 16; se visualizan las concentraciones de amoniaco a través del tiempo, determinadas en función de la temperatura y el pH, en los primeros 10 días se alcanzaron las concentraciones más altas de amoniaco, y hacia el día 15 se corrigieron las concentraciones de amoniaco a 0 ppm, con excepción del día 80, en donde hubo una ligera variación, sin embargo, fue de importancia trivial debido a que se estabilizó rápidamente a las pocas horas. Mientras que en la figura 17, se visualiza el porcentaje de ocasiones en las que el amoniaco fue mayor a 0,1ppm fijando la tolerancia máxima en este valor. En la figura 17, se aprecia la tendencia de incumplimiento. La violación de la especificación superior se presentó en los primeros 15 días de ensayo, sin embargo, se estabilizó. La proporción de defectuosos es menor a un 10%, es decir, solo un 10% de los ensayos fueron mayores a 0.1ppm y se controló a la mayor brevedad posible (p-value=0.264 para una muestra binomial).

Amonio (NH_4^+)

Figura 18:

Serie de tiempo para la concentración de ion amonio durante los 100 días de la fase de desarrollo

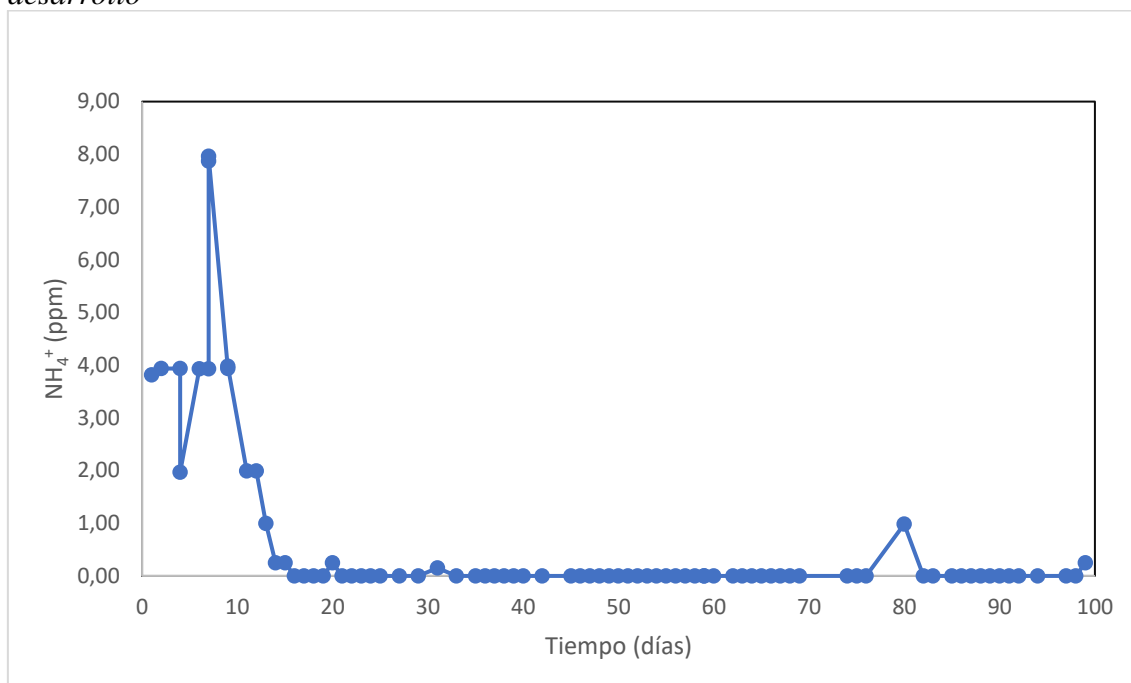
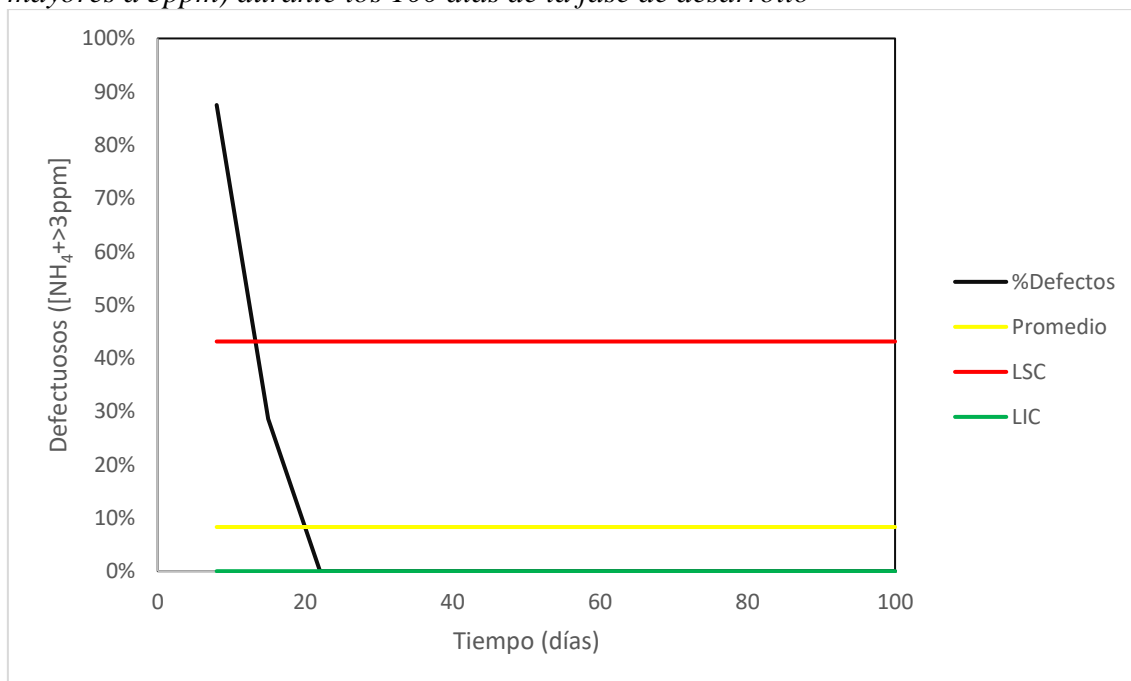


Figura 19:

Carta de control Shewhart tipo P (basado en la proporción de mediciones de NH_4^+ mayores a 3ppm) durante los 100 días de la fase de desarrollo



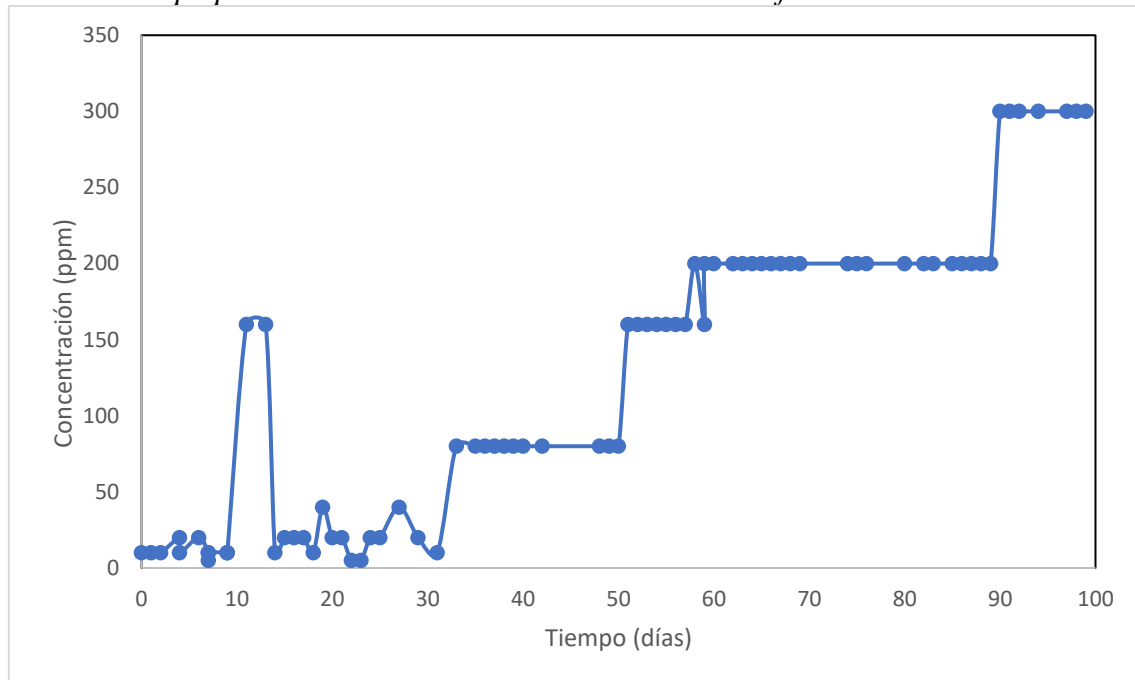
Nota: Nota: Promedio: Línea central $E(\mu)$. LIC: Limite de control inferior. LSC: Límite de control superior.

En la figura 18; se visualizan las concentraciones de ion amonio a través del tiempo, determinadas en función de la temperatura y el pH, en los primeros 10 días se alcanzaron las concentraciones más altas de, y hacia el día 15 se corrigieron las concentraciones de ion amonio. a 0 ppm, con excepción del día 80, en donde hubo una ligera variación, sin embargo, fue de importancia trivial debido a que se estabilizó rápidamente a las pocas horas. Mientras que en la figura 19, se visualiza el porcentaje de ocasiones en las que el ion amonio fue mayor a 3ppm, fijando la tolerancia máxima en este valor. En la figura 19, se aprecia la tendencia de incumplimiento. La violación de la especificación superior se presentó en los primeros 15 días de ensayo, sin embargo, se estabilizó. La proporción de defectuosos es menor a un 10%, es decir, solo un 10% de los ensayos fueron mayores a 3 ppm y se controló a la mayor brevedad posible (p-value=0.393 para una muestra binomial).

4.1.9 Nitrate

Figura 20:

Serie de tiempo para los nitratos durante los 100 días de la fase de desarrollo



En la figura 20, se aprecia la evolución de la concentración de los nitratos en el tiempo. Una de las limitantes del uso de pruebas colorimétricas es que en plazos de una semana o más, es difícil apreciar la variación del proceso, sin embargo, se pudo determinar que tras 100 días de experimento, el nitrato final fue superior a los 300ppm, aunque no muy superior.

4.1.10 Nitrito

Figura 21:

Serie de tiempo para la concentración de nitritos durante los 100 días de la fase de desarrollo

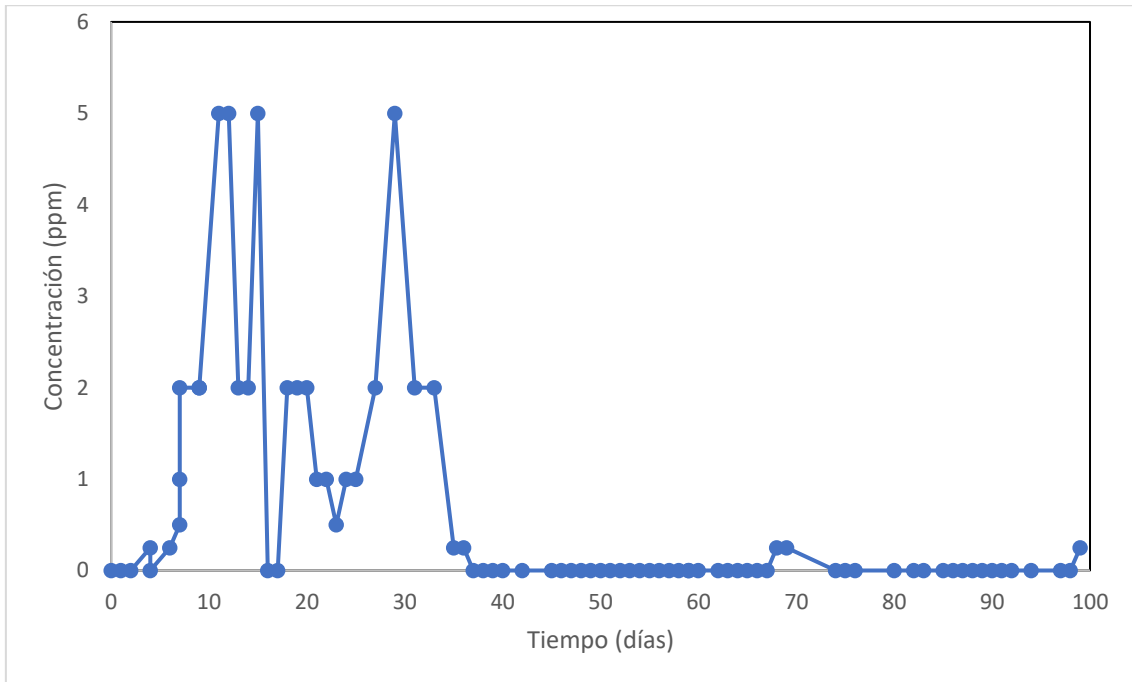
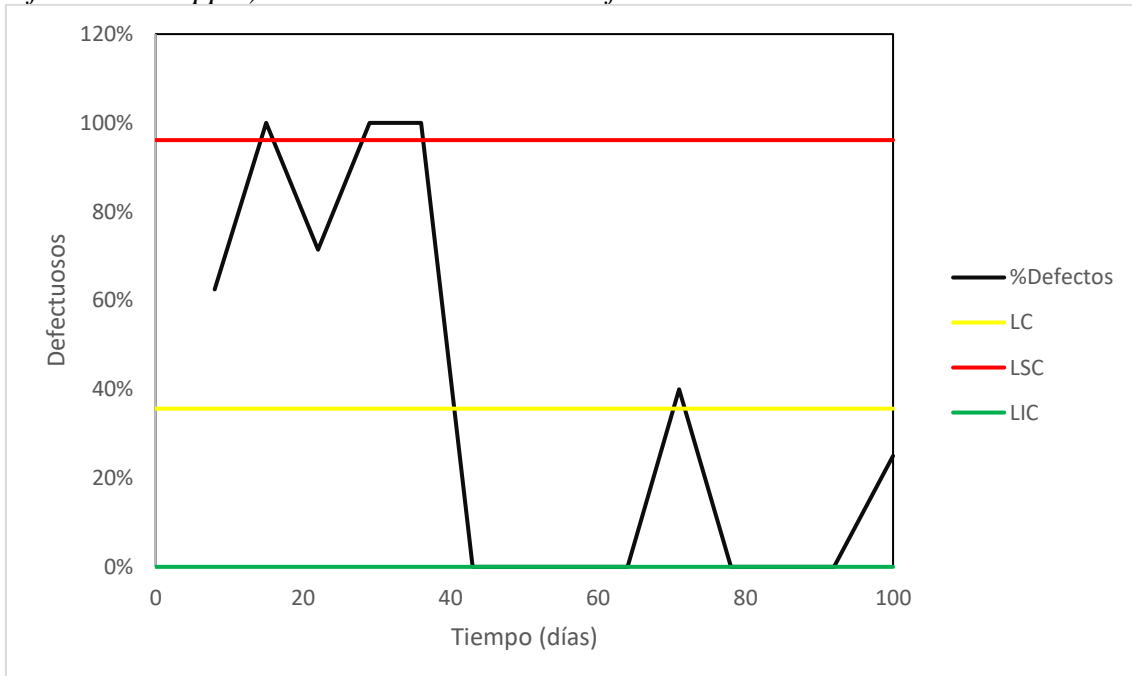


Figura 22:

Carta de control Shewhart tipo P (basado en los valores de concentración de nitritos diferentes de 0 ppm) durante los 100 días de la fase de desarrollo



Nota: Nota: Promedio: Línea central $E(\mu)$. LIC: Limite de control inferior. LSC: Límite de control superior.

En el caso de los nitritos la concentración promedio fue de 0.6 ppm, con una desviación estándar de 1.23 ppm. Estos valores se presentan debido a que en los primeros 40 días de

ensayo, no se corrigió el problema, tal y como se muestra en la figura 21, mientras que en la figura 22, se muestra la fracción de defectuosos, es decir, cualquier medición de nitritos diferente de cero, esto porque la escala colorimétrica para medirlo pasaba de 0 a 0,25 ppm y la tolerancia revisada es de 0,2 ppm, por lo que se asume que cualquier valor determinado con la herramienta utilizada, diferente de, es un ensayo fallido. En los primeros 40 días, tal y como muestran las figuras 21 y 22, hubo niveles de toxicidad por nitritos importantes. Según la prueba binomial, la proporción entre ensayos distintos de cero e iguales a cero es de 3:7 (con un valor de $p=0.12$ para una prueba binomial de una muestra).

4.2 Parámetros de crecimiento

4.2.1 Ganancia de peso total (GPT)

Tabla 29:

Pesos y ganancias promedio por tratamiento

Tiempo (días)	<i>Oreochromis aureus</i>			<i>Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain white</i>			P-value
	P _i	P _f	ΔP	P _i	P _f	ΔP	
0-16	31,25±2,11	43,78±3,39	12,52±1,6	46,45±2,23	59,7±3,55	13,25±2,39	0,36
17-30	43,78±3,39	54,52±4,41	10,74±1,77	59,7±3,55	66,38±5,68	6,68±2,91	0,08
31-44	54,52±4,41	68,65±8,48	14,13±4,61	66,38±5,68	76,47±6,49	10,09±3,33	0,01
45-58	68,65±8,48	83,77±13,41	15,12±5,23	76,47±6,49	86,95±11,48	10,48±5,04	0,01
59-73	83,77±13,41	103,78±17,82	20,01±5,57	86,95±11,48	99,41±14,84	12,46±3,84	0,62
74-86	103,78±17,82	124,21±22,98	20,43±7,37	99,41±14,84	112,42±18,71	13±5,32	0,01
87-100	124,21±22,98	145,81±29,33	21,6±7,81	112,42±18,71	131,35±20,62	18,94±2,53	0,01*
0-100	31,25±2,11	145,81±29,33	114,55±27,59	46,45±2,23	131,35±20,62	84,9±19,19	0,01

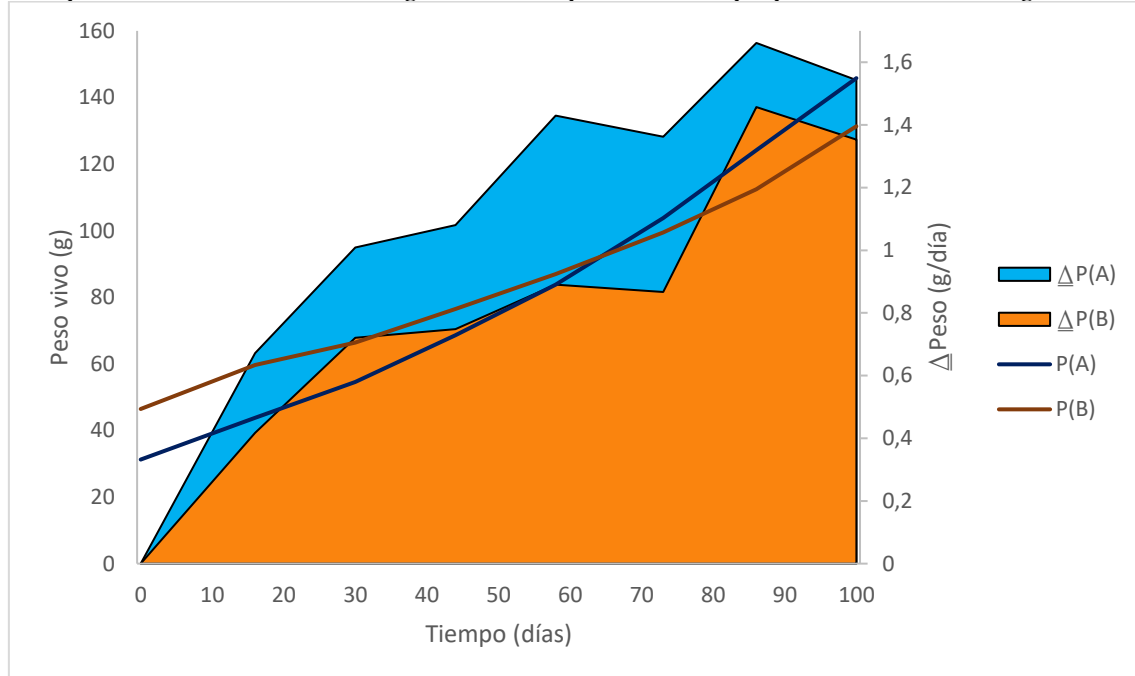
Nota: “***”: Basado en pruebas no paramétricas. “*”: No se asumen varianzas iguales.

Nótese, como indica la tabla 29; la existencia de diferencias significativas entre ambos tratamientos. Al inicio del ensayo, no hubo diferencia significativa en la ganancia de peso total para cada uno de los tratamientos, sin embargo, para el día 30, aunque no hay una diferencia significativa importante, hay una tendencia, y ya para el día 45, se muestra que hay una diferencia significativa de 5 gramos de más sobre *Oreochromis aureus* respecto a *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain White*. En general, esta tendencia se mantiene, es decir, desde el día 0 hasta el día 100, hubo una diferencia significativa entre ambos tratamientos, presentado la variedad *Oreochromis aureus* una

ganancia de peso de 30 gramos más que la otra variedad. Esto considerando, los pesos iniciales del día cero como covariable.

Figura 23:

Comportamiento de la tasa de ganancia respecto al tiempo para ambas líneas genéticas



Nota: P significa peso vivo y Δ es el operador diferencial respecto al tiempo. A: *Oreochromis aureus* y b: *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain white*

La figura 23 ilustra perfectamente como *O.aureus* alcanzó un mayor peso final que el híbrido Rocky Mountain, aunque haya ganado con un peso menor; esto se dio debido a que *O. aureus* mantuvo una tasa de ganancia de 0.32 gramos/pez-día (0.70%) mayor que el híbrido Rocky; esto durante todo el ensayo

4.2.2 Incremento de longitud estándar (iSL)

Tabla 30:
Incremento de longitud estándar por tratamiento

Tiempo (días)	<i>Oreochromis aureus</i>			<i>Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain white</i>			P-value
	SL _i (mm)	SL _f (mm)	ΔSL (mm)	SL _i (mm)	SL _f (mm)	ΔSL (mm)	
0-16	95,99 _{±16,63}	105,31 _{±2,68}	9,31 _{±1,27}	110,54 _{±1,97}	117,19 _{±2,01}	6,66 _{±1,73}	0,03
17-30	105,31 _{±2,68}	113,93 _{±3,14}	8,62 _{±0,8}	117,19 _{±2,01}	122,91 _{±1,87}	5,72 _{±0,92}	0,25
31-44	113,93 _{±3,14}	122,86 _{±4,43}	8,93 _{±1,95}	122,91 _{±1,87}	129,36 _{±3,84}	6,45 _{±2,05}	0,09
45-58	122,86 _{±4,43}	135,55 _{±5,86}	12,7 _{±3,46}	129,36 _{±3,84}	139,13 _{±3}	9,76 _{±2,25}	0,07
59-73	135,55 _{±5,86}	139,96 _{±5,91}	4,41 _{±1,05}	139,13 _{±3}	140,76 _{±5,26}	1,64 _{±2,37}	0,07
74-86	139,96 _{±5,91}	149,82 _{±7,77}	9,86 _{±2,92}	140,76 _{±5,26}	147,39 _{±6,59}	6,63 _{±2,85}	0,14
87-100	149,82 _{±7,77}	155,76 _{±9,48}	5,94 _{±3,05}	147,39 _{±6,59}	152,61 _{±6,89}	5,22 _{±1,91}	0,05
0-100	96_{±2,32}	155,76_{±9,48}	59,76_{±8,16}	110,54_{±1,97}	152,61_{±6,89}	42,07_{±6,24}	0,05

Los incrementos en longitud estándar no reflejan una diferencia significativa en ninguna etapa del proceso, aunque exista una tendencia que respalda a la variedad *Oreochromis aureus* como la que más crece, el p-value global indica que no hay razón suficiente para creer tal aseveración, y por tanto, no hay diferencia significativa en cuanto al incremento en longitud estándar asociado a la raza, esto considerando la longitud inicial del día 0 como covariable. Igualmente, a lo largo del proceso, no hubo diferencia significativa entre muestreos asociada a la línea genética, tal y como lo indican los valores de p de la tabla 30.

4.2.3 Incremento de longitud de ancho (iSW)

Tabla 31:
Incrementos de ancho estándar por tratamiento

Tiempo (días)	<i>Oreochromis aureus</i>			<i>Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain white</i>			P-value
	SW _i (mm)	SW _f (mm)	ΔSW (mm)	SW _i (mm)	SW _f (mm)	ΔSW (mm)	
0-16	36,06 _{±1,21}	40,89 _{±1,41}	4,83 _{±0,57}	40,78 _{±1,18}	43,53 _{±1,67}	2,74 _{±1,18}	0,129
17-30	40,89 _{±1,41}	43,95 _{±2,03}	3,07 _{±1,31}	43,53 _{±1,67}	45,25 _{±2,08}	1,73 _{±0,81}	0,004
31-44	43,95 _{±2,03}	47,07 _{±2,92}	3,12 _{±1,71}	45,25 _{±2,08}	47,47 _{±1,91}	2,22 _{±0,76}	0,000
45-58	47,07 _{±2,92}	51,37 _{±3,67}	4,3 _{±1,45}	47,47 _{±1,91}	51,87 _{±4,53}	4,4 _{±3,65}	0,046
59-73	51,37 _{±3,67}	54,22 _{±3,96}	2,85 _{±0,85}	51,87 _{±4,53}	51,65 _{±3,07}	-0,21 _{±3,4}	0,000
74-86	54,22 _{±3,96}	58,38 _{±4,35}	4,16 _{±1,74}	51,65 _{±3,07}	53,97 _{±3,97}	2,31 _{±1,53}	0,001
87-100	58,38 _{±4,35}	60,88 _{±5,14}	2,5 _{±1,29}	53,97 _{±3,97}	56,6 _{±4,12}	2,63 _{±1,58}	0,000
0-100	36,06_{±1,21}	60,88_{±5,14}	24,82_{±3,98}	40,78_{±1,18}	56,6_{±4,12}	15,81_{±3,11}	0,000

Para el incremento en longitud de ancho, la tabla 31 respalda la existencia de diferencias significativas, en donde la variedad *Oreochromis aureus* siempre ganó más talla que la línea *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain White*. Esto considerando el ancho estándar del primer día (el día 0) como covariable, ya que ambos tratamientos no eran homogéneos al inicio del ensayo. Al final del ensayo, *Oreochromis aureus* creció 9,01 centímetros más, con diferencia significativa entre líneas.

4.3 Parámetros de Eficiencia

4.3.1 Consumo de alimento (CON)

Tabla 32:

Consumo de alimento en gramos por tratamiento

Tiempo (días)	<i>Oreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus</i> x <i>Oreochromis aureus</i> var. <i>Rocky Mountain white</i>	p-value
0-16	137,81 \pm 16,63	172,61 \pm 21,48	0,01
17-30	123,19 \pm 16,54	123,19 \pm 16,54	0,39
31-44	162,73 \pm 26,98	129,89 \pm 30,12	0,07
45-58	180,55 \pm 48,27	136,84 \pm 39,92	0,12
59-73	210,6 \pm 46,14	159,97 \pm 36,72	0,06
74-86	181,41 \pm 45,35	140,93 \pm 31,89	0,40
87-100	285,17 \pm 40,9	255,71 \pm 27,64	0,17
0-100	1291,03\pm222,3	1119,14\pm186,62	0,18

En el intervalo de tiempo inicial (0-16 días), hay una diferencia significativa en el consumo de alimento entre las dos especies ($p = 0.01$), con *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White* consumiendo más que *Oreochromis aureus*. En los otros intervalos de tiempo, no se observaron diferencias significativas en el consumo de alimento entre las dos especies, ya que los valores de p son mayores que 0.05. El consumo de alimento promedio durante los 100 días de estudio no difiere significativamente entre las dos especies, como se evidencia por el valor de p para el intervalo completo ($p = 0.18$), tal y como lo muestra la tabla 32.

Tabla 33:

Consumo de alimento diario como porcentaje del peso corporal (%BWD) por tratamiento

Tiempo (días)	<i>Oreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain white</i>	p-value
0-16	2,59 \pm 0,29	2,18 \pm 0,26	0,029
17-30	2,05 \pm 0,21	1,42 \pm 0,09	0,000
31-44	2,08 \pm 0,23	1,51 \pm 0,23	0,002
45-58	1,95 \pm 0,27	1,50 \pm 0,19	0,008
59-73	1,89 \pm 0,14	1,59 \pm 0,12	0,003
74-86	1,40 \pm 0,11	1,31 \pm 0,14	0,282
87-100	1,77 \pm 0,26	2,07 \pm 0,37	0,13
0-100	4,11\pm0,53	2,41\pm0,38	0,000

El consumo de alimento diario como porcentaje del peso corporal (%BWD), tal y como se visualiza en la anterior tabla **33**; varía a lo largo del tiempo y entre las dos especies de tilapia evaluadas. En general, se observa una tendencia a un mayor consumo en los primeros días de ensayo; con una disminución gradual hacia el final del período de observación. *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain White* muestra un consumo menor en comparación con *Oreochromis aureus* en la mayoría de los intervalos de tiempo. Sin embargo, se destacan diferencias significativas en el consumo entre las dos especies, particularmente evidentes en el período de 17 a 30 días, donde *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain White* muestra un consumo notablemente inferior en comparación con *Oreochromis aureus*, y a nivel global, se destaca la existencia de evidencia significativa importante para el %BWD entre el inicio y el final del ensayo, teniendo un mayor consumo *O. aureus*.

4.3.2 Porcentaje de Mortalidad

Tabla 34:
Porcentaje de Mortalidad por tratamiento

Tiempo (días)	<i>Ocreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus x Ocreochromis aureus var. Rocky Mountain white</i>	p- value
0-16	2 \pm 4	3 \pm 8	0,664
17-30	3 \pm 5	11 \pm 1	0,139
31-44	7 \pm 8	9 \pm 8	0,650
45-58	\pm	2 \pm 4	0,341*
59-73	-	-	<i>null</i>
74-86	-	2 \pm 5	0,341*
87-100		-	<i>null</i>
0-100	12\pm1	25\pm1	0,046

Nota: “***”: Basado en pruebas no paramétricas. “*”: No se asumen varianzas iguales. “*null*”: Nulo ya que no se presentaron mortalidades en el intervalo.

En el intervalo de tiempo completo de 0 a 100 días, hay una diferencia significativa en las tasas de mortalidad entre las dos especies ($p = 0.046$), con *Oreochromis niloticus x Ocreochromis aureus var. Rocky Mountain White* mostrando una tasa de mortalidad promedio más alta que *Ocreochromis aureus*, tal y como se visualiza en la tabla 34. Para los intervalos de tiempo específicos, no se observaron diferencias significativas en las tasas de mortalidad entre las dos especies, ya que los valores de p son mayores que 0.05 en la mayoría de los casos. Sin embargo, el intervalo de tiempo de 17 a 30 días muestra una diferencia marginalmente significativa ($p = 0.139$).

No se registraron muertes para la especie *Ocreochromis aureus* durante varios intervalos de tiempo, lo que indica una mayor resistencia o condiciones de cultivo más favorables en comparación con *Oreochromis niloticus x Ocreochromis aureus var. Rocky Mountain White*.

4.3.3 Tasa específica de crecimiento

Tabla 35:

Tasa específica de crecimiento en $\Delta\%PV/\text{día}$ por tratamiento (SGR)

Tiempo (días)	<i>Oreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain white</i>	p-value
0-16	1,98 \pm 0,16	1,47 \pm 0,24	0,002
17-30	1,46 \pm 0,2	0,70 \pm 0,28	0,000
31-44	1,51 \pm 0,40	0,94 \pm 0,31	0,020
45-58	1,29 \pm 0,34	0,83 \pm 0,30	0,032
59-73	1,41 \pm 0,26	0,88 \pm 0,17	0,002
74-86	1,27 \pm 0,33	0,86 \pm 0,29	0,047
87-100	1,05 \pm 0,25	1,05 \pm 0,11	0,964
0-100	1,52\pm0,17	1,03\pm0,13	0,000

Nota: “***”: Basado en pruebas no paramétricas. “*”: No se asumen varianzas iguales. Los pesos iniciales fueron de 30g para O. Aureus y 45g. para H Rocky. Los pesos finales fueron de 145g para O. Aureus y de 130g para H. Rocky.

En la tabla 35 se observa una diferencia significativa en las tasas de crecimiento entre las dos especies durante todo el período de estudio de 0 a 100 días, con un valor de p de 0.000; y para cada intervalo de tiempo específico, las diferencias en las tasas de crecimiento entre las dos especies son consistentes, con valores de p significativamente bajos en la mayoría de los casos ($p < 0.05$). La línea genética *Oreochromis aureus* generalmente muestra tasas de crecimiento más altas en comparación con *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain White* durante la mayoría de los intervalos de tiempo, como se evidencia por las diferencias significativas en las tasas de crecimiento entre las dos especies.

4.3.4 Factor de Conversión alimenticia (FCR)

Tabla 36:

Valores de factor de conversión alimenticia (FCR) por tratamiento

Tiempo (días)	<i>Ocreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus x Ocreochromis aureus var. Rocky Mountain white</i>	p-value
0-16	1,12 \pm 0,08	1,37 \pm 0,21	0,019
17-30	1,31 \pm 0,15	2,63 \pm 1,57	0,068
31-44	1,43 \pm 0,48	1,74 \pm 0,38	0,238
45-58	1,44 \pm 0,34	1,91 \pm 0,68	0,159
59-73	1,23 \pm 0,2	1,73 \pm 0,28	0,005
74-86	1,08 \pm 0,33	1,78 \pm 1,23	0,207
87-100	1,65 \pm 0,5	1,83 \pm 0,23	0,435*
0-100	1,31\pm0,21	1,81\pm0,31	0,009

Nota: “***”: Basado en pruebas no paramétricas. “**”: No se asumen varianzas iguales. El factor de conversión alimenticia es adimensional, pero para efectos del documento, se puede interpretar como gramos de alimento consumido por cada gramo de peso vivo ganado.

En la tabla 36, se observan diferencias significativas en los FCR entre las dos especies durante el período de estudio completo de 0 a 100 días, con un valor de p de 0.009. En varios intervalos de tiempo específicos, se encuentran diferencias significativas en los FCR entre las especies, con valores de p significativamente bajos ($p < 0.05$).

Durante los primeros 16 días, el FCR de *Ocreochromis aureus* es significativamente menor que el de *Oreochromis niloticus x Ocreochromis aureus var. Rocky Mountain White* ($p = 0.019$); sin embargo, durante otros intervalos de tiempo, las diferencias en los FCR no son significativas ($p > 0.05$). El intervalo de tiempo de 59 a 73 días muestra la diferencia más significativa en los FCR entre las dos especies, con un valor de p muy bajo de 0.005.

A nivel global, es decir, desde el día 0 hasta el día 100, el FCR promedio para *Ocreochromis aureus* es menor que para *Oreochromis niloticus x Ocreochromis aureus var. Rocky Mountain White* durante la mayoría de los intervalos de tiempo, como se evidencia por las diferencias significativas en los FCR entre las dos especies.

4.3.5 Coeficiente térmico de crecimiento (CTC)

Tabla 37:

Valores de coeficiente térmico de crecimiento por tratamiento ($\times 10^{-3}$)

Tiempo (días)	<i>Ocreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus x Ocreochromis aureus var. Rocky Mountain white</i>	p-value
0-16	1,48 \pm 0,14	1,24 \pm 0,2	0,039
17-30	0,84 \pm 0,12	0,44 \pm 0,18	0,001
31-44	0,93 \pm 0,26	0,61 \pm 0,2	0,038
45-58	0,91 \pm 0,26	0,6 \pm 0,24	0,06
59-73	1,18 \pm 0,25	0,74 \pm 0,17	0,005
74-86	1,3 \pm 0,38	0,87 \pm 0,31	0,053
87-100	0,91 \pm 0,25	0,87 \pm 0,07	0,714*
0-100	1,04\pm0,16	0,74\pm0,11	0,003

Nota: “***”: Basado en pruebas no paramétricas. “*”: No se asumen varianzas iguales. Los pesos iniciales fueron de 30g para *O. Aureus* y 45g. para *H Rocky*. Los pesos finales fueron de 145g para *O. Aureus* y de 130g para *H. Rocky*.

En la tabla 37 se observan diferencias significativas en los CTC entre las dos especies durante el período completo de 0 a 100 días, con un valor de p de 0.003. Durante los primeros 16 días, el CTC de *Ocreochromis aureus* es significativamente mayor que el de *Oreochromis niloticus x Ocreochromis aureus var. Rocky Mountain White* ($p = 0.039$).

Durante el intervalo de 17 a 30 días, el CTC de *Ocreochromis aureus* es significativamente menor que el de *Oreochromis niloticus x Ocreochromis aureus var. Rocky Mountain White* ($p = 0.001$). En otros intervalos de tiempo (31-44 días, 59-73 días, 0-100 días), también se encuentran diferencias significativas en los CTC entre las dos especies ($p < 0.05$).

4.4 Parámetros de rendimiento

4.4.1 Índice viscerosomático (iVS)

Tabla 38:

Índice viscerosomático por tratamiento, en porcentaje (%)

Tiempo (días)	<i>Oreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain white</i>	p-value
0-100	8 _{±1}	8 _{±1}	0,6659

No se encontraron diferencias significativas en el Índice Viscerosomático entre las dos especies de tilapia durante el período de 100 días, ya que el valor de p es 0.6659, lo que sugiere que las diferencias observadas podrían deberse al azar y no son estadísticamente significativas (Ver tabla 38).

4.4.2 Relación Cabeza-Cuerpo (RCC)

Tabla 39:

Relación cabeza cuerpo por tratamiento

Tiempo (días)	<i>Oreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain white</i>	p-value
0-100	20 _{±1}	20 _{±1}	0,9591

En la tabla 39, no se encontraron diferencias significativas en la relación cabeza-cuerpo entre las dos especies de tilapia durante el período de 100 días, ya que el valor de p es 0.9591, lo que sugiere que las diferencias observadas podrían deberse al azar y no son estadísticamente significativas. Esto indica que, en general, las dos especies tienen una relación cabeza-cuerpo similar durante el período de estudio, lo que sugiere que pueden tener un desarrollo y una proporción anatómica similares en términos del tamaño de la cabeza en relación con el tamaño del cuerpo.

4.4.3 Rendimiento en Canal

Tabla 40:

Rendimiento en canal por tratamiento en porcentaje (%)

Tiempo (días)	<i>Oreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain white</i>	p-value
0-100	69 _{±1}	68 _{±3}	0,6179

No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento en canal entre las dos especies de tilapia durante el período de 100 días, ya que el valor de *p* es 0.6179, lo que sugiere que las diferencias observadas podrían deberse al azar y no son estadísticamente significativas, tal y como se indica en la tabla 40. Ambas especies tienen un rendimiento en canal similar durante el período de estudio.

4.5 Costos de producción

4.5.1 Materiales directos

Material genético

Tabla 41:
Costos de semilla (material genético) por tratamiento-especie

Especie	Cantidad	Precio Unitario	Costo total (₡)
<i>Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White</i>	60	300	₡18 000,00
<i>Oreochromis aureus</i>	60	300	₡18 000,00

INCOPECA distribuye los alevines a un mismo precio, indistintamente de la línea genética tal y como se muestra en la tabla 41. Cada alevín, se vende a un precio unitario de 300 colones, debido al peso al que se adquirieron. Inicialmente, se compraron 100 alevines por especie, pero se seleccionaron los 60 más uniformes en cuanto a talla y sexo, asignando un mismo costo por material genético para cada tratamiento.

Alimento

Tabla 42:
Costos totales de alimentación por tratamiento-especie

Especie	Oferta Biomar 1,5mm(kg)	Oferfa biomar 3mm (kg)	Costo total (₡)
<i>Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White</i>	1,74	5,09	₡6 566,52
<i>Oreochromis aureus</i>	1,56	6,18	₡7 170,43

Nota: El cálculo del costo se hizo basado en la oferta, es decir, el desperdicio más el consumo.

La tabla 42 proporciona una comparación de los costos totales de alimentación por tratamiento-especie para dos especies de tilapia: *Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White* y *Oreochromis aureus*. Se observa que, a pesar de que la oferta de alimento de 3mm es mayor para *Oreochromis aureus*, el costo total de alimentación es

ligeramente mayor para esta especie en comparación con *Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White*.

4.5.2 Mano de obra

Tabla 43:
Costos de mano de obra por mes de trabajo

Mes	Días operativos	Costo MOD
Octubre	17	¢311 210,23
Noviembre	30	¢549 194,52
Diciembre	31	¢567 501,01
Enero	22	¢402 742,65
Costo de mano de obra		¢1 830 648,41

La tabla 43 presenta los costos de mano de obra por mes de trabajo, detallando los días operativos y el costo de la mano de obra directa (MOD) para cada mes. Los meses abarcados son octubre, noviembre, diciembre y enero, con un total de 17, 30, 31 y 22 días operativos, respectivamente. Los costos de mano de obra directa para estos meses son ¢311,210.23, ¢549,194.52, ¢567,501.01 y ¢402,742.65, respectivamente, sumando un total de ¢1,830,648.41. Esta información proporciona una visión detallada de los gastos laborales a lo largo de varios meses de operación requerida para el manejo de un sistema tradicional de recirculación. Esto considerando un Trabajador en Ocupación Calificada, ya que las tareas requeridas por parte del operario requieren conocimientos técnicos en fontanería y química básica.

Tabla 44:
Cargo de la mano de obra a cada tratamiento-especie

Mes	<i>Oreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White</i>	Costo total (¢)
Octubre	¢155 605,11	¢ 155 605,11	¢311 210,23
Noviembre	¢274 597,26	¢ 274 597,26	¢549 194,52
Diciembre	¢283 750,50	¢ 283 750,50	¢567 501,01
Enero	¢201 371,32	¢ 201 371,32	¢402 742,65
Costo de mano de obra	¢915 324,20	¢ 915 324,20	¢ 1 830 648,41

La Tabla 44 presenta un desglose del cargo de la mano de obra para cada tratamiento-especie en una operación de acuicultura, enfocándose en dos especies de tilapia: *Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White*. Cada mes,

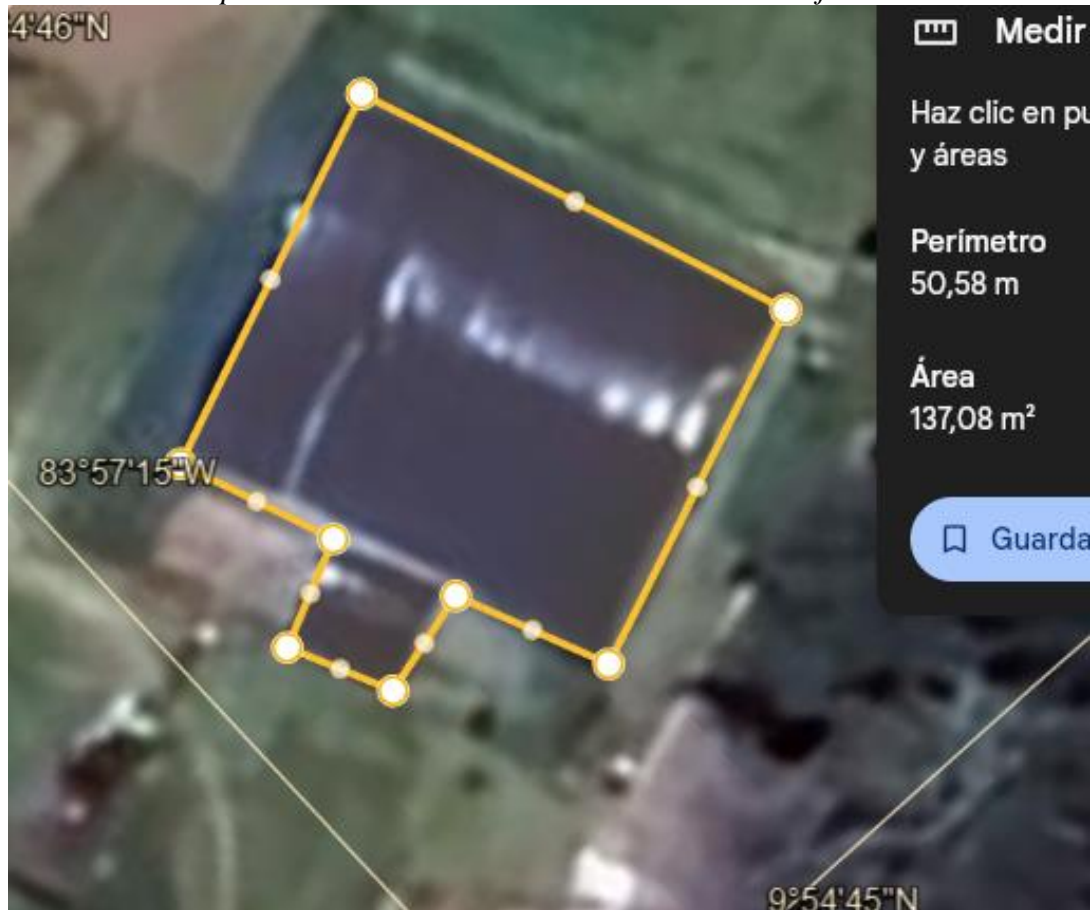
desde octubre hasta enero, se detalla el costo individual de la mano de obra para ambas especies, reflejando una distribución equitativa de los gastos laborales a lo largo del período analizado. Además, la fila final de la tabla resume el costo total de la mano de obra para ambas especies en cada mes, proporcionando una visión general del gasto total en mano de obra a lo largo del período de cuatro meses.

4.5.3 Costos indirectos de producción

Depreciación infraestructura

Figura 24:

Medición satelital para determinar el área del inmueble de trabajo



Mediante el método de reposición se determinó el área total del módulo, es decir de 137m², como indica la figura 24. La estructura equivalente a este elemento constructivo se encuentra dentro de la clasificación de instalaciones agropecuarias como Ambientes Protegidos, tipo Cubierta plástica, pared de malla antiáfidos y extra-equipo. (Tipo AM05).

Para el año 2021, el costo por metro cuadrado para esta tipología constructiva es de ₡33 000,00/m². Basado en los **137** metros cuadrados de construcción totales, se avalúa el inmueble en **₡4 523 640,00** (cuatro millones quinientos veintitrés mil seiscientos cuarenta colones con cero céntimos). Este costo de referencia se publicó en el año 2021, y la construcción se terminó en el año 2023, por lo que para actualizar el monto de construcción considerando los Índices de Precios de Insumos para la Construcción de viviendas y edificios, interanual de 2021 a 2022, que es igual a un **6,98%**. Por lo que el precio actualizado del edificio al momento de su construcción es de **₡4 839 390,07** (cuatro millones ochocientos treinta y nueve mil trescientos noventa colones con siete céntimos).

Este último monto, es el que se considera como el valor inicial para asignar la depreciación, y se consideran 10 años de vida útil para el cálculo de la depreciación, sin monto para el valor residual. Esto implica que anualmente, el inmueble se deprecia (tasa de depreciación anual) **₡483 939,01** y se deprecia en **₡40 328,25** mensualmente.

El espacio real de uso dentro del módulo experimental para esta actividad productiva es de exactamente la mitad, por lo que se considera una depreciación mensual de **₡20 164,13** para efectos de uso de inmuebles e infraestructura.

Depreciación Maquinaria y equipo

Tabla 45:

Costos de instalación y puesta en marcha del Sistema tradicional de recirculación

Detalle	Costo por Materiales	Mano de Obra	Costos Indirectos	Costo total (C)
<i>Sistema RAS tradicional (tanquería y tubería)</i>				
Tanquería 450L	¢ 1 008 054,40	¢ 28 206,20	¢ 5 654,98	¢ 1 041 915,57
Línea de retorno-suministro	¢146 862,32	¢ 4 109,33	¢823,87	¢151 795,52
Líneas de drenaje	¢621 879,13	¢ 17 400,69	¢ 3 488,61	¢642 768,43
Sistema de Colección	¢131 960,99	¢ 3 692,38	¢740,27	¢136 393,64
Sistema de Bombeo	¢62 286,67	¢ 1 742,83	¢349,42	¢64 378,91
Sistema de filtración mecánica	¢597 182,09	¢ 16 709,65	¢ 3 350,07	¢617 241,80
Sistema de Biofiltración	¢696 676,65	¢ 19 493,59	¢ 3 908,21	¢720 078,45
<i>Subtotal tanquería y tubería</i>	¢ 3 264 902,24	¢ 91 354,66	¢ 18 315,43	¢ 3 374 572,33
<i>Equipos</i>				
Bomba externa 1,5 HP	¢ 1 132 386,07	¢ 31 685,10	¢ 6 352,45	¢ 1 170 423,62
Blower WW29	¢280 861,54	¢ 7 858,74	¢ 1 575,58	¢290 295,86
Calentador 500 W	¢36 746,88	¢ 1 028,21	¢206,14	¢37 981,23
Calentador 300W	¢15 799,10	¢442,07	¢88,63	¢16 329,80
Calentador 200W	¢33 545,46	¢938,63	¢188,18	¢34 672,28
<i>Subtotal equipos</i>	¢ 1 499 339,05	¢ 41 952,75	¢ 8 410,98	¢ 1 549 702,77
Costo total de Instalación y puesta en marcha Sistema RAS	¢ 4 764 241,29	¢ 133 307,41	¢ 26 726,41	¢ 4 924 275,11

La Tabla 45 presenta un desglose detallado de los costos asociados con la construcción, instalación y puesta en marcha de un Sistema Tradicional de Recirculación (Sistema RAS). Se especifican los componentes del sistema, como los tanques de 450L, líneas de retorno-suministro, líneas de drenaje, sistema de colección, sistema de bombeo, sistema de filtración mecánica y sistema de biofiltración, junto con los costos individuales de materiales y mano de obra para cada uno. Además, se incluyen los costos indirectos relacionados con la instalación y puesta en marcha del sistema.

El costo total de construcción, instalación y puesta en marcha del Sistema RAS se calcula en ¢4 924 275,11; lo que proporciona una estimación precisa de los recursos necesarios para implementar esa infraestructura.

Tabla 46:

Cargo de la depreciación de la maquinaria y equipos del Sistema tradicional de recirculación a cada tratamiento-especie

Mes	<i>Oreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White</i>	Costo total (C)
Octubre	¢ 17 846,98	¢ 17 846,98	¢35 693,97
Noviembre	¢ 34 578,53	¢ 34 578,53	¢69 157,06
Diciembre	¢ 34 578,53	¢ 34 578,53	¢69 157,06
Enero	¢ 24 539,60	¢ 24 539,60	¢49 079,21
Total de depreciación Fase de desarrollo	¢ 111 543,65	¢ 111 543,65	¢223 087,30

La Tabla 46 ofrece un desglose del cargo de depreciación de la maquinaria y equipos del Sistema Tradicional de Recirculación (Sistema RAS) para cada tratamiento-especie en una operación de acuicultura. Detalla los cargos mensuales de depreciación para *Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White*, mostrando un total de ¢223,087.30 para la fase de desarrollo. Esta información es crucial para evaluar los costos operativos y planificar financieramente la implementación y mantenimiento del Sistema RAS en la acuicultura, proporcionando una visión detallada de los gastos de depreciación asociados con cada especie de tilapia durante la fase de desarrollo del proyecto.

Costos energéticos

Tabla 47:

Inventario, consumo y costos energéticos del Sistema tradicional de Recirculación

Equipo	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Calentador 500 W (kW)	204	360	372	264
Calentador 300W (kW)	122	216	223	158
Calentador 200W (kW)	82	144	149	106
Bomba externa 1,5 HP (kW)	367	710	967	686
Blower(kW)	35	62	193	137
Total (kW)	811	1493	1905	1352
Fecha Inicio	15/10/2023	1/11/2023	1/12/2023	1/1/2024
Fecha Finalización	31/10/2023	30/11/2023	31/12/2023	22/1/2024
<u>Días</u>	<u>17</u>	<u>30</u>	<u>31</u>	<u>22</u>
Tarifa Co-S (0 a 3000kW)	¢110,26	¢110,26	¢110,26	¢127,11
Costo total (¢)	¢ 89 372,35	¢ 164 596,13	¢ 210 005,61	¢ 171 812,04

La Tabla 47 proporciona un resumen del inventario, consumo y costos energéticos asociados con un Sistema Tradicional de Recirculación utilizado en la producción de tilapia en Costa Rica. Se detalla el consumo mensual de energía en kilovatios (kW) para cada equipo, incluyendo calentadores, bomba externa y blower, durante los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero.

Además, se especifica la tarifa de energía aplicable para cada rango de consumo y se calcula el costo total de la energía para cada mes. Los datos muestran un aumento gradual en el consumo de energía a lo largo del tiempo, reflejando el funcionamiento continuo del sistema y proporcionando una visión detallada de los gastos energéticos asociados con la operación del Sistema RAS en la producción de tilapia.

Tabla 48:

Cargo de la energía eléctrica consumida en la operación del Sistema Tradicional de Recirculación a cada tratamiento-especie

Mes	<i>Oreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White</i>	Costo total (C)
Octubre	C 44 686,17	C44 686,17	C 89 372,35
Noviembre	C 82 298,06	C82 298,06	C 164 596,13
Diciembre	C 105 002,80	C105 002,80	C 210 005,61
Enero	C 85 906,02	C85 906,02	C 171 812,04
Consumo energético fase de desarrollo	C 317 893,06	C317 893,06	C 635 786,12

La Tabla 48 presenta el cargo de la energía eléctrica consumida en la operación del Sistema Tradicional de Recirculación para cada tratamiento-especie de tilapia. Se detallan los costos mensuales de energía eléctrica para *Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White*, durante los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero. Además, se proporciona el costo total de la energía eléctrica para cada especie en cada mes, así como el consumo energético total durante la fase de desarrollo del proyecto.

El total del consumo energético para la fase de desarrollo alcanza C635 786,12; lo que permite una evaluación precisa de los costos operativos en términos de consumo de energía eléctrica para la producción de tilapia en el Sistema RAS.

Costos hídricos

Tabla 49:

Costos por uso hídrico del Sistema tradicional de recirculación bajo un 5% de recambio diario

Mes	Días de operación	Volumen de recambio (m ³)	Costo total (C)
Octubre	17	5,93	C 8 953,89
Noviembre	30	10,47	C 15 800,98
Diciembre	31	10,82	C 16 327,68
Enero	22	7,68	C 11 587,39
Total de agua consumida			C 52 669,94

La Tabla 49 detalla los costos por el uso hídrico del Sistema Tradicional de Recirculación bajo un 5% de recambio diario, muestra el número de días de operación y el volumen de recambio de agua en metros cúbicos (m³) para cada mes, junto con el costo total en

colones costarricenses. Además, se calcula el total de agua consumida durante el período analizado.

El costo total por el uso hídrico alcanza ₡52 669,94; lo que permite una evaluación precisa de los recursos financieros requeridos para mantener un nivel “óptimo” de calidad del agua en el Sistema RAS.

Tabla 50:

Cargo del costo hídrico a cada tratamiento-especie

Mes	<i>Oreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White</i>	Costo total (₡)
Octubre	₡4 476,95	₡4 476,95	₡ 8 953,89
Noviembre	₡7 900,49	₡7 900,49	₡ 15 800,98
Diciembre	₡8 163,84	₡8 163,84	₡ 16 327,68
Enero	₡5 793,69	₡5 793,69	₡ 11 587,39
Consumo hídrico fase de desarrollo	₡26 334,97	₡26 334,97	₡ 52 669,94

La Tabla 50 muestra el cargo del costo hídrico a cada tratamiento-especie de tilapia en una operación acuícola. Se detallan los costos mensuales del agua para *Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White* durante los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero. Además, se proporciona el costo total del agua para cada especie en cada mes, así como el consumo hídrico total durante la fase de desarrollo del proyecto.

El consumo hídrico total para la fase de desarrollo alcanza ₡52 669,94, lo que proporciona una estimación precisa de los costos operativos relacionados con el suministro y manejo del agua en el sistema.

Costos de monitoreo (materiales indirectos)

Tabla 51:

Costos por concepto de monitoreo

Mes	Días de operación	YSI	Kit API/PRODAC
Octubre	16	₡ 5 432,15	₡ 7 757,58
Noviembre	30	₡ 10 524,80	₡ 14 545,45
Diciembre	31	₡ 10 524,80	₡ 15 030,30
Enero	22	₡ 7 469,21	₡ 10 666,67
Total por costos de monitoreo		₡ 33 950,97	₡ 48 000,00

Tabla 52:*Cargo del costo de monitoreo a cada tratamiento-especie*

Mes	<i>Oreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White</i>	Totales
Octubre	₡ 6 595	₡6 594,87	₡ 13 189,73
Noviembre	₡ 12 535	₡12 535,13	₡ 25 070,25
Diciembre	₡12 778	₡12 777,55	₡ 25 555,10
Enero	₡ 9 068	₡9 067,94	₡ 18 135,88
Costo por monitoreo	₡ 40 975	₡40 975,48	₡ 81 950,97

El monitoreo tiene dos componentes, el de consumo del Kit Colorimétrico Fresmaster Water Kit, API, y la depreciación de la sonda multiparamétrica YSI Professional Plus. Esta última fue adquirida en 2020, más se desconoce la fecha exacta de la compra. Bajo el método de reposición se cotizó la sonda para el año 2024 en **6 242,95 USD**; la inflación actual y al momento de la compra en Estados Unidos, fue de **2,80%** y **1,25%**, respectivamente, por lo que se tazó el equipo en **₡1 766 486,58 (3 272,79 USD)**. Mismo con una vida útil de reconocida de 7 años según Ministerio de Hacienda sin valor residual, lo que implica una depreciación mensual de **₡21 029,60**, cargando a cada tratamiento exactamente la mitad (**₡10 514,80**).

En cuanto al monitoreo con prueba colorimétrica, el mismo tiene un costo de **₡40 000,00**. Para los 100 días de experimento y 78 ensayos completos; y una dureza promedio de 157ppm, se requiere la compra de una botella de Test GH con un costo adicional de **₡8 000,00**. Por lo que se requieren **₡48 000,00**; cada día tiene un costo de **₡615,38**.

4.5.4 Otros Gastos: Mortalidad

Tabla 53:

Valuación del gasto por mortalidad para cada tratamiento-especie por elemento del costo

Tiempo (días)	Muertos (#)	Costo alimento	Mano de obra	Costos indirectos	Costo total
<i>Oreochromis aureus</i>					
Semilla					¢2,100.00
	1	¢12.88	¢1,661.20	¢964.57	¢2,638.65
	2	¢24.55	¢3,532.29	¢2,051.00	¢5,607.84
	3	¢28.74	¢4,218.10	¢2,449.21	¢6,696.05
	4	¢31.79	¢4,927.96	¢2,861.39	¢7,821.14
	5	¢33.77	¢5,177.76	¢3,006.44	¢8,217.97
	6	¢39.24	¢5,930.89	¢3,443.74	¢9,413.87
	7	¢46.81	¢7,047.51	¢4,092.10	¢11,186.42
SubTotal		¢2,317.78	¢32,495.70	¢18,868.46	¢53,681.94
<i>Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus. Var Rocky Mountain White</i>					
Semilla					¢4,500.00
	1	¢7.82	¢1,057.13	¢613.81	¢1,678.76
	2	¢14.90	¢2,457.24	¢1,426.79	¢3,898.93
	3	¢15.77	¢2,655.83	¢1,542.10	¢4,213.70
	4	¢18.75	¢3,020.36	¢1,753.76	¢4,792.87
	5	¢23.26	¢3,559.71	¢2,066.93	¢5,649.90
	6	¢23.68	¢3,624.43	¢2,104.51	¢5,752.62
	7	¢29.41	¢4,530.54	¢2,630.64	¢7,190.59
	8	¢30.88	¢5,128.91	¢2,978.08	¢8,137.87
	9	¢31.48	¢5,227.55	¢3,035.35	¢8,294.38
	10	¢32.09	¢5,330.05	¢3,094.86	¢8,457.00
	11	¢35.93	¢5,799.09	¢3,367.22	¢9,202.24
	12	¢38.67	¢6,102.36	¢3,543.31	¢9,684.34
	13	¢43.87	¢6,795.81	¢3,945.96	¢10,785.64
	14	¢56.27	¢8,482.71	¢4,925.45	¢13,464.43
	15	¢109.13	¢14,379.54	¢8,349.41	¢22,838.08
SubTotal		¢5,011.91	¢78,151.28	¢45,378.16	¢128,541.35
<u>TOTAL</u>		<u>¢7,329.69</u>	<u>¢110,646.98</u>	<u>¢64,246.62</u>	<u>¢182,223.28</u>

La Tabla 53 presenta la valuación del gasto de mortalidad para cada tratamiento-especie en un sistema acuícola. Se registran el número de peces muertos para *Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White*, siendo 7 y 15 respectivamente, con un total de 22 peces muertos en conjunto. Los costos asociados con esta mortalidad, que incluyen tanto las materias primas como los costos de conversión, son de ¢53 681,94 para

Oreochromis aureus y ₡ 128 541,63 para *Oreochromis niloticus h.var Rocky Mountain White*, totalizando ₡182.223.28

4.5.5 Orden de trabajo y costos unitarios

Tabla 54:

Hoja de trabajo y costos unitario de producción para cada especie-tratamiento

Especie	<i>Oreochromis aureus</i>	<i>Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus. Var Rocky Mountain White</i>
Materias primas	₡25,170.43	₡24,566.52
<u>-Otros gastos*</u>	₡2,317.78	₡5,011.91
<u>SUBTOTAL: Materias primas</u>	<u>₡22,852.65</u>	<u>₡19,554.61</u>
Mano de obra	₡915,324.20	₡915,324.20
<u>-Otros gastos*</u>	₡32,495.70	₡78,151.28
<u>SUBTOTAL: Mano de obra</u>	<u>₡882,828.50</u>	<u>₡837,172.92</u>
Costos indirectos de producción	₡529,269.47	₡529,269.47
<u>-Otros gastos*</u>	₡18,868.46	₡45,378.16
<u>SUBTOTAL: Costos indirectos de fabricacion</u>	<u>₡510,401.01</u>	<u>₡483,891.31</u>
<u>COSTOS DE PRODUCCIÓN</u>	<u>₡1,416,082.16</u>	<u>₡1,340,618.84</u>
Biomasa Final	7.8	5.9
Unidades finales	53	45
Costo unitario (por kg)	₡181,549.00	₡227,223.53
Costo unitario (por unidad)	₡26,718.53	₡29,791.53

Nota: Otros Gastos*: Representan los recursos consumidos por los animales fallecidos tal y como se indican en la tabla 53.

La Tabla 54 presenta una hoja de trabajo detallada y los costos unitarios de producción para dos especies de tilapia en un sistema RAS tradicional. Para *Oreochromis aureus*, los costos totales ascienden a ₡1,469,764.10 mientras que para *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus. Var Rocky Mountain White*, los costos totales son ₡1,469,160.19. Estos costos incluyen materias primas, mano de obra y costos indirectos de producción. Además, se consideran otros gastos, como los relacionados con la mortalidad. A partir de estos datos, se **calculan** los costos unitarios por kilogramo y por unidad para cada especie, lo que proporciona una visión detallada de los costos asociados con la producción de tilapia en el sistema RAS tradicional.

Los costos unitarios por kilogramo y por cantidad de animales son métricas importantes para evaluar la eficiencia y rentabilidad de la producción en el sistema RAS tradicional para las especies de tilapia *Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus*. Para *Oreochromis aureus*, el costo unitario por kilogramo es de ₡181,549

mientras que para *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus. Var Rocky Mountain White*, es de ¢227,223.24. Esto indica cuánto cuesta producir un kilogramo de pescado de cada especie. Además, los costos unitarios por cantidad de animales, ¢26,718.53 y ¢29,791.53 respectivamente, proporcionan una perspectiva sobre los costos asociados con la producción de cada unidad individual de tilapia.

Capítulo V. Discusión

5.1 Parámetros físico-químicos de calidad de agua

5.1.1 Temperatura

Las temperaturas obtenidas indican el rango de parámetro se ubica entre los 22°C y los 27°C con una media de 24.26 y una desviación estándar de 1.31, y con límites críticos ($\mu \pm 3\sigma$) dados por el intervalo LC=[23.33; 25.12] Sin embargo, se reportó que este parámetro nunca se ajustó a las especificaciones (ver tabla 3) ya que la capacidad del proceso es de 0.532, y la mayoría de los datos observados se sitúan por debajo de los 25.46°C, tal y como se puede visualizar en la figura 7.

Esto es levemente diferente de los reportado por Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023), ya establecen que la temperatura reportada oscila entre los 23°C y los 28°C, sin embargo, se desconoce la distribución de la temperatura entre los valores especificados. En general, los autores mencionados en la tabla 3 reportan temperaturas mínimas superiores a los 25.46°C.

Sin embargo, se ajusta perfectamente con lo establecido por Chacón Palma (2001), ya que la mayoría de los datos mostrados en la figura 7, se encuentran entre los 23,6°C y los 25.3°C, con una diferencia de 1.6°C para la especificación inferior reportada por el autor y 1.3°C para la especificación superior. En general, los autores mencionados en la tabla 3 reportan temperaturas máximas inferiores a los 29.02°C.

Estas variaciones se deben principalmente a la ubicación geográfica en términos de altitud, ya que el suministro de esta agua tiene un origen de altitud de 1.800 m.s.n.m; sin embargo, pese a que se usaron 3 calentadores (uno de 500w, otro de 300w y uno de 200w); la calefacción obtenida fue insuficiente en todo el intervalo de tiempo del ensayo, debido a que un 79.6% de los datos tomados fueron menores al rango de confort para la especie (79,6% de temperaturas muestreadas por debajo de los 25.46°C). Otro factor a mencionar es la modificación realizada al módulo acuícola en el año 2023, donde se sustituyó el techo transparente por techo de HDPE completamente opaco, lo cual impide el paso de ondas de mayor energía en forma de luz, siendo estas reflejadas por la capa blanca del material del techo, siendo esta la principal causa de variación de la temperatura que justifica las diferencias observadas respecto a lo reportado por Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz 2023), que realizaron en el ensayo en el mismo sitio, obteniendo temperaturas máximas y mínimas que las observadas en este estudio. De la

figura 7 se infiere que el sistema RAS tiene una distribución normal respecto a la media y la desviación que no se ajusta a las especificaciones, lo cual se respalda con un índice de capacidad $C_p=0.532$, es decir, el proceso varía el doble respecto a las especificaciones con un línea central 1.03°C menor a la especificación inferior presentada en la tabla 3 y la figura 7, y por tanto, no es capaz de estabilizar la temperatura a las especificaciones.

5.1.2 pH

En general el pH osciló entre 7 y 8, con una media de 7.4 y una desviación estándar de 0.2, el cual varió de forma discrecional entre los primeros 40 días de ensayo, principalmente, siendo este menor a 8 en un 90% de las ocasiones y nunca menor a 7, lo cual indica una buena estabilidad del parámetro, tal y como muestran las figuras 8 y 9.

Lo anterior se corresponde con lo reportado por Nicovita (s.F); Chacón Palma (2001) y Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) en la tabla 4; los cuales indican un pH entre 6 y 9, sin embargo, la tolerancia mínima fijada para el parámetro de pH en este estudio fue de 7, ya que, por aspectos metodológicos, es imposible conocer la variación del parámetro entre 6.5 y 7 y Nicovita reporta que 7 es el valor óptimo para el pH en la crianza de tilapia.

De la misma manera, los valores máximos observados son inferiores a los reportados por Nicovita (s.F) y Chacón Palma (2001) que son de 9 en la escala, pero superiores a los mostrados por Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023), iguales a 7.

Realmente, basado en el comportamiento de la variación del pH observado en la figura 8, se descarta la posibilidad de variación del pH, ya que esta variación carece de consistencia en el tiempo, es decir, no se mantiene y se presenta en los primeros 30 días de ensayo y en realidad es motivo de un uso de pruebas colorimétricas con una sensibilidad baja que impiden distinguir el valor del parámetro de manera adecuada, ya que la diferencia de color observada en la reacción dada para el “Freshwater Master Kit API” utilizado en la determinación del pH es difícil de distinguir, y como solo se presentó variación en los primeros 30 días, lo que se sugiere es una dificultad en la determinación del parámetro y no que este realmente varíe, y se descarta la posibilidad de variación ya que la alcalinidad y dureza presentadas en las figuras 10 y 14 sugieren que el suministro de agua ofrece una excelente capacidad tampón debido a la alcalinidad y la dureza ofertadas por el proveedor, y que el pH no haya sido nunca menor a 7 implica que no hay evidencia para sospechar que el dióxido de carbono se presentase en concentraciones peligrosas, lo cual se da

principalmente por la presencia de algas en los tanques que durante las fases luminosas lo consumen, evidenciado en pH el cual se mantuvo siempre en rangos neutros. La razón por la cual no se toleró un pH igual o mayor a 8; aunque no fuese especialmente peligroso para el género *Oreochromis*; es debido a que al ser un sistema recirculado, cualquier presencia detectable con el Kit freshwater Master API (ver figura 58) de nitrógeno amoniacal total a cualquier temperatura con un $\text{pH} > 8$ implica una concentración peligrosa de amoníaco, el cual si es mayor a las 0.1 ppm es letal, según lo reportado por Emerson, Russo, Lund, & Thurston (1975); puede desencadenar en mortalidades importantes, y aunque se sabe que este umbral fue superado en todo momento hasta el día 15 como lo indica la figura 17; no se corresponde con los aumentos de pH porque su presencia era muy baja en ese día. Por tanto, se determina que este sistema RAS es capaz de mantener un pH estable y seguro para la actividad acuícola.

5.1.3 Alcalinidad

La alcalinidad presentada se mantuvo entre las 72 y las 108 ppm, con una desviación estándar de 12.71, y una excelente capacidad de proceso igual a 4.738, lo cual nos indica que la alcalinidad presentada varía 4 veces menos respecto a la tolerada (entre los 0 y las 250ppm) tal y como muestra la figura 10.

Esto se corresponde perfectamente con lo reportado por Nicovita (s.F) y Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa (2000); los cuales sugieren concentraciones mayores a la 0 ppm para obtener una buena capacidad tampón.

De la misma manera, tampoco se recomiendan aguas muy alcalinas, según Nicovita (s.F) y Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa (2000) los cuales recomiendan aguas por debajo de las 380 ppm, es decir, 130ppm más que las toleradas en el ensayo y 272 ppm más que las presentadas.

De lo anterior se infiere que la variación es demasiado baja y es causada principalmente por el tratamiento del agua, ya que es potable y adecuada para el consumo humano, la cual proviene de Rio Loro y se trata en una planta certificada con la ISO 9001, por lo que se descarta la posibilidad de que la alcalinidad pueda variar hasta alcanzar la inconformidad, tal y como se ilustra en la figura 10; de la cual, el sistema RAS es capaz de mantener estable respecto a la línea central y especificaciones presentadas en la tabla 5 y la figura 10.

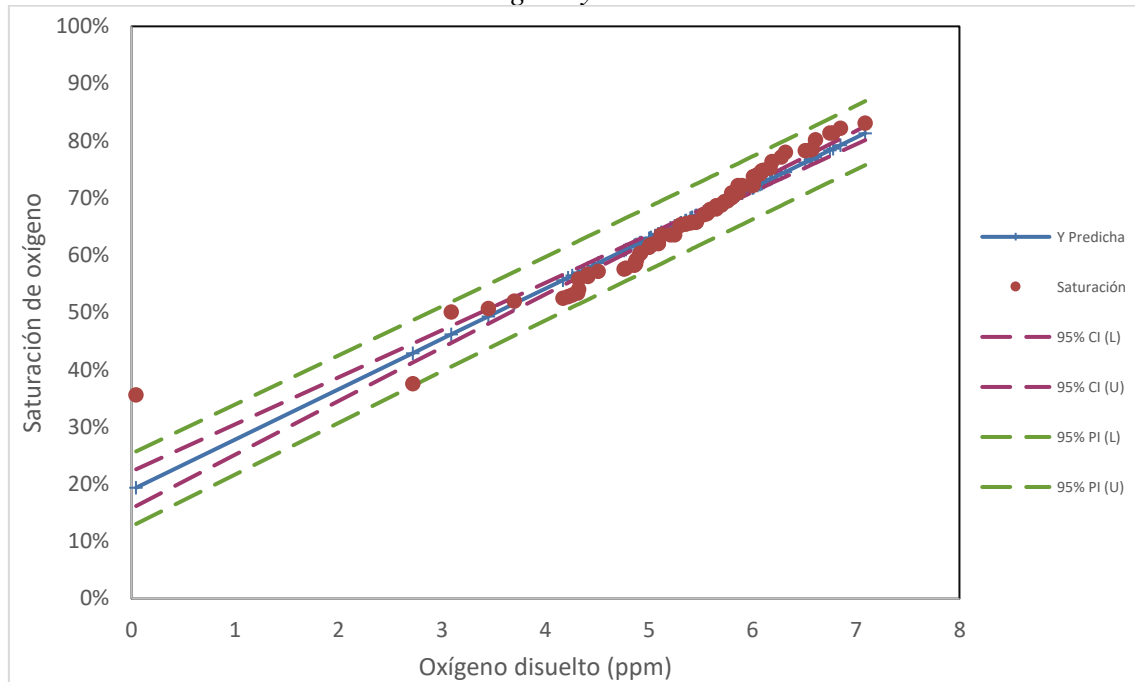
5.1.4 Oxígeno

Las figuras 11 y 12 muestran una tendencia bajista en la solución y saturación de oxígeno, respectivamente, lo mismo sucede debido a que están altamente correlacionadas, tal y como lo muestra la figura 25. Después del día 60 existen variaciones importantes en ambos parámetros, y después del día 40 se observa una tendencia a la baja la cual persiste hasta el día 100, y se perdió el control del proceso, ya que los índices de capacidad de corto plazo son de 0.781 para el oxígeno disuelto y de 0.753. Que ambos tengan una tendencia bajista similar e índices de capacidad muy parecidos sugiere la existencia de una correlación entre ambos.

Para el oxígeno disuelto, como mínimo, se esperan valores superiores a 4ppm, y se sugiere que este valor se mantenga constante, ya que es una concentración de oxígeno disponible segura, tal y como lo reportan Nicovita (s.F) Chacón Palma (2001), Lozada Farías (2019), Cantor (2007) y Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023); siendo esto menor a lo observado de 5 a 6 ppm. Mientras que Mariluz Fernandez (2019), Brú-Cordero, Pertúz-Buelvas, Ayazo-Genes, & Atencio-García (2017), Verastegui, Vega, & Miglio (2003) y Plazas Pemberthy & Paz Ruiz (2019) sugieren una saturación mínima del 60%, siendo esto bastante similar al promedio observado de 65.82%.

Realmente, no es como que existe una concentración máxima ideal de oxígeno, solo que naturalmente, es improbable observar concentraciones superiores a las 8 ppm según lo reportado por Nicovita (s.F) Chacón Palma (2001), Lozada Farías (2019), Cantor (2007) y Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023), siendo esto mayor a la media de 5ppm. De la misma manera, es improbable que el oxígeno sature por encima de un 92.5%, según lo reportado por Mariluz Fernandez (2019), Brú-Cordero, Pertúz-Buelvas, Ayazo-Genes, & Atencio-García (2017), Verastegui, Vega, & Miglio (2003) y Plazas Pemberthy & Paz Ruiz (2019), siendo esto casi 30% más de los observado en el ensayo.

Figura 25:
Correlación entre la saturación del oxígeno y su concentración



Nota: La Saturación del oxígeno como porcentaje se puede predecir con el criterio: $Y=8.79X+19$ con un $R^2 = 0.9189$; para valores de oxígeno disuelto con dominio y codominios dados por $D=[0;8] \rightarrow R= [0;100]$.

En general, se sugiere que tanto la concentración de oxígeno disuelto como la saturación de este en agua son fenómenos correlacionados, lo cual se demuestra en la figura 25. El que se haya perdido el control del oxígeno después del día 57 puede ser consecuencia de un aumento en el ritmo de crecimiento y de las tasas metabólicas, tal y como muestran las figuras donde se predice el peso en función del tiempo (figuras 32 y 34 para ambas líneas genéticas) y la tabla 36, en donde el aumento en la conversión de nutrientes se respalda por una tendencia a la baja del factor de conversión alimenticia después del día 44 para ambos tratamientos siendo estos las principales causas de la pérdida de oxígeno. Sin embargo, debe aclararse que la única fuente de oxígeno proviene del soplador, y es para oxigenar el filtro biológico, por lo que este también consume oxígeno debido a la acción de microorganismos saprobiontes, nitrificantes y desnitrificantes, aunque se desconoce exactamente cuánto, las tendencias mostradas en las figuras 11, 12 y 25, sugieren una disminución paulatina del oxígeno desde el día 40 hasta el momento en que se perdió el control después del día 68. Esto puede ser causado porque el filtro mecánico fue construido con un vidrio molido, con un tamaño de partícula menor al óptimo, lo que disminuye la circulación del agua y ocasiona un mayor estancamiento y un menor flujo de esta en los circuitos del sistema recirculado. Esta pérdida de dinamismo del fluido ocasiona una menor capacidad de solventar y saturar el oxígeno de la atmosfera, abonado

a que limita el oxígeno disponible en el medio. Se sugiere que, si se corrige el diseño del filtro mecánico y la aireación del filtro biológico, se puede recuperar el control del oxígeno disuelto y saturado.

En general, el índice de capacidad para el oxígeno disuelto es de 0.781, lo que implica que la variación presentada en la figura 11 es 1.2 veces mayor a la presentada en la tabla 6; mientras que, para la saturación del oxígeno, el índice de capacidad es de 0.753; lo que implica que la variación presentada en la figura 12 es 1.3 veces mayor a la especificada en la tabla 7. De lo anterior se concluye que, en cuanto oxígeno, y de manera general, el sistema RAS tiene dificultades para estabilizar el oxígeno ante aumentos en la biomasa dados por el crecimiento de los especímenes con un filtro biológico estable y con operación continua.

5.1.5 Salinidad

La salinidad tuvo una media de 1.84ppt y una desviación típica de 0.93ppt, y respecto a los rangos especificados, no hubo problemas por salinidad, tal y como lo indica el índice de capacidad de 2.531 para este parámetro y, por tanto, se mantuvo bajo control durante todo el ensayo, según lo especificado en la figura 13.

En general, valores mínimos observados de 0.5ppt en los primeros días se mantiene muy similar a las 0.5 ppt reportadas por Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) y por Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022), ya que ambos autores realizaron estudios similares.

Mientras que el valor máximo observado fue igual a 3.66ppt, bastante inferior a las 10ppt reportadas por Paz (2004) y similar a las 3ppt de Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022) y a las 2 ppt Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023).

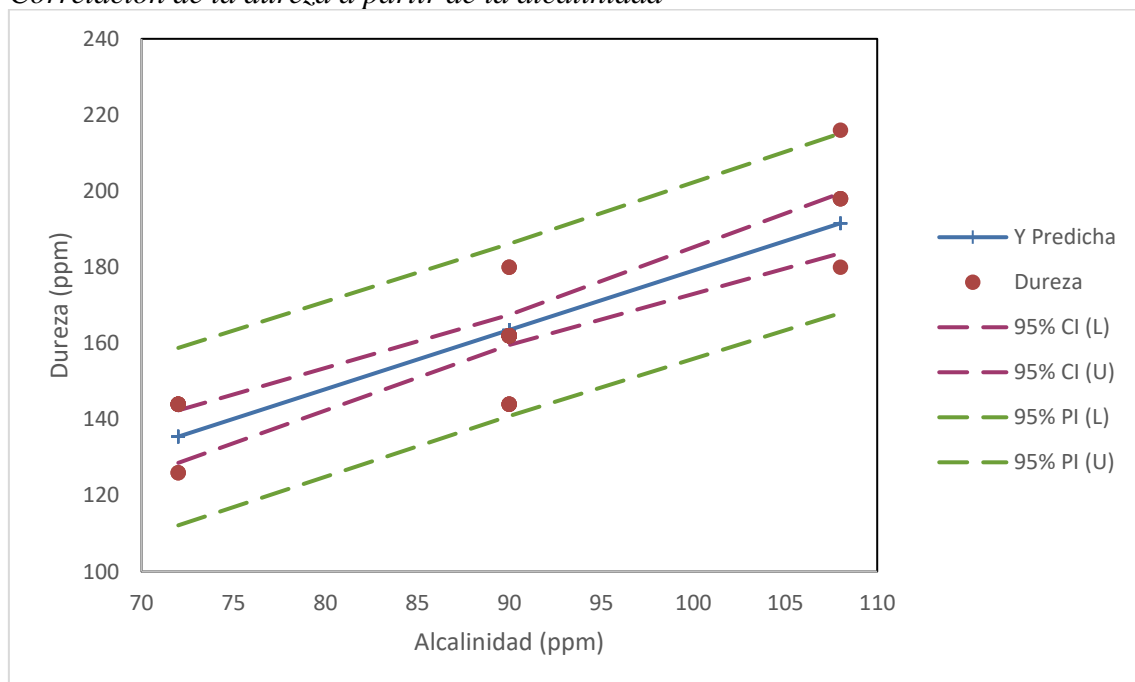
El parámetro no varió por causas externas, ya que el suministro de agua local oferta agua con concentraciones nulas de salinidad, por lo que la variación presentada fue ocasionada intencionalmente, según la presencia de lesiones epiteliales causadas por la presencia de *Saprolegnia spp* en un principio, y para disminuir el efecto de la interacción de los nitritos en el agua, para formar nitrito de sodio, cuanto este superó la especificación tolerada. Por lo que en general, la salinidad se mantuvo dentro de las especificaciones mostradas en la tabla 8 tal y como se muestra en la figura 13, debido a las buenas prácticas realizadas, y su aumento en concentración realizada después del día 24 fue efectiva para eliminar lesiones por *Saprolegnia spp* Por lo que se concluye que se puede aplicar sal en sistemas

recirculados sin consecuencias importantes según los rangos especificados en la tabla 8, y un porcentaje de recambio diario del 5% mantiene estable el decrecimiento de la concentración de la sal en el medio, lo cual se demuestra con un índice de capacidad de cumplimiento de 2.531; lo que significa que la variación especificada en la tabla 8 es 2.5 veces mayor que la presentada en la figura 13 y por tanto, el proceso está controlado.

5.1.6 Dureza

La dureza como tal, solo se monitoreó durante los primeros 35 días de ensayo con una media aritmética igual a 157ppm y una desviación típica de 26.77ppm, tal y como se indica en la figura 14, por lo que su predicción se realizó a partir de la alcalinidad. La correlación obtenida fue de 0,7370, tal y como se especifica en la figura 26.

Figura 26.
Correlación de la dureza a partir de la alcalinidad



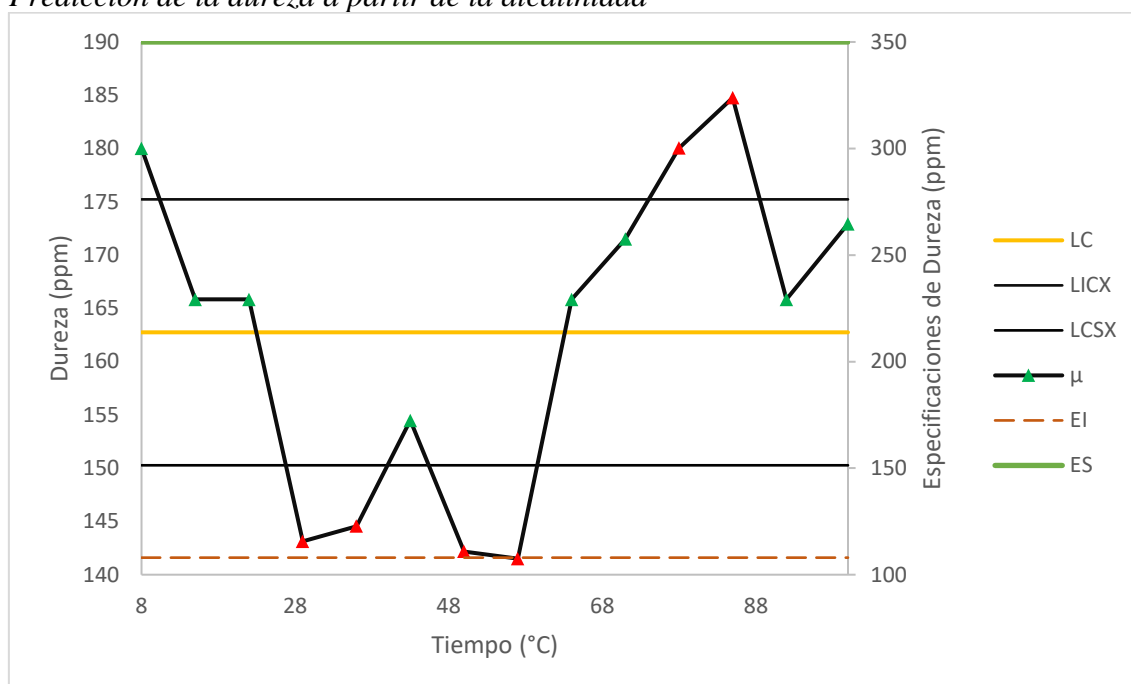
Nota: La dureza se puede predecir con el criterio: $Y=23,9071+1.5577X$ con un $R^2 = 0,7370$; a partir de la alcalinidad con dominio y condominios dados por $D=[70;110] \rightarrow R= [100;240]$. En la EEAVM únicamente.

La figura 14 muestra la dureza observada durante los primeros 35 días, sin embargo, la dureza predicha se muestra en la figura 26, y en general; varía muy poco respecto a la media aritmética real, lo cual cumple con la dureza mínima recomendada por Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa (2000) Nicovita (s.F) Lozada Farías (2019) y Cantor (2007) los cuales reportan durezas mínimas de 252ppm; 50ppm y 20ppm, respectivamente, ya que esta se encuentra entre las 144 y las 180 ppm.

Lo mismo sucede, ya que basado en la predicción realizada en la figura 14, no existe posibilidad alguna de la dureza supere las 350 ppm, siendo este el valor máximo reportado por Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa (2000) Nicovita (s.F) Lozada Farías (2019) y Cantor (2007), ya que esta ni siquiera supera las 180ppm.

Realmente, basado en el criterio de la correlación, aunque el ajuste no es perfecto, es suficiente. (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, Análisis y diseño de experimentos, 2008). Sin embargo, la correlación no sugiere un ajuste cuasi perfecto debido al método de medición tanto de la dureza como de la alcalinidad, el cual es mediante titulación, por lo que el comportamiento de las variables correlacionadas es discreto y sujeto a lectura en múltiplos de 18 ($1^\circ=18\text{ppm}$), por lo que esta es la principal fuente de imprecisión que afecta la correlación, sin embargo, se optó por utilizarse para estimar la dureza a partir de la alcalinidad tal y como muestra la figura 26. De lo anterior se infiere que la variación de la dureza es demasiado baja respecto al promedio y es causada principalmente por el tratamiento del agua, ya que es potable y adecuada para el consumo humano, la cual proviene de Rio Loro y se trata en una planta certificada con la ISO 9001, por lo que se descarta la posibilidad de que la alcalinidad pueda variar hasta alcanzar la inconformidad, tal y como se ilustra en la figura 26. El índice de capacidad es igual a 3.366; lo que significa la variación especificada en la tabla 9 es 3.6 veces mayor a la presentada en la figura 26, lo que permite concluir que el proceso está controlado.

Figura 27:
Predicción de la dureza a partir de la alcalinidad



Nota: μ : Promedio Semanal; ES: Especificación Superior y EI: Especificación inferior (ver tabla 5) LICSX: Límite Crítico Superior y LICX: Límite crítico inferior. LC: línea central $E(\mu)$.

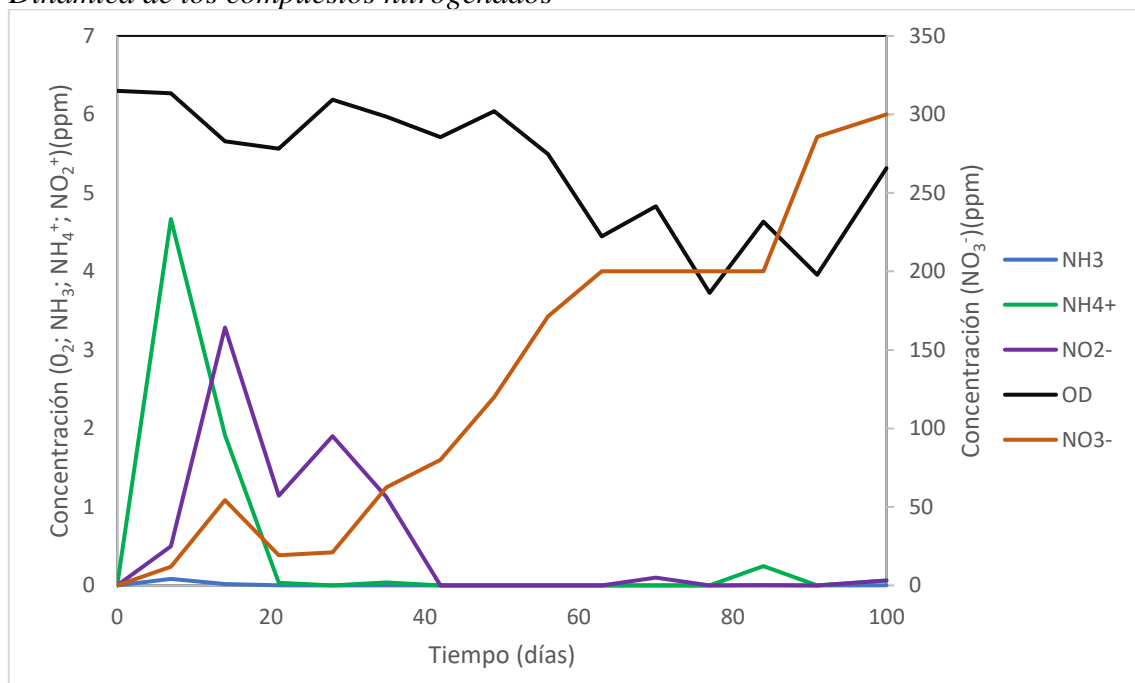
Por lo que no hay que prestar mayor detalle a la dureza en este entorno, ya que en general es buena y la calidad de la misma está asegurada por el proveedor municipal de agua potable. Es improbable que la dureza supere las especificaciones de la tabla 9, si la alcalinidad se mantiene en los rangos presentados en la tabla 5 y la figura 27.

Nitrógeno amoniacal

Fue imposible determinar un promedio confiable y una variación adecuada para el amoniacal, y el amonio, que juntos conforman el nitrógeno amoniacal total, esto debido a que la herramienta para realizar la medición permite visualizar rangos de manera discreta (0ppm; 0.25 ppm; 0.50 ppm; 1ppm; 2 ppm; 4 ppm y mayor a 8 ppm, tal y como se indica en la figura 58) para el nitrógeno amoniacal total, por lo que se evaluó por atributos, ya que la tolerancia se fijó en 0,1 ppm para el amoniacal y en 3 ppm para el amonio, los cuales fueron estimados con el método de Emerson et al (1975). A nivel general, los problemas presentados por exceso de amoniacal ion amonio, prevalecieron entre los días 15 y 25, tal y como lo muestran las figuras 17 y 19, respectivamente. Mientras que en la figura 28 se muestra una eliminación completa de todo el nitrógeno amoniacal total después del día 20, con la presencia de un pico en día 80, el cual es de importancia trivial ya que no supera la especificación tolerada de 3ppm para el amonio.

De acuerdo con las 0.019 ppm reportadas por Hernández-Barraza, Trejo-Martínez, Loredó-Osti, & Gutiérrez-Salazar (2016); 0.051 ppm por Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa (2000) ausencia total por Nicovita (s.F) y Cantor (2007); la presencia de nitrógeno amoniacal logró eliminarse por completo a partir del día 20. Mientras que durante el intervalo donde hubo presencia de nitrógeno amoniacal, los valores observados superan lo reportado por Emerson et al (1975), Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022), Nicovita (s.F) y Cantor (2007) en la tabla 10.

Figura 28:
Dinámica de los compuestos nitrogenados



Pese a que hubo aumento sostenido en el consumo de alimento, y los animales crecieron, no se determinaron valores de pH mayores 8 y como se visualiza en la figura 7, tampoco se presentaron temperaturas mayores a los 25°C; la figura 16, indica que el pico máximo de amoniacal fue de 0.18 ppm y se presentó iniciando el ensayo; y durante el intervalo presentado en la figura 17; del día 0 al día 20 la concentración de amoniacal superó las 0.1 ppm, que es la concentración establecida como segura por Emerson, Russo, Lund, & Thurston (1975) por lo que la variación de la concentración para amoniacal e ion amonio se debe principalmente a la capacidad del biofiltro de transformarlos adecuadamente en nitrato. Como se inició el ensayo con un biofiltro despoblado de saprobiontes, hubo presencia de amoniacal en los primeros días.

De lo anterior se concluye que el amonio supera las 3ppm en los primeros 20 días de ensayo, lo que ocasionó que se superó la concentración máxima permitida indicada por Emerson, Russo, Lund, & Thurston (1975). No se presentaron mortalidades importantes debido a este parámetro, por lo que se descarta que la exposición de 20 días al amoniaco con niveles inferiores a 0.2 ppm pero mayores a 0.1 ppm sea responsable de mortalidades, y con el amonio, también debe descartarse que una exposición de 20 días con niveles inferiores a las 4.6ppm pero superiores a las 3ppm sea capaz de causar mortalidades importantes.

La figura **28** muestra la dinámica de los compuestos nitrogenados, en donde claramente se visualiza como en la medida que desaparecen el amoniaco y el amonio, aumentan los nitritos y los nitratos, lo que sugiere un aumento de la carga microbiana saprobionte entre los días 0 y 20 hasta una posible estabilización de este. Lo cual sugiere una correcta identificación de las causas de presencia y variación de estos compuestos y la eliminación de los mismos, de acuerdo con los postulados de Shewhart (1931) expuestos en la metodología.

De lo anterior se concluye que el filtro biológico requiere de 20 días para cultivar una carga de saprobiontes para estabilizar el nitrógeno amoniacal a niveles nulos y que una exposición inferior a 20 días sea capaz de causar mortalidades, aunque se debe ser cuidadoso porque eventualmente, por acción de organismos nitrificantes, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos lo que puede ocasionar mortalidad en proporciones altas.

5.1.7 Nitrato

En cuanto a los nitratos, en la figura 27 se muestra la evolución de la concentración en el tiempo en donde finalmente se alcanzan las 300ppm al final del ensayo, esto con un 5% de recambio, tal y como especifican las figuras **20** y **28**.

Esto supera con creces las concentraciones máximas reportadas por Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022) Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa (2000) Lozada Farías (2019) Cantor y (2007) para ambos tratamientos, en la tabla **11**, de los cuales la máxima es de 40ppm.

El análisis de las concentraciones de nitrato en el ensayo, que abarcan desde 0 hasta 300 mg/L en un período de 100 días, ofrece una visión integral sobre el comportamiento de este compuesto en un contexto de experimentación. Los hallazgos reportados por Hernández-Barraza, Trejo-Martínez, Loredó-Osti y Gutiérrez-Salazar (2016), quienes

registraron concentraciones de nitrato entre 0.46 y 0.54 mg/L, y Jiménez-Badillo y Arredondo-Figueroa (2000), con valores de 0.16 a 0.23 mg/L, sugieren condiciones de baja concentración inicial. Por otro lado, Lozada Farías (2019) observó concentraciones más elevadas, oscilando entre 4.17 y 5.33 mg/L, lo que puede reflejar condiciones ambientales o procedimientos experimentales diferentes. La ausencia de nitrato, como reportado por Cantor (2007) y Pérez-Fuentes et al. (2016), con rangos de 0 a 40 mg/L y 0 a 5 mg/L respectivamente, contrasta con los niveles alcanzados en el ensayo. Sin embargo, estos valores corresponden principalmente, a sistemas abiertos de flujo continuo. La variación en los rangos de concentración observados en el ensayo, junto con la duración de 100 días, podría atribuirse a diversos factores, como las condiciones iniciales del sistema acuático, la presencia de organismos nitrificantes, el tipo y cantidad de sustrato, así como la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana.

La figura 28 sugiere que la principal causa de variación de la concentración de nitratos es un correcto funcionamiento del biofiltro, ya que estos se producen debido a la acción de las bacterias saprobiontes, nitrificantes y principalmente, de las nitrificantes, sobre las proteínas disueltas en las heces, principalmente, por lo que la concentración de nitratos se relaciona directamente con la oferta de alimento y el consumo neto del mismo. La experiencia sugiere que la concentración de nitratos es trivial si es inferior a 300ppm; durante al menos 100 días de exposición; ya que no supone un retroceso en la salud de los peces en ningún momento, debido que no hubo un aumento de la mortalidad o morbilidad evidente respecto a los aumentos en la concentración de nitratos; y no se presentaron mortalidades importantes cuando se superaron las 40ppm. Sin embargo, si se desea reducir el valor, hay que revisar los protocolos de vaciado, llenado y recambio, ya que de estos depende una disminución del parámetro.

Por lo tanto, el sistema RAS es capaz de estabilizar su funcionamiento y prueba de ello es la ausencia de nitrógeno amoniacal y la presencia de nitratos, después del día 40, por lo que se recomienda madurar el biofiltro durante 40 días antes de introducir carga biológica en un sistema de esta naturaleza.

5.1.8 Nitrito

Al igual que con el nitrógeno amoniacal, fue imposible determinar una media aritmética y una desviación típica confiables, debido a que la herramienta de medición permitía una determinación en términos de valores discretos (0ppm; 0.25ppm; 0.50ppm; 1ppm, 2ppm o mayor a 4ppm, como se indica en la figura 58); por lo que se optó por un control por

atributos. En general, los nitritos alcanzaron las concentraciones máximas legibles de 5ppm, y en promedio, llegaron a alcanzar casi las 3ppm, tal y como se observa en la figura **21** y superando la tolerancia crítica máxima para el parámetro en un 100% de las ocasiones, tal y como lo indica la figura **22**.

Ya que la mayoría de los autores mencionados en la tabla 12 coinciden en que no existe una concentración máxima segura para los nitritos, la tolerancia se fijó a la presencia o ausencia de estos, en donde hubo una presencia del 100% durante los días 20 y 40, tal y como lo ilustra la figura 22, y la estimación oscila entre las 2 y las 2,5ppm en ese intervalo de tiempo.

Entre los días 20 y 40; la concentración medida supera por mucho lo tolerado por Zumbado-Salas, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2022) Jiménez-Badillo & Arredondo-Figueroa (2000) Lozada Farías (2019) Cantor y (2007), que es de 0,52ppm para el primer autor y de 0,1ppm para los restantes, superando en 2.4ppm a todos los autores, lo cual sugiere una alta peligrosidad.

Tanto la evidencia observada en la mortalidad, como la experiencia de ensayo, sugieren que concentraciones altas de nitrito ocasionan mortalidades importantes debido a afecciones por metahemoglobinemia y anoxia, lo cual se contrasta perfectamente con los intervalos de tiempo de mayor mortalidad (10% para *Oreochromis aureus* y 20% para el híbrido *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var Rocky Mountain White*; entre los días 17 y 44); y su fuente principal de variación está dada por un correcto y adecuado, funcionamiento del biofiltro, el cual requiere de una carga microbiana de organismos nitrificantes para eliminar el nitrito adecuadamente. De la afirmación anterior se deduce que, al principio del ensayo, el biofiltro no funcionó correctamente debido a que faltó tiempo para madurarlo y poblarlo adecuadamente, y el mismo se estabilizó hasta el día 40, por lo que se concluye que ocuparon 40 días más para realizar el ensayo y obtener mejores resultados tal y como se ilustra en la figura **28**.

Por tanto, se concluye que la mortalidad presentada fue; muy probablemente; causada por una exposición prolongada de nitritos mayor a 0.25 ppm, pero menor a 5ppm durante 34 días (del día 4 al día 38); lo anterior implica que el biofiltro requiere al menos 34 días para lograr la estabilización completa y adquirir la inocuidad para cualquier carga biológica del género *Oreochromis* que albergue.

5.1.9 Valoración general del biosistema

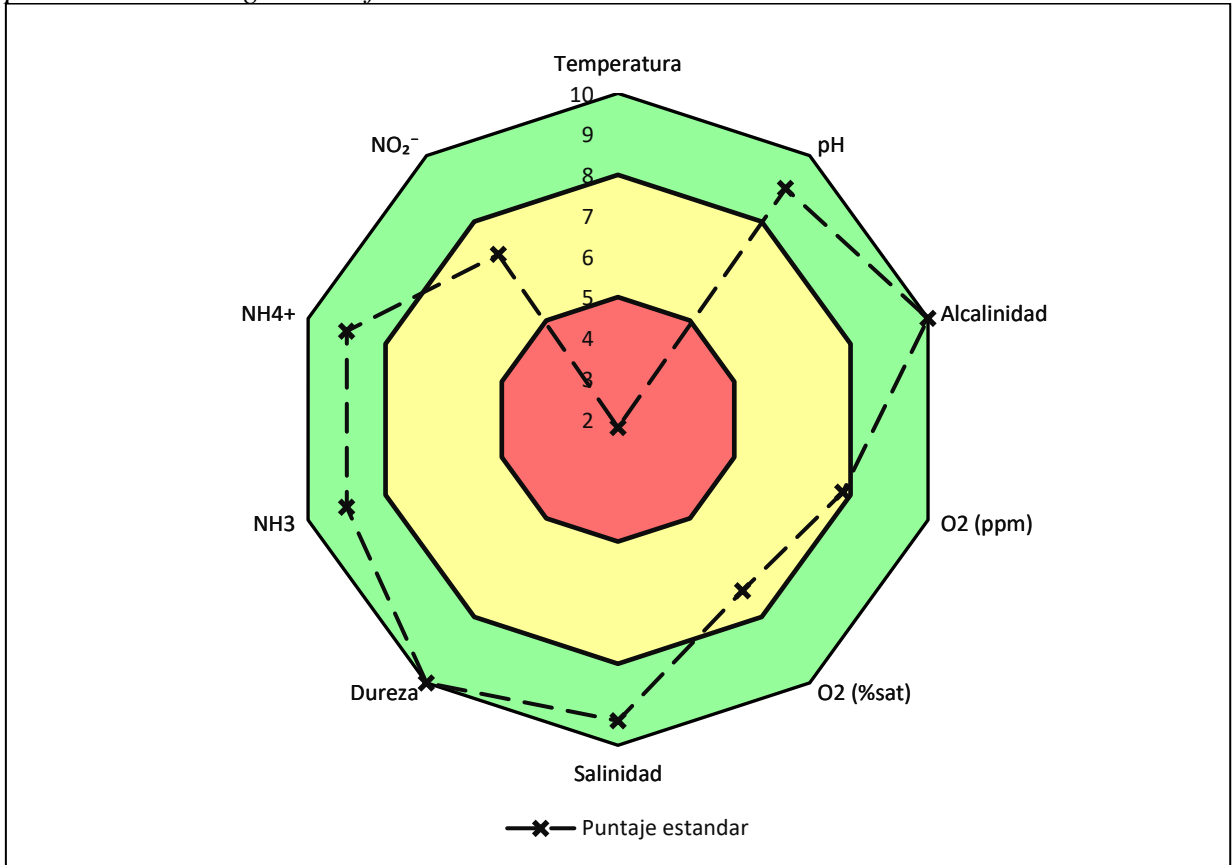
Hecho un análisis de cada parámetro de calidad de agua, se identificó que la temperatura, el nitrito, el oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno son los que requieren de una mayor atención. La figura 54 indica una puntuación estandarizada, basado en la probabilidad que tiene el sistema RAS de mantener cada parámetro fisicoquímico de calidad de agua dentro del rango de confort del género *Oreochromis*. Como se puede identificar; donde se presentan más problemas en este sentido es en los parámetros que se encuentran en la región amarilla, es decir, que la probabilidad de ajustarse a las especificaciones de rango es inferior al 80%. El caso de la temperatura es especial, ya que la probabilidad de cumplir las especificaciones de rango dadas las condiciones presentadas es de apenas un 18%. En el caso del Oxígeno disuelto la probabilidad de cumplir con el rango de confort es de 78% y la de la saturación de oxígeno es de un 72%; mientras que el nitrito, ofrece una probabilidad de ser menor a 0.25ppm igual al 70%; lo ideal es que estas probabilidades sean lo más cercana al 100%; y como son las más distantes, obtienen la menor calificación dentro de la figura 29.

En general, el sistema recibe una calificación media de 8.02, ya que este es el promedio general de todas las puntuaciones estandarizadas de acuerdo las especificaciones dadas en las tablas 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; y 12. Se omite el nitrito debido a que su presencia es trivial basado en la experiencia de ensayo, es decir, su control no es crítico bajo el esquema PHVA. Para subir esta puntuación, se recomienda entonces, cambiar el método de calefacción del medio, ya que se utilizaron 3 calentadores en el tanque de colección: 1 de 500W; otro de 200W y otro de 100W (todos ellos de 100V); los cuales no fueron efectivos ya que no pudieron mantener la temperatura en el rango de confort de la especie. Se puede optar por una salida de agua a un calentador de 220V, por el cual se haga pasar el agua de manera continua durante su uso; ya que puede ser más económico y más efectivo, sin embargo, se requiere hacer las modificaciones pertinentes. En cuanto al oxígeno, las bajas en el nivel general se dan principalmente por falta de turbulencia asociada a una disminución frecuente en el caudal, causada principalmente por un filtro mecánico compuesto con un material filtrante con un tamaño de partícula menor al recomendado, lo que ocasiona obstrucciones frecuentes y disminuye el caudal neto, turbulencia, solubilización y saturación del mismo. En cuanto al nitrito y nitrógeno amoniacal, los problemas se presentaron por una siembra anticipada a la maduración del biofiltro y se recomienda dejar pasar al menos 34 días para evitar una exposición a estos

compuestos. Sobre los demás parámetros, no hay nada que agregar ya que se mantuvieron en el rango de confort de la especie y su probabilidad de cumplir con las especificaciones dadas es superior al 90%, es decir, se encuentran bajo control. La probabilidad de que el biosistema utilizado cumpla con todas las especificaciones indicadas es del 78.7%

Figura 29:

Evaluación de la calidad de agua del sistema RAS respecto a su capacidad mantener los parámetros en rango de confort



Nota: La puntuación estandarizada para cada parámetro controlado por variables (Temperatura, oxígeno, salinidad, dureza y alcalinidad) esta dada por: $P(EI < x < ES) = \frac{10}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{EI}^{ES} \cdot e^{-\frac{1(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \partial x$. Mientras que la puntuación estandarizada para los controlados por atributos esta dada por:

$$P(x = k) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1 - p)^{n-k}$$

5.2 Parámetros de crecimiento

5.2.1 Ganancia de peso total

En la tabla **29**, se muestra que, en promedio, *Oreochromis aureus* ($\Delta P=114,55g$) ganó en promedio 29.65g más que el híbrido *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain White* ($\Delta P=84,9g$) durante los 100 días de ensayo, de manera significativa. Misma tendencia se mantuvo a lo largo de todo el ensayo, tal y como indican la tabla **29** y la figura **29** y **30**. Esto implica que la tasa de ganancia media de *O. aureus* es igual a 1.14g/día mientras que para el híbrido Rocky la tasa de ganancia media es de 0.84g/día; lo que acentúa la diferencia significativa entre ambas líneas. En términos de tasa de ganancia, *O.aureus* fue superior durante todo el ensayo al híbrido Rocky; tal y como se indica en la figura **23**; lo cual permite entender porque su peso final fue superior, aunque inicialmente, pesó menos que el híbrido Rocky.

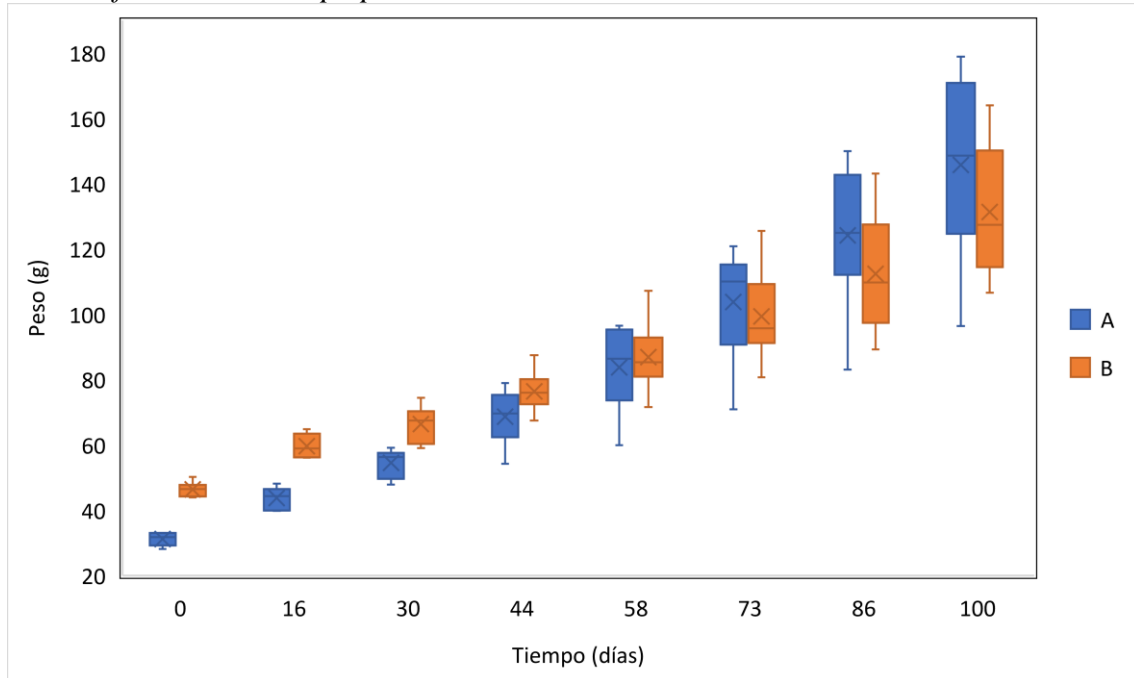
Estos valores distan mucho de lo reportado por Arce Vega (2014); Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón (2020) y Chacón Palma (2001), que en promedio reportan una tasa mínima de ganancia de 1.82g/día, mientras que la alcanzada fue de 0.82 para el híbrido Rocky, lo que implica una diferencia de 1 gramo diario por pez respecto a la tasa mínima esperada, lo cual permite hipotetizar que hay un retraso en crecimiento, lo cual es comprobable en las figuras **32** y **34**.

En cuanto *Oreochromis aureus*, Arce Vega (2014), Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) y Chacón Palma (2001) reflejan un valor mínimo de tasa de ganancia de 2.08g/día, 0.94 gramos diarios por pez más que la obtenida en el ensayo, lo que permite hipotetizar que hay un retraso en el crecimiento tal y como lo comprueban las figuras **33** y **35**.

Estas variaciones son causadas principalmente, por una relación macho hembra de 7:3 presencia de nitritos al inicio del ensayo, y una temperatura inferior al rango de confort del género *Oreochromis*, y la experiencia sugiere que una iluminación insuficiente disminuye la actividad en cuanto a comportamiento, por tanto, disminuyen las tasas metabólicas debido a una alteración del ritmo circadiano asociado a las fases oscuras, que disminuyen el crecimiento neto, lo cual se ve reflejado en una ganancia de peso total promedio inferior a los autores consultados. La figura **30** muestra la diferencia significativa entre ambas líneas genéticas; la cual se ve reflejada a la hora de predecir el peso en función del tiempo en las figuras **32** y **34**, las cuales muestran un mayor peso para

Oreochromis aureus, mientras Las figuras 31 y 33 muestran los intervalos de tiempo de mayor crecimiento.

Figura 30:
Peso en función del tiempo para ambos tratamientos

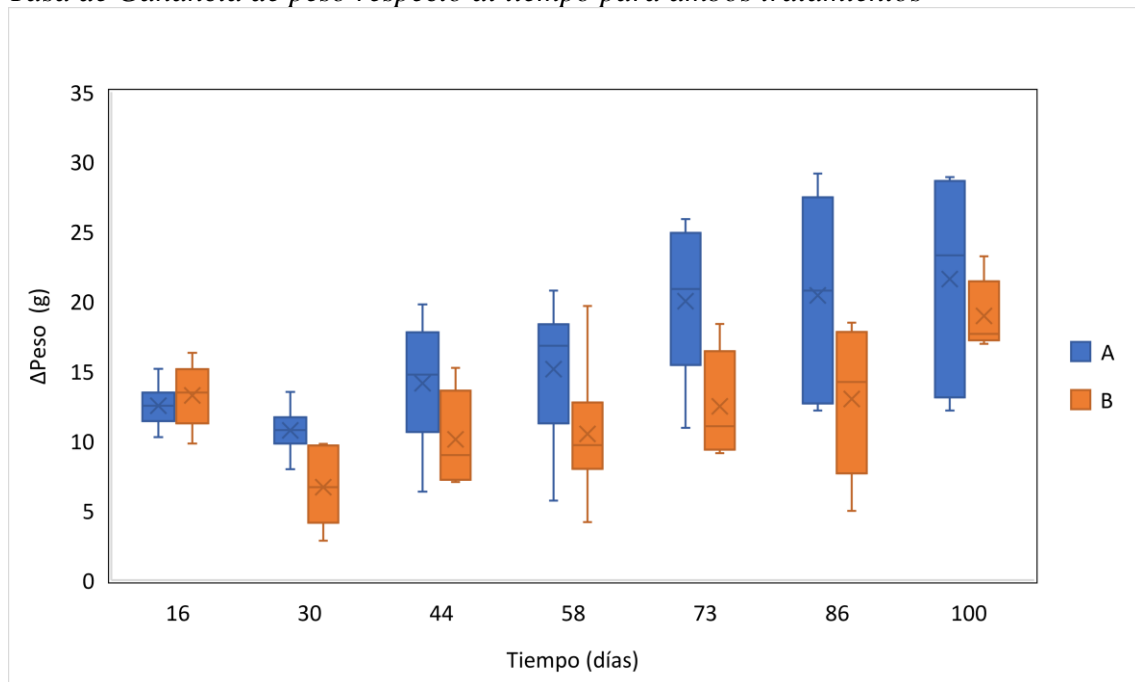


Nota: A: *Oreochromis aureus*. B: *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*. Encuentre las funciones predictoras en los apéndices.

De las figuras mostradas (32 y 34), se deducen que en general, *Oreochromis aureus* presenta tasa de ganancias mayores a *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White* en cuanto la media, y muy similar, en términos de variación ($Cv=24.08\%$ para *O. aureus* y $Cv=22.60\%$ para el híbrido Rocky). Por lo que se concluye que *O. aureus* presenta una mejor ganancia de peso.

Figura 31:

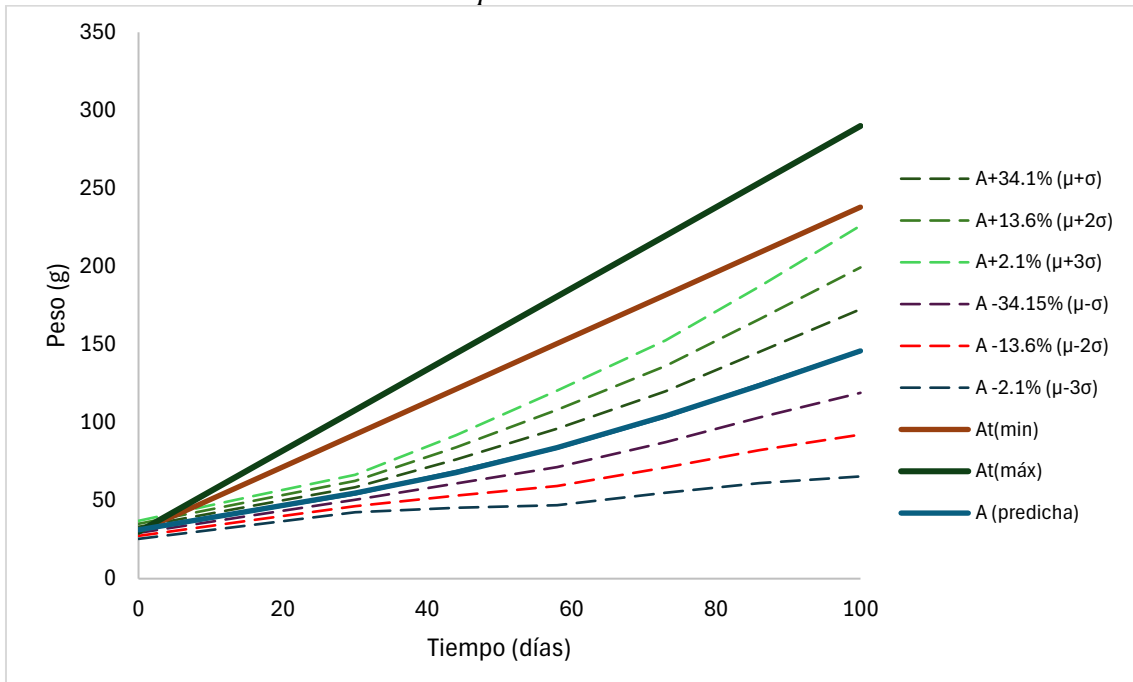
Tasa de Ganancia de peso respecto al tiempo para ambos tratamientos



Nota: A: *Oreochromis aureus*. B: *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*.

De los criterios determinados, aunque la correlación es buena, predice más el peso de los individuos que se encuentran una desviación típica por encima de la media en el tratamiento *Oreochromis aureus* tal y como lo ilustra la figura 30, mientras que el criterio experimental de estimación del peso para *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*, predice mejor el peso de aquellos individuos que se encuentran 2 desviaciones típicas por encima de la media, tal y como lo ilustra la figura 32, mismos desajustes se deben a una correlación del 87% para *Oreochromis niloticus* y del 84% para la línea *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*, tal y como lo muestra la figura 29.

Figura 32:
Curvas de crecimiento estimadas para Oreochromis Aureus

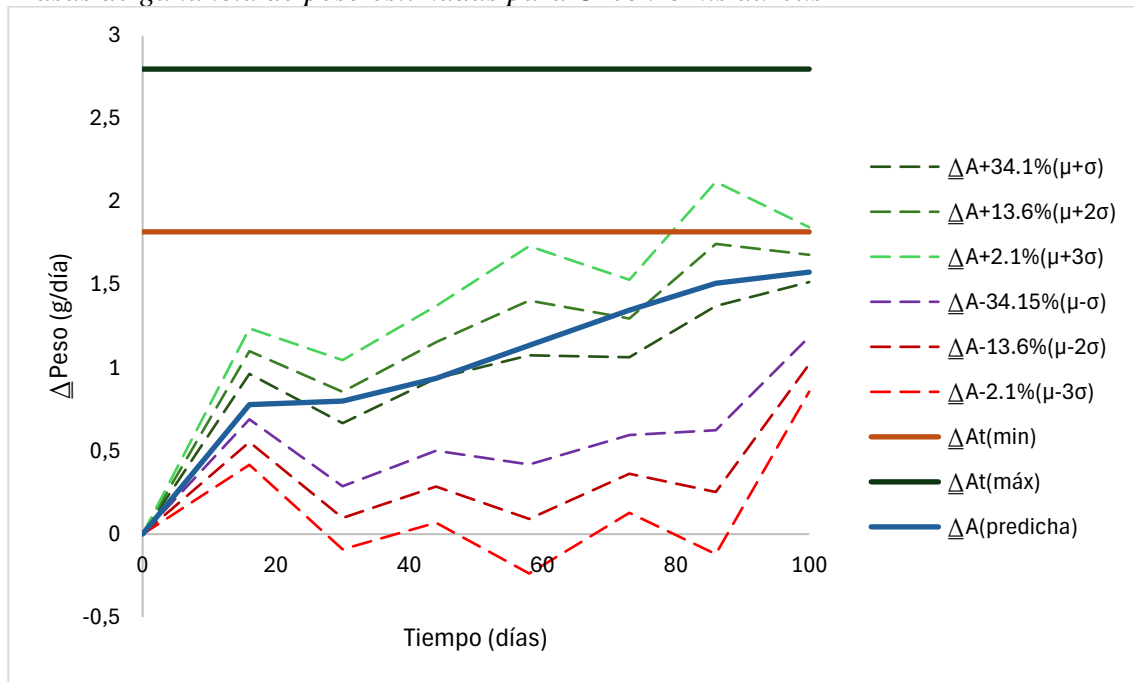


Nota: μ : Promedio. σ : Desviación típica. Predicho: Peso estimado según modelo (ver apéndice para *Oreochromis Aureus*. A: *Oreochromis Aureus* t: Valores teóricos esperados según tabla 13 (valores medios). Predicha P(t): Función de estimación, ver criterio en apéndice.

Mientras que se determinó que los intervalos de mayor crecimiento estuvieron entre los días 87 y 100, para ambas líneas genéticas, tal y como lo ilustran las figuras 30, 32 y 34; (el cambio de peso se puede entender como la derivada del peso respecto al tiempo).

Figura 33:

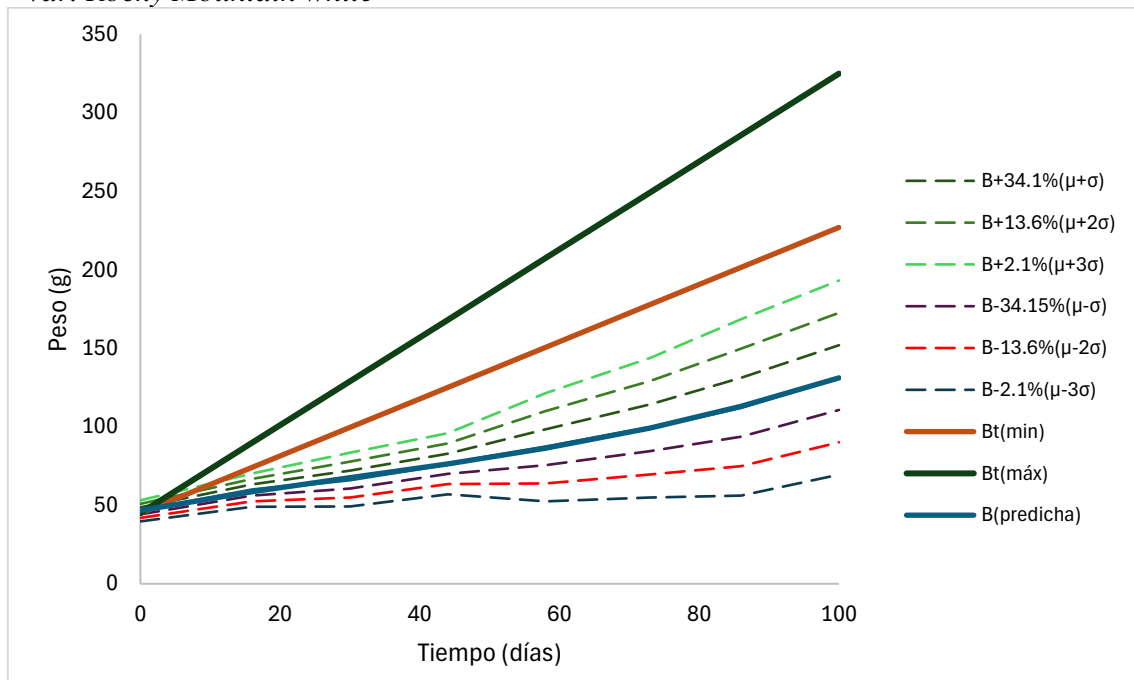
Tasas de ganancia de peso estimadas para Oreochromis aureus



Nota: μ : Promedio. σ : Desviación típica. Predicho: Peso estimado según modelo (ver apéndices para *Oreochromis Aureus*. A: *Oreochromis Aureus* t: Valores teóricos esperados según tabla 13 (valores medios). Predicha P(t): Función de estimación, ver criterio en apéndices.

Figura 34:

Curvas de crecimiento estimadas para Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain white

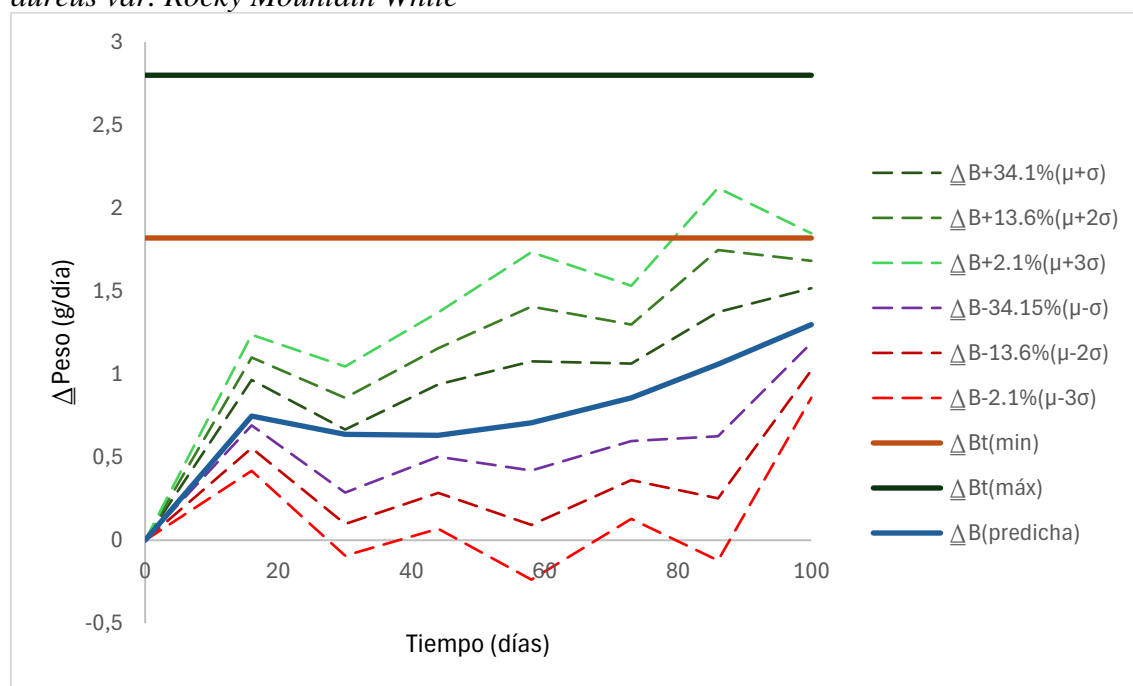


Nota: μ : Promedio. σ : Desviación típica. Predicho: Peso estimado según modelo (ver apéndices para *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain White*. B: *Oreochromis niloticus x*

Oreochromis aureus var. *Rocky Mountain White* t: Valores teóricos esperados según tabla 13 (valores medios).

Figura 35:

Tasas de ganancia de peso estimadas para *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*



Nota: μ : Promedio. σ : Desviación típica. Predicho: Peso estimado según modelo (ver apéndices para *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*. B: *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White* t: Valores teóricos esperados según tabla 13 (valores medios).

5.2.2 Incremento en longitud estándar, longitud de ancho y estimación del peso con dimensiones

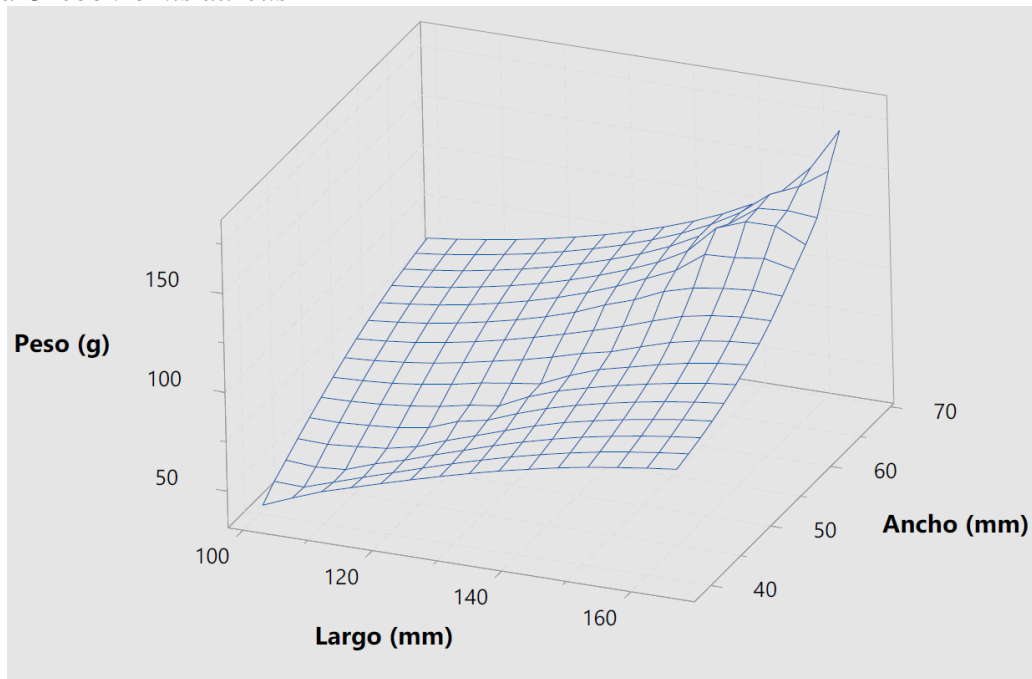
En cuanto a la longitud estándar, *Oreochromis aureus* creció en promedio 59.76mm; pasando de 96mm a 155.76 mm; mientras que *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White* lo hizo en 42.07mm, iniciando con una longitud inicial de 110.51 y finalizando con una longitud estándar de 152.61, sin diferencias significativas según el análisis de covarianza. Mientras que para el ancho estándar; *Oreochromis aureus* creció en promedio 24.82mm, pasando de 36.06mm a 60.88mm; y en el caso del híbrido *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White* lo hizo en 15.81mm, pasando de 40.78mm a 56.6mm, con una diferencia significativa según el análisis de covarianza, tal y como lo muestran las tablas 30 y 31 adjuntas los resultados. De acuerdo con Arce Vega (2014); y Pérez-Fuentes et al (2016), en cuanto al largo estándar, *Oreochromis aureus* creció muy poco, es decir, tan sólo 25mm respecto a los

cambios reportados por los autores Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) (19mm; 80.68mm y 120mm, respectivamente); ya que ejecutaron una fase de desarrollo por más tiempo. Mientras que para *Oreochromis niloticus* x *Ocreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*; Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón (2020) reportan un cambio medio de 10mm (1cm) en toda la fase de desarrollo (122 días).

Mientras que, para el ancho estándar, en el caso de *Ocreochromis aureus*; es un crecimiento muy similar al reportado por los 19mm de Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech (2016); pero dista bastante de los 90mm alcanzados en 122 días; citados por Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023); mientras que para el tratamiento *Oreochromis niloticus* x *Ocreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*; Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón (2020) reporta que a 105 días del ensayo, los peces alcanzaron un ancho de 40mm; lo cual es bastante similar de lo alcanzado por la línea mencionada en un intervalo de tiempo equivalente.

Figura 36:

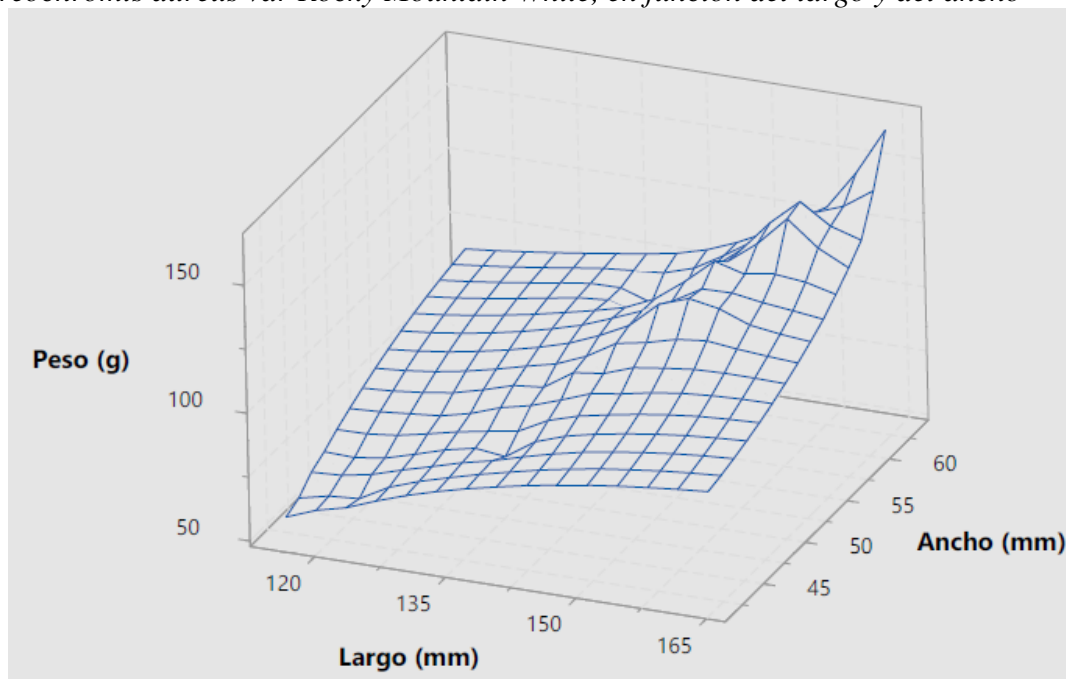
Superficie predictora de la ganancia de peso total media en función del largo y ancho para Oreochromis aureus



Nota: El criterio de regresión está dado por $P_f(l,a)=160.1238-0.7631l+6.8837a$; con $R^2=0.9817$, siendo este el que se ajusta al plano presentado; donde “l” es el largo en milímetros y “a” es el ancho, también en milímetros.

Figura 37:

Superficie predictora de la ganancia de peso total media para Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var Rocky Mountain White, en función del largo y del ancho



Nota: El criterio de regresión está dado por $P_f(l,a) = -190.6597 + 1.5751l + 1.3606a$; con $R^2 = 0.9444$, siendo este el que se ajusta al plano presentado; donde “l” es el largo en milímetros y “a” es el ancho, también en milímetros.

Estas diferencias de tallas y peso respecto a los autores, pueden deberse principalmente a una relación macho hembra de 7:3; presencia de nitritos al inicio del ensayo, y una temperatura inferior al rango de confort del género *Oreochromis*, y la experiencia sugiere que una iluminación insuficiente disminuye la actividad en cuanto a comportamiento, por tanto, disminuyen las tasas metabólicas debido a una alteración del ritmo circadiano por ampliación de fases oscuras, que disminuyen el crecimiento neto, lo cual se ve reflejado en unas dimensiones de largo y ancho promedio inferiores a las de los autores consultados.

Las figuras 36 y 37, predicen el peso en función del largo y del ancho estándar, en ambos casos se adjunta el criterio de predicción en la nota al pie, y teniendo una correlación superior al 90% para ambos tratamientos. Estas correlaciones son superiores a las reportadas en la figura 28, lo cual implica que las dimensiones de largo y ancho son mejores estimadores que el tiempo por sí solo y, por tanto, es posible predecir el peso a partir de las dimensiones.

En general, se concluye que en términos de largo las líneas genéticas evaluadas no son distintas realmente, sin embargo, *O. aureus* ganó 24.80 mm durante en el ensayo y el híbrido Rocky Mountain White 15.81mm; por lo que se concluye que las diferencias

significativas en peso están determinadas por un mayor crecimiento en ancho en *O.aureus*, lo cual es predecible con lo representado en las figuras 36 y 37.

5.2 Parámetros de eficiencia

5.2.1 Consumo de alimento (CON)

En cuanto al consumo de alimento fue en promedio igual a 1291,03g con una %BWD del 4,11% media de para *Oreochromis aureus*; mientras que para la línea genética *Oreochromis niloticus x Ocreocromis aureus var. Rocky Mountain White*; el consumo de alimento durante estos 100 días fue en promedio igual a 1119,14g con una %BWD promedio igual a 2,41%, sin ninguna diferencia significativa en ninguno de los casos., para rangos de peso entre los 31 y 145 gramos en ambos tratamientos, tal y como muestran las tablas 31 y 32.

Chacón Palma (2001) y Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón (2020) reportan consumos diarios de 5.5 y 3.5g día para el híbrido Rocky Mountain, lo cual dista mucho de los 1.5 a 2.27 gramos registrados por parte de la misma línea en el ensayo. En el Caso de *O. aureus*, Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) reporta un consumo total de 750 gramos en 122 días para un consumo diario de 6.14 gramos para pesos y tallas similares a las del ensayo, mientras que Chacón Palma (2001) indica que 4.9 g/día fue la tasa de alimentación diaria reportada para esta línea genética.

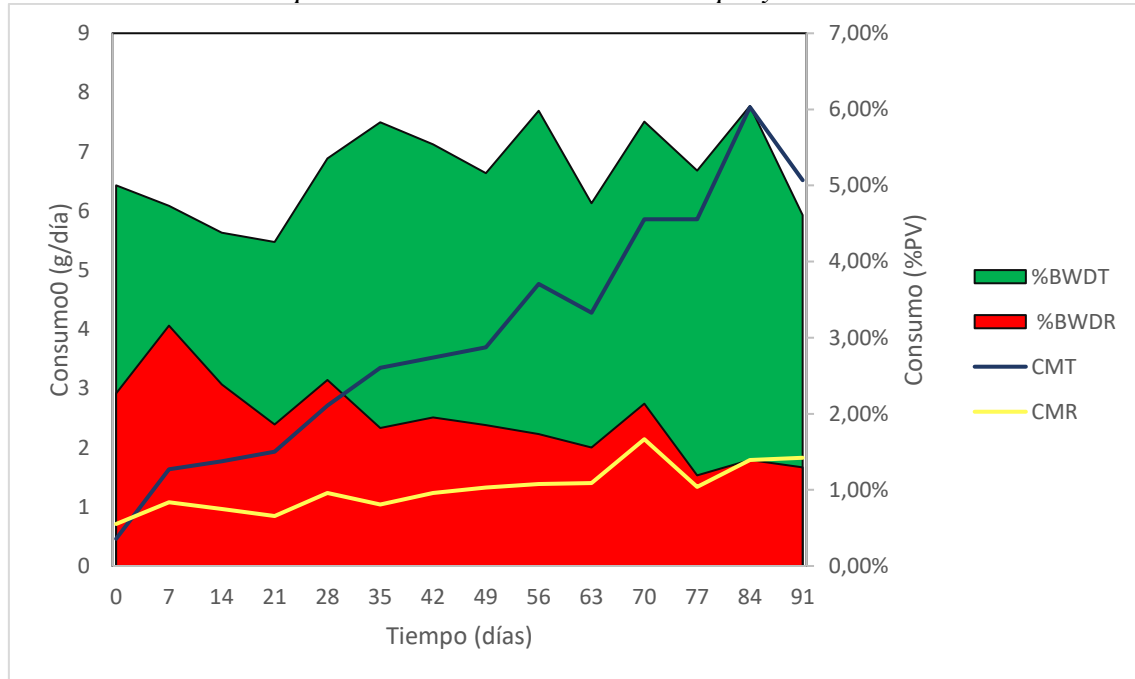
En cuanto a *O.aureus* alimento es menor a lo reportado por Chacón Palma (2001) y Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón (2020), se ve reafirmado al consultar la tabla de alimentación de la American Tilapia Association (ver en anexos, tabla 70) la cual indica que para el rango de peso observado, la %BWD empieza en 5% para un peso de 46 gramos y se reduce de forma específica hasta alcanzar el 3,6% cuando el peso sea de 140 gramos, siendo, en promedio 1 punto porcentual menos para *Oreochromis aureus* y entre 2 y 3 puntos porcentuales menos para el híbrido Rocky Mountain.

Estas diferencias de consumo de alimento respecto a la tabla de alimentación consultada pueden deberse principalmente a una relación macho hembra de 7:3. Esto último es crítico, debido a que la hembra incuba los huevos en la boca, y suspende el consumo para brindar protección a la progenie en incubación, como consecuencia existe un mayor desgaste de energía por concepto de actividades asociadas a la reproducción, mientras

que un ayuno prolongado disminuye el consumo de alimento neto. Otro factor que debe ser mencionado es la presencia de algas en el sistema recirculado, lo cual conduce a una menor ingesta de alimentos balanceados y consecuentemente; deriva en un porcentaje de desperdicio de alimento más alto, y aun aporte nutricional más bajo, sin embargo, este fenómeno debe estudiarse más a fondo.

Figura 38:

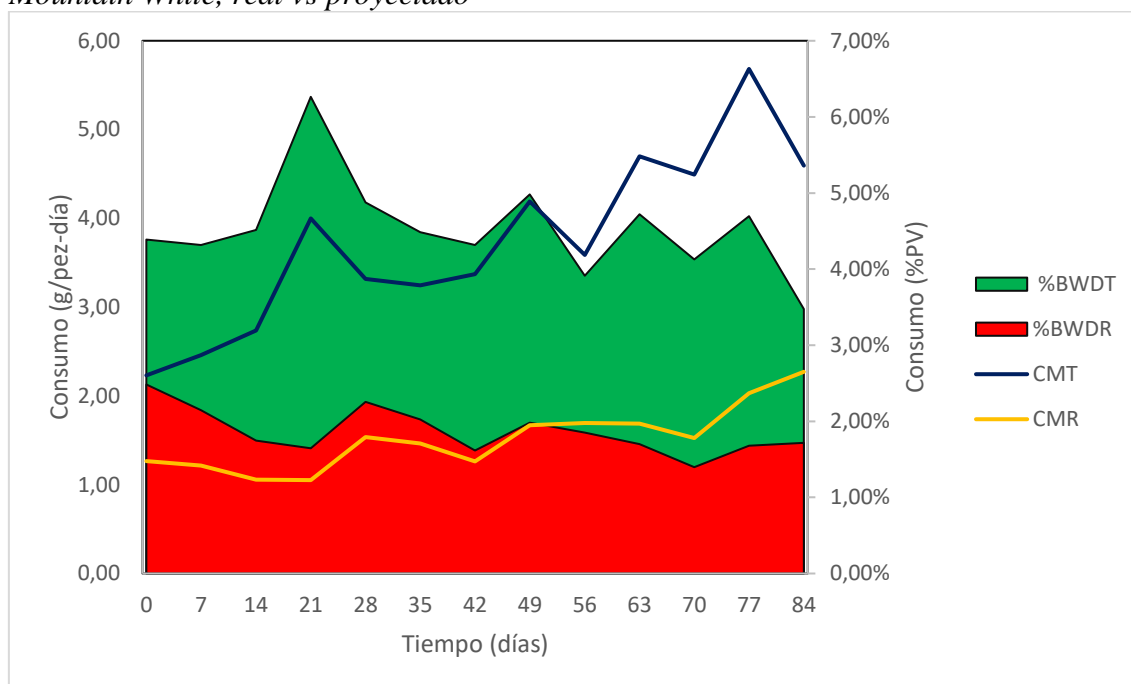
Consumo de alimento para Oreochromis Aureus real vs proyectado



Nota: CMT: consumo medio teórico. CMR: Consumo medio real. %BWDT: Porcentaje de consumo diario con relación al peso corporal teórico. %BWDR: Porcentaje de consumo diario con relación al peso corporal real. Los %BWD se leen en eje secundario y los consumos nominales se leen en el eje principal.

Figura 39:

Consumo de alimento para Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain White, real vs proyectado



Nota: CMT: consumo medio teórico. CMR: Consumo medio real. %BWDT: Porcentaje de consumo diario con relación al peso corporal teórico. %BWDR: Porcentaje de consumo diario con relación al peso corporal real. Los %BWD se leen en eje secundario y los consumos nominales se leen en el eje principal.

La presencia de nitritos al inicio del ensayo, y una temperatura inferior al rango de confort del género *Oreochromis*, y la experiencia de ensayo sugiere que una iluminación insuficiente disminuye la actividad en cuanto a comportamiento, por tanto, disminuyen las tasas metabólicas debido a una alteración del ritmo circadiano por extensión de fases oscuras, que disminuyen el consumo de alimento, lo cual se ve reflejado principalmente en una conducta animal menos activa y voraz. Nótese que las figuras 38 y 39 comparan el consumo de alimento real observado para cada línea genética estudiada, tanto en términos nominales (g/día) como en términos relativos (%PV/día) respecto a los consumos teóricos esperados, y en ambos casos, se puede observar que el consumo real fue mucho menor de lo esperado para ambos tratamientos. Esta información surgió del proceso de planificación, donde se determinó la cantidad de alimento requerida para correr el ensayo. Esta determinación surgió a partir de los pesos iniciales para cada tratamiento, y se modeló considerando tasas de crecimiento obtenidas por Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) y los consumos sugeridos por la Tabla ATA (ver tabla 70, en anexos). Pese a que no se recopiló información acerca del efecto de la luminosidad en el apetito, se tiene claro que Chacón Palma (2001) y Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) realizaron sus ensayos en

condiciones de exposición a luz solar directa, con temperaturas similares, mientras que, en el caso de este ensayo, se hizo bajo techo tipo Blackout que absorbe la luz solar. Estas diferencias entre el consumo esperado y el observado se atribuyen principalmente a esa diferencia de diseño estructural, ya que Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023) hicieron el ensayo exactamente en la misma ubicación geográfica, y obtuvieron mejores tasas de alimentación y crecimiento. En general, ambas líneas genéticas alcanzaron a consumir un 30% de lo esperado.

De las figuras 38 y 39 se concluye que, para que los polígonos rojos se desvíen menos de los verdes (en eje secundario), es decir, para corregir la tasa de alimentación en términos relativos al peso vivo y por lo tanto, las líneas amarillas disten menos de las azules, es decir, corregir las tasas de alimentación en gramos por día y obtener un consumo similar al de Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023), se puede considerar añadir una fuente de luz artificial, o bien realizar un cambio en el diseño del techo que permita la entrada de luz solar, tanto en términos de intensidad como de fotoperiodo, para promover un consumo más frecuente y una actividad metabólica con mejor conversión.

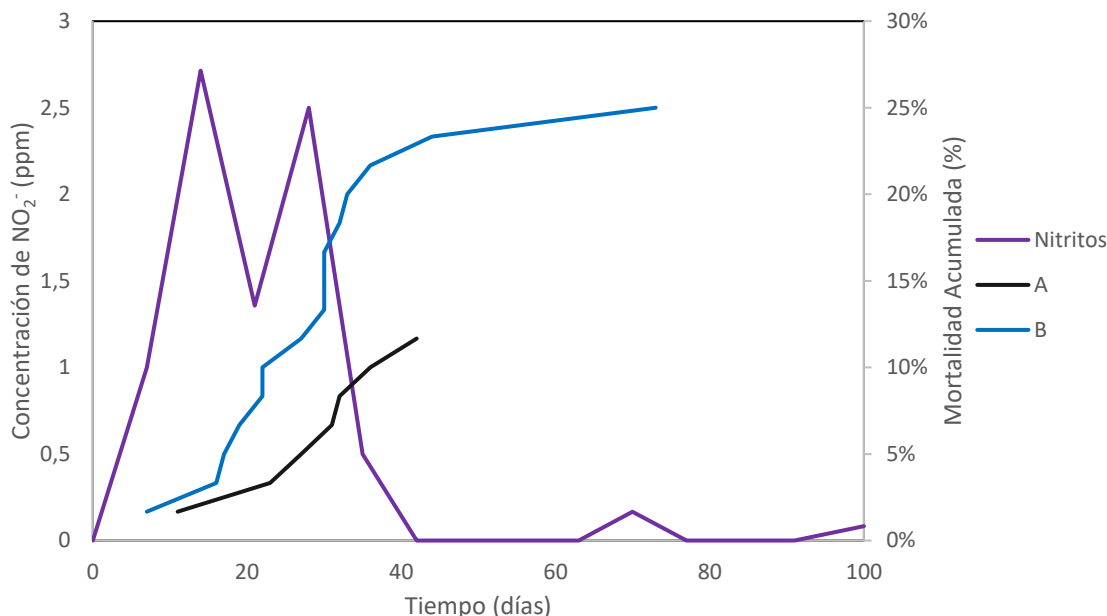
5.2.2 Mortalidad

La mortalidad presentada por la línea genética *Oreochromis aureus* durante los 100 días de ensayo es igual a 12%; mientras que *Oreochromis niloticus x Ocreochromis aureus var. Rocky Mountain White* duplica esta media con un 25%, mostrando una diferencia significativa ($p\text{-value}=0.046$), tal y como se muestra en la tabla 34 en el apartado de resultados.

Para la línea genética *Oreochromis aureus*, se esperaban valores de 3%; (Lin, Cui, Hung, & Shiau, 1997), 8.33% (Shiau & Peng, 1999), 1.5% (Chacón Palma, 2001), 8.4% (Pérez-Fuentes, Pérez-Rostro, Hernández-Vergara, Amaro-Espejo, & Huicab-Pech, 2016), sin embargo, la mortalidad fue mayor en 3.7% respecto al valor máximo esperado. Mientras que para el tratamiento *Oreochromis niloticus x Ocreochromis aureus var. Rocky Mountain White*, se esperaban mortalidades del 7% (Paz, 2004), 1.6% (Chacón Palma, 2001), 0.8% (Martínez-Meingüer, Castro-Mejía, Vázquez-Silva, & Castro-Castellón; 2020); siendo la presentada hasta un 23% mayor que el valor máximo esperado.

Figura 40:

Mortalidad y dinámica de los nitritos respecto al tiempo para ambos tratamientos



Nota: La mortalidad se lee en eje secundario y es un porcentaje. A: *Oreochromis aureus*. B: *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis áureus* var. *Rocky Mountain White*.

La mortalidad presentada, se dio entre los días 11 y 42, para la línea *Oreochromis aureus*, mientras que para la otra línea, se dio entre los días 7 y 73; en ambos casos, la mayoría de la mortalidad presentada se puede asociar directamente con la prevalencia de nitritos en el medio, tal y como lo ilustra la figura 40; además de estrés por frío, que si bien no es causante directo de mortalidad, puede serlo de morbilidad, lo cual debilita a los especímenes y les impide tolerar los nitritos, siendo el híbrido *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White* más susceptible a la exposición, siendo esta la principal causa de la mortalidad, e identificando la tolerancia de las especies evaluadas como la causa de variación de mortalidad.

Por tanto, se concluye que los compuestos nitrogenados más letales son los nitritos, y que *O.aureus* es menos propensa a la mortalidad por intoxicación y exposición prologada a nitritos que el híbrido Rocky; y para evitar estas mortalidades, se recomienda esperar al menos; 34 días después de finalizada la puesta en marcha del sistema RAS para aumentar la supervivencia en ambos tratamientos.

5.2.3 Tasa específica de crecimiento

La tasa específica de crecimiento (SGR) fue en promedio igual a 1.52 $\Delta\%$ PV/día para *Oreochromis aureus* mientras que para la línea *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis*

aureus var. *Rocky Mountain White* fue en promedio igual a $1.03\Delta\%PV/\text{día}$, con una diferencia significativa ($p\text{-value}=0.000$). tal y como se especifica en la tabla 35 en la sección de resultados.

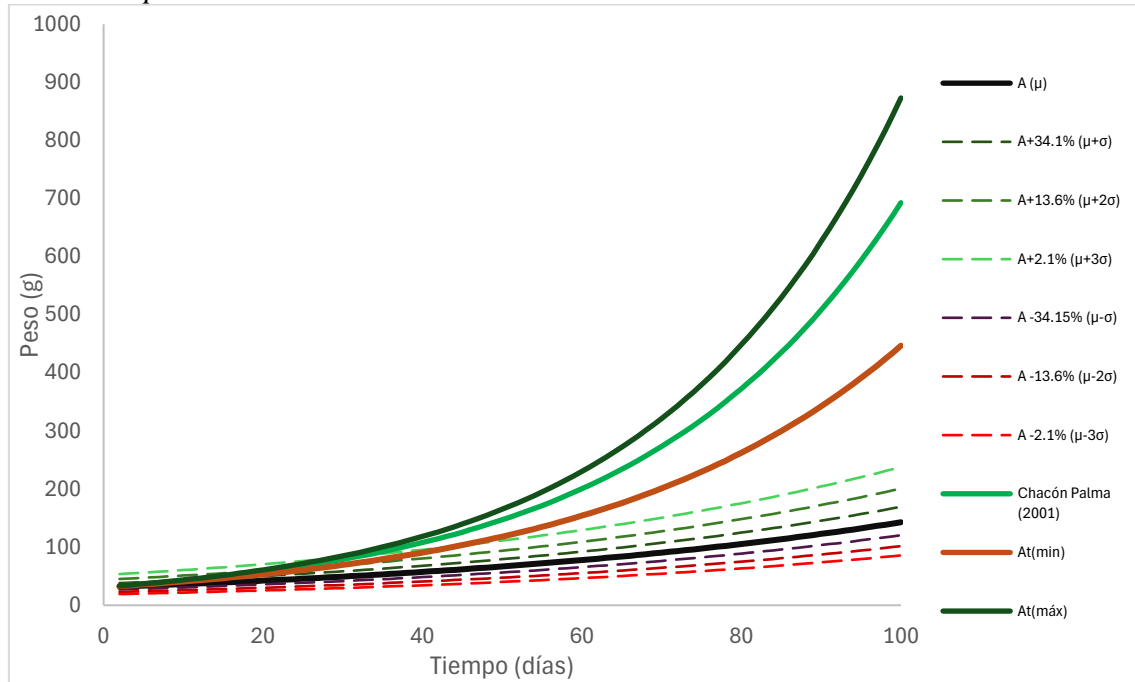
Estos valores difieren en al menos 2% respecto a lo reportado por Chacón Palma (2001) y Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz (2023), para ambos tratamientos. Las figuras 37 y 38 muestran las diferencias entre los pesos obtenidos por Chacón Palma (2001) y los observados, utilizando la tasa específica de crecimiento como predictor del peso en función del tiempo.

El hecho anterior se reafirma con la tabla ATA (Tabla 70, ver anexos); que indica que la tasa específica de crecimiento en pesos comprendidos entre los 46g y los 140g debería ser cercana a $3.6 \Delta\%PV/\text{día}$ y $2.4 \Delta\%PV/\text{día}$, que difieren entre 1.5 y 2 puntos porcentuales durante la fase experimental para ambos tratamientos.

Estas diferencias en la tasa específica de crecimiento (SGR) respecto a los autores, pueden deberse principalmente a una relación macho hembra de 7:3; presencia de nitritos al inicio del ensayo, y una temperatura inferior al rango de confort del género *Oreochromis*, y la experiencia sugiere que una iluminación insuficiente disminuye la actividad en cuanto a comportamiento, por tanto, disminuyen las tasas metabólicas debido a una alteración del ritmo circadiano por extensión de las fases oscuras, que disminuyen el crecimiento neto, lo cual se ve reflejado en un ritmo de crecimiento más lento.

Figura 41:

*Predicción del peso respecto al tiempo con la tasa específica de crecimiento global como estimador para *Oreochromis aureus**



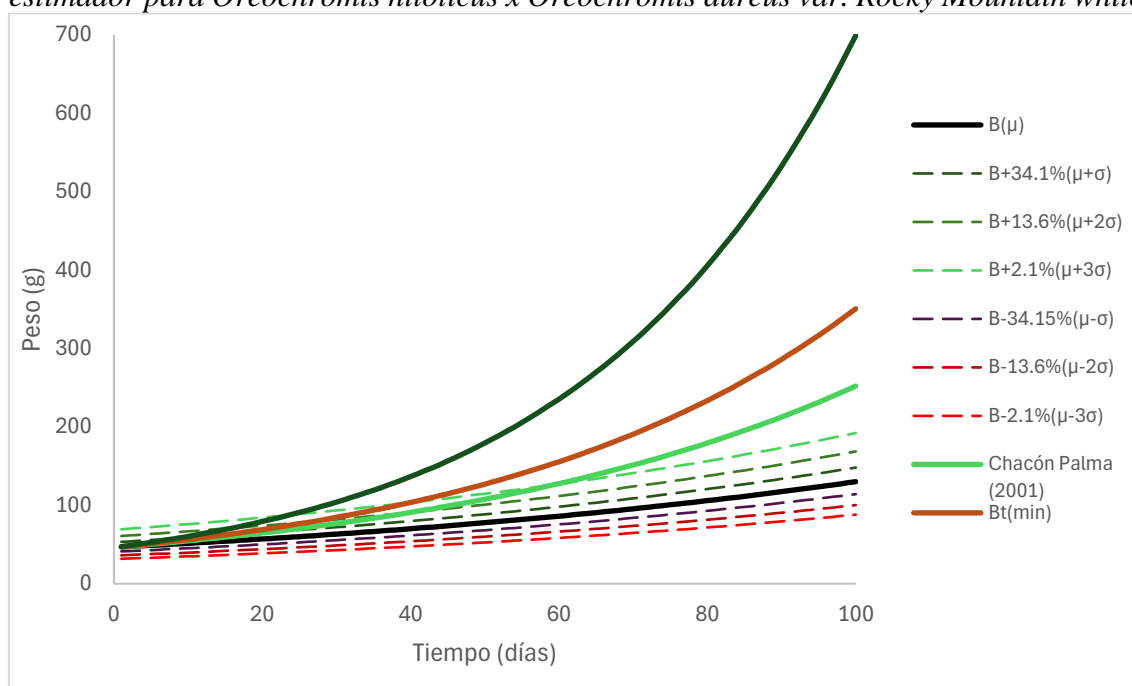
Nota: SGR de Chacón Palma es igual a 3.9%. μ : Es el peso promedio (según el promedio de SGR) y σ : Es la desviación típica de la SGR que se utiliza para modelar el peso en función del tiempo. A: *Oreochromis aureus* t: Valores teóricos esperados según tabla 18 (valores medios).

La diferencia entre el peso obtenido por Chacón Palma (2001) para el tratamiento ilustrado en la figura 41 refleja una diferencia de 532 gramos, de lo cual se deduce que existe un retraso en el crecimiento para la línea *Oreochromis aureus*. El mismo fenómeno se observa en la figura 42, donde la diferencia entre el peso obtenido por el mismo autor respecto al observado en el ensayo es de 117 gramos, lo cual conduce a deducir que para la línea *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*, también existe un retraso en el crecimiento.

Por tanto, se concluye que ambas especies van retrasadas en crecimiento, ya que crecen más lento de lo esperado para un animal sano en condiciones de luz, y que en estas condiciones de crianza en sombra; *O.aureus* crece específicamente un 0.49% más que el híbrido Rocky Mountain.

Figura 42:

Predicción del peso respecto al tiempo con la tasa específica de crecimiento global como estimador para Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain white



Nota: SGR de Chacón Palma es igual a 3.1%. μ : Es el peso promedio (según el promedio de SGR) y σ : Es la desviación típica de la SGR que se utiliza para modelar el peso en función del tiempo. A: *Oreochromis Aureus* t: Valores teóricos esperados según tabla 18 (valores medios).

5.2.4 Factor de conversión alimenticia (FCR)

El factor de conversión alimenticia para *Oreochromis aureus* tuvo una media de 1.31, mientras que para la línea *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain White*, dicha media fue de 1.81, con una diferencia significativa (p -value=0.0039), tal y como se indica en la tabla 36.

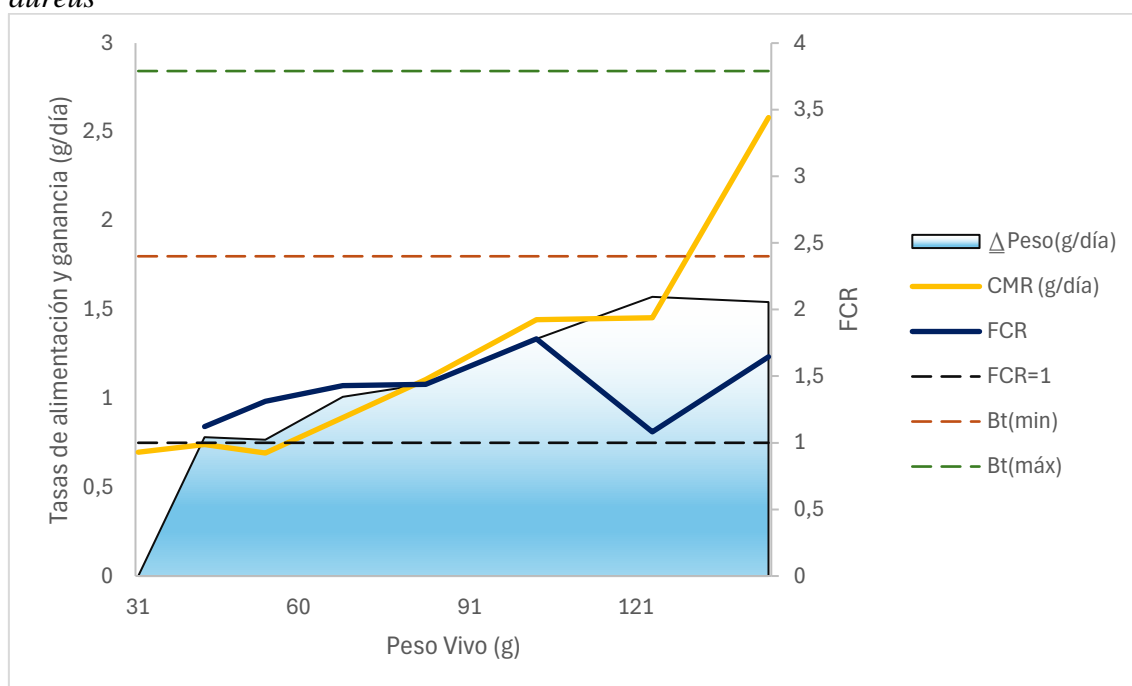
En cuanto a los valores consultados para *Oreochromis aureus* de 1.8 (Paz, 2004), 1.6 (Chacón Palma, 2001) y 1.25 (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023), se entiende que la conversión de alimentos es mejor que las reportadas por los 2 primeros e igual a la reportada por la última; el valor observado de 1.31 es mejor que el mínimo reportado como esperado en la tabla 19 (FCR=2.40) en casi 1.09; lo que implica que durante el experimento *O.aureus* debía ingerir 1.09 gramos menos de lo mínimo esperado para crecer un gramo.

Mientras que para la línea *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain White*, los valores consultados fueron de 1.54 (Shiau & Peng, 1993), 1.4 (Hernández-Barraza, Trejo-Martínez, Loredó-Osti, & Gutiérrez-Salazar, 2016) y 1.8 (Chacón Palma, 2001), con una media esperada de mínima de 1.12 y una máxima de 2.09;

por lo que la conversión alimenticia observada para esta línea se ubica dentro de los rangos esperados.

Las figuras 43 y 44, permiten visualizar la conversión alimenticia respecto al peso total, cumpliéndose a su vez a mayor tasa de ganancia de menor es el factor de conversión alimenticia.

Figura 43:
Comportamiento del FCR según las tasas de alimentación y ganancia para *Oreochromis aureus*



Nota: CMR: Es consumo medio observado en g/día. ΔPeso: es la ganancia diaria de peso en g/día. FCR: es el factor de conversión alimenticia.

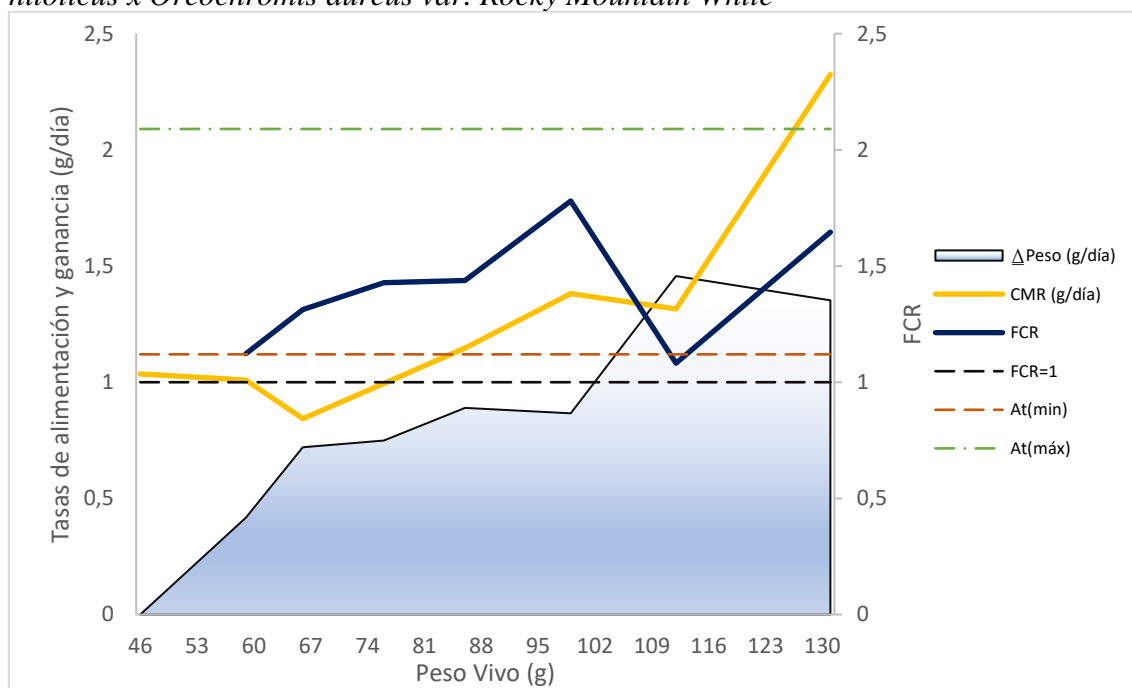
En cuanto a la línea de *O. aureus*; se estimó que, en promedio, para una ganancia neta de peso (promedio) de 114 gramos, en 100 días, con un una relación de conversión de 1.31, mientras que en cuanto al híbrido Rocky Mountain White, se determinó que en promedio, para una ganancia neta de peso (promedio) de 84.9 gramos, durante 100 días y relación de conversión de 1.81. Esto resulta un distante de lo que se ilustra en las figuras 36 y 37, que hacen referencia a un déficit en el consumo de alimento; y a las figuras 39, 40, que permiten visualizar un consumo invariante respecto al tiempo, es decir, la tasa de alimentación al inicio del ensayo no dista mucho de la tasa al final de este.

Integrando con la información de la tabla 35, un FCR promedio de 1.31 para *O. aureus* y de 1.81 para el híbrido Rocky Mountain White, implica que, aunque hay una conversión de alimentos cercana al 1, la ingesta de estos es reducida y, por tanto, las tasas de

ganancias son bajas, lo que justifica el retraso en el crecimiento respecto a Chacón Palma (2001) mostrados en las figuras 37 y 38.

Figura 44:

Comportamiento del FCR según las tasas de alimentación y ganancia para Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain White



Nota: CMR: Es consumo medio observado en g/día. ΔPeso: es la ganancia diaria de peso en g/día. FCR: es el factor de conversión alimenticia.

Este fenómeno, tal y como se indicó anteriormente, está causado principalmente por una menor actividad metabólica, que reduce la actividad animal y el consumo, ya que, al estar en condiciones de iluminación insuficiente durante el día, los ritmos circadianos ralentizan el metabolismo. Por lo que se sugiere entonces, que para aumentar la ingesta y esperar crecimientos más rápidos manteniendo la relación de conversión de alimentos, es menester entonces, proveer el módulo con una fuente de luz suficiente, lo cual se puede solucionar con la implementación de iluminación artificial a 2000 lux/m² (El Sayed & Kawanna, 2004); o bien, mediante la construcción de sistemas de tragaluz en el techo o su sustitución total por una lámina de HDPE transparente. Por lo tanto; se concluye que *O.aureus* requiere menos alimento para crecer que el híbrido Rocky; y, además, como se concluyó en el apartado de incremento de largo y ancho, la conversión de alimentos se dirige más hacia el ancho en *O. aureus*.

5.2.5 Coeficiente térmico de crecimiento (CTC)

Para la línea *Oreochromis aureus*, en la tabla 37 se indica que, la media del parámetro resultó igual a 1.04 ($\times 10^{-3}$), mientras que para la línea *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White* fue de 0.71 ($\times 10^{-3}$), con una diferencia significativa (p-value = 0.003).

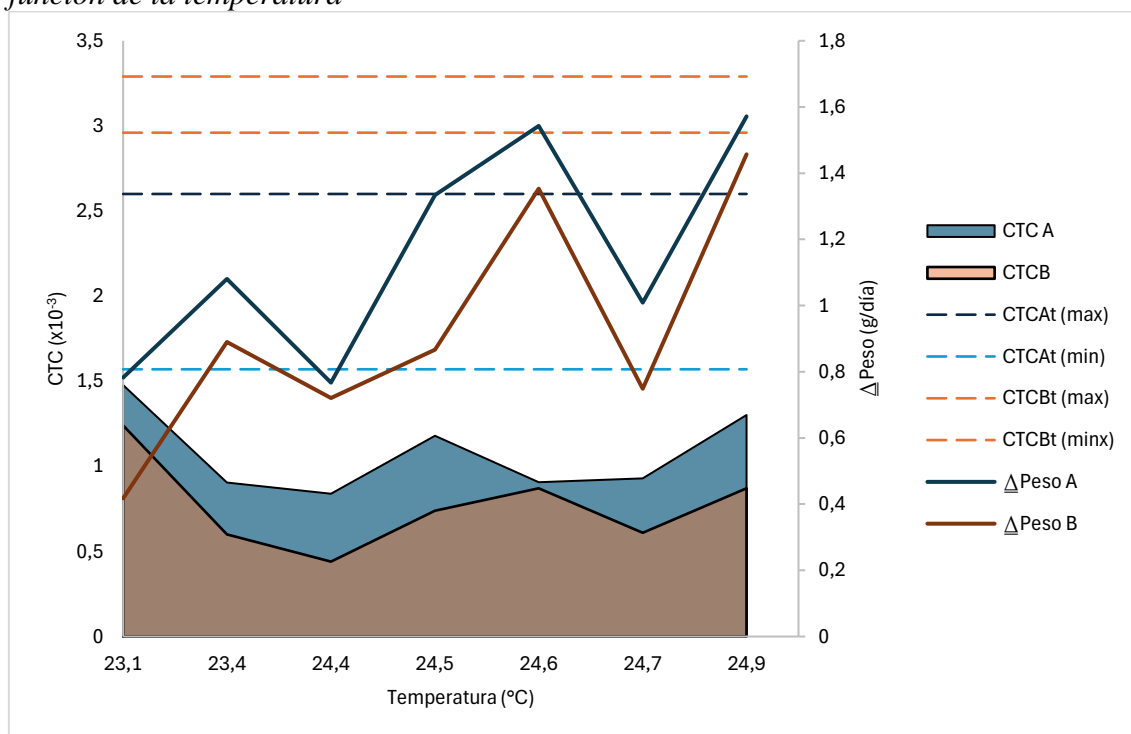
Los coeficientes consultados para ambas líneas oscilan entre 0,99-2,36 ($\times 10^{-3}$), (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023), y 2.49-3.45($\times 10^{-3}$) (Arce Vega, 2014), por lo que el valor está dentro de lo esperado, pero más lejano del extremo inferior en caso del primer autor, y completamente fuera de los extremos para el segundo, tal y como se indica en la figura 45.

La comparación de los valores de coeficiente térmico de crecimiento (CTC) para la línea *O. aureus* obtenidos por Mariluz Fernández (2019), con un rango entre 0.0848 y 0.0916, y por Arce Vega (2014), con rangos de 0.00209 a 0.00345 y de 0.00207 a 0.00381, revela una variabilidad considerable en el crecimiento térmico dentro de esta especie. Estos hallazgos contrastan con los datos presentados en la tabla 37, donde se muestra que la media del CTC para *O. aureus* fue de 1.04 ($\times 10^{-3}$), mientras que para la línea *Oreochromis niloticus* x *O. aureus* var. *Rocky Mountain White* fue de 0.71 ($\times 10^{-3}$), evidenciando una diferencia significativa (p-value = 0.003).

Las diferencias observadas del CTC, respecto a los autores, pueden deberse principalmente a una relación macho hembra de 7:3; presencia de nitritos al inicio del ensayo, y una temperatura inferior al rango de confort del género *Oreochromis*, y la experiencia sugiere que una iluminación insuficiente disminuye la actividad en cuanto a comportamiento, por tanto, disminuyen las tasas metabólicas debido a un ritmo circadiano más lento y típico de fases oscuras, que disminuyen el crecimiento neto, lo cual se ve reflejado en un ritmo de crecimiento más lento, siendo la principal fuente de variación del parámetro, la línea genética debido a la existencia de diferencias significativas encontradas basado en la evidencia recopilada.

Figura 45:

Comportamiento del CTC y la tasa de ganancia diaria para ambos tratamientos en función de la temperatura



Nota: A: *Oreochromis aureus*, B: *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*. CTC B=CTC=3.09 (x10⁻³) (Chacón Palma, 2001).

En la figura 45 se observa la diferencia entre los valores observados y los presentados por como esperados en la tabla 20; los cuales no son muy distintos entre sí, sin embargo, se refleja nuevamente la diferencia significativa que existe entre ambos tratamientos. En general, *O. aureus* tuvo un CTC mayor durante todo el ensayo y a casi todas las temperaturas presentadas; en general, *O. aureus* presenta un mejor CTC a temperaturas más bajas y más altas que el híbrido Rocky Mountain; lo cual se ve reforzado porque la tasa de cambio del peso respecto al tiempo es mayor en todos los intervalos de temperatura.

En el marco teórico, tabla 20; se indica que el híbrido Rocky Mountain White es muy popular por su tolerancia a temperaturas más bajas respecto a otras líneas; sin embargo, la evidencia muestra un mejor desempeño para *O. aureus* que, para el híbrido, tanto en términos de coeficiente térmico de crecimiento como en términos de tasas de ganancia a diferentes temperaturas; por lo que no hay razón para tomar como verdadero lo planteado en el marco teórico.

5.3 Parámetros de rendimiento

5.3.1 Índice viscerosomático

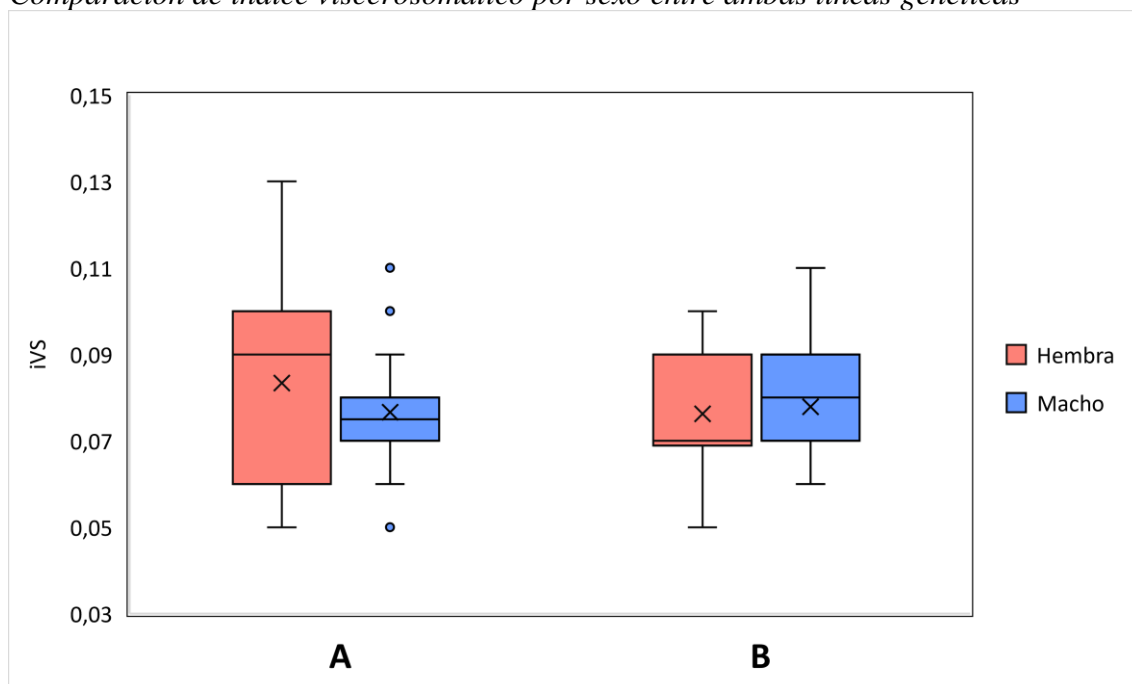
El índice viscerosomático fue en promedio igual a 0.08 para *O. aureus* y el híbrido Rocky Mountain White, sin ninguna diferencia significativa entre las líneas genéticas evaluadas, tal y como lo indica la tabla 37.

El índice viscerosomático fue menor a lo reportado en la tabla 21; los cuales fueron de 11.27-12.18% (Torres Castillo, 2019); 16.21-17.44% (Durigon, y otros, 2020); 8-9% (Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, & Herrera-Muñoz, 2023); mientras que la relación cabeza cuerpo es exactamente a igual al 21%, 18.43% y 19% reportando por los mismos autores, para ambos tratamientos.

El índice viscerosomático, con un promedio de 0.08 para *O. aureus* y el híbrido Rocky Mountain White, no mostró diferencias significativas entre las líneas genéticas, según lo indicado en la tabla 37. Sin embargo, estos valores son considerablemente más bajos en comparación con los reportados en la tabla 21, donde se registraron porcentajes de 11.27-12.18% (Torres Castillo, 2019), y 16.21-17.44% (Durigon et al., 2020) con un valor mínimo esperado de 0.1182, es decir; 0.03 menos que el mínimo.

Figura 46:

Comparación de índice viscerosomático por sexo entre ambas líneas genéticas

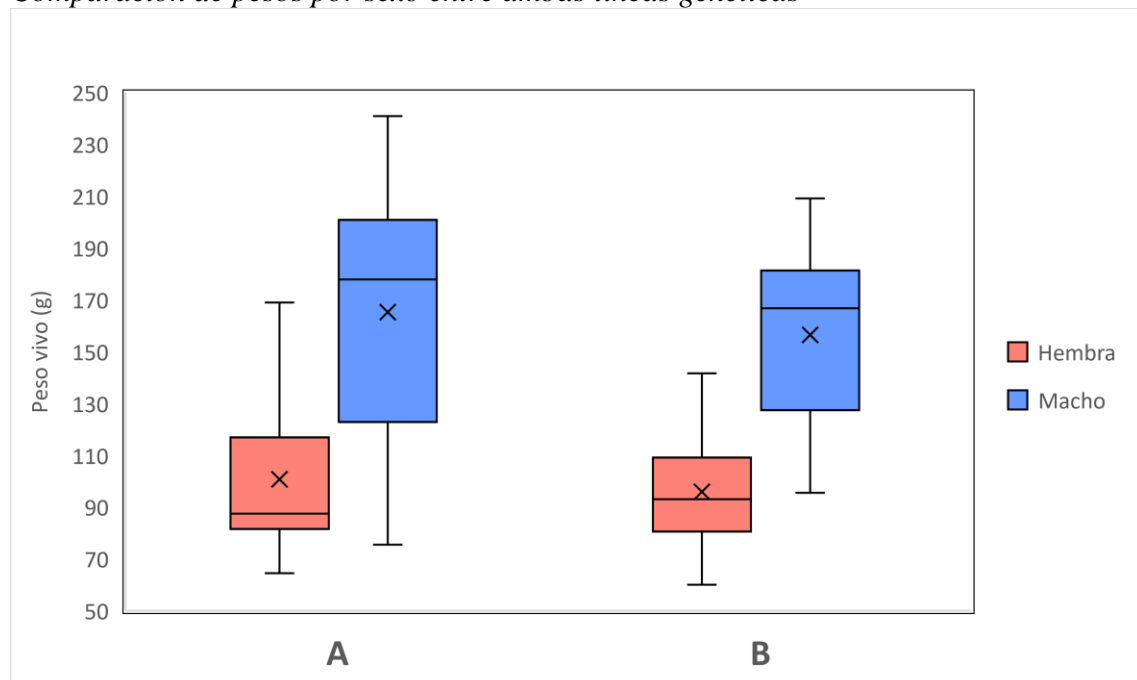


Nota: A: Es *Oreochromis aureus*. B: es *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. Rocky Mountain White.

Esto en este caso, varía principalmente por la edad del espécimen, al ser animales jóvenes, aún no desarrollan músculo dorsal, grasa abdominal en ninguno de las dos líneas genéticas evaluadas. La figura 46 indica que el sexo es una causa de variación importante de la proporción entre las vísceras y el cuerpo, principalmente en *O. aureus*. Esto se debe a una frecuencia de incubación bucal observada mayor en esta línea en el momento del sacrificio, y a una diferencia de pesos y tallas más altas entre hembras, macho y tratamientos, tal y como indican las figuras 29 y 30 en el apartado de ganancia de peso total en este capítulo y la figura 46 adjunta. En ambos casos, aunque no hubo una diferencia significativa, un valor de 0.08 para el índice viscerosomático indica que es menor a los esperado y también, entre tratamientos la variación se debe principalmente al sexo y su etología, peso y talla. Este menor peso vivo implica igual *ivs* para ambos tratamientos y por tanto se desaconseja el uso de hembras para fines de explotación.

Figura 47:

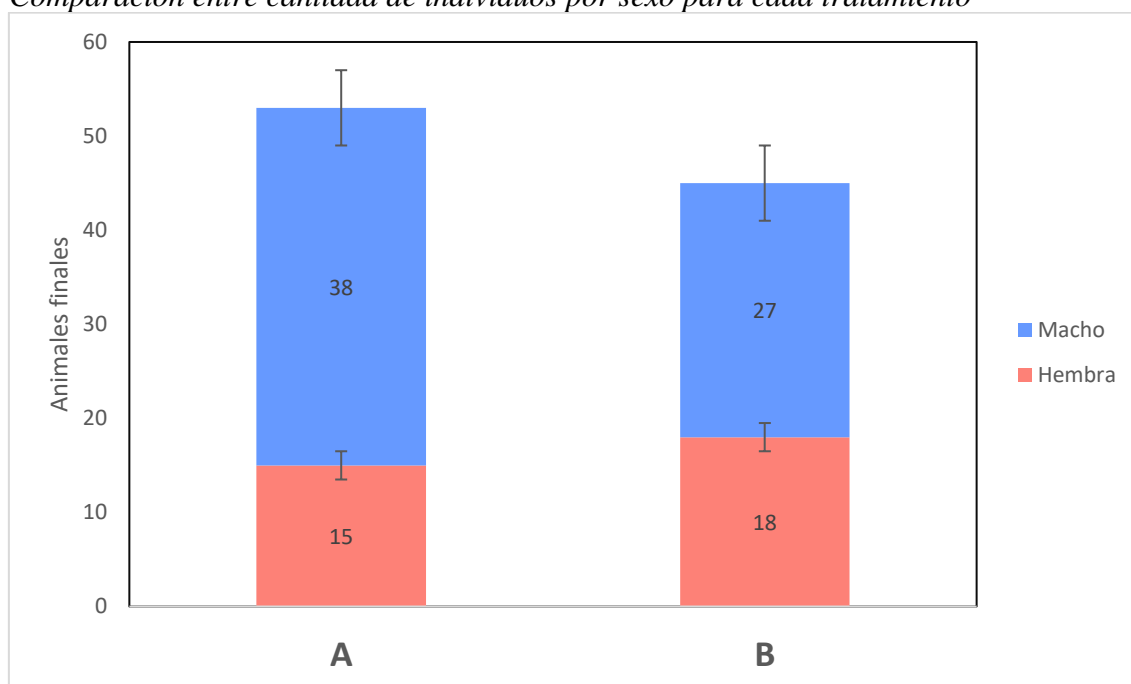
Comparación de pesos por sexo entre ambas líneas genéticas



Nota: A: Es *Oreochromis aureus*. B: es *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*.

Figura 48:

Comparación entre cantidad de individuos por sexo para cada tratamiento



Nota: A: Es *Oreochromis aureus*. B: es *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*. La proporción Macho:Hembra es de 7:3 ($p=0.247$) sin diferencia entre tratamientos ($p=0.155$).

5.3.2 Relación cabeza cuerpo

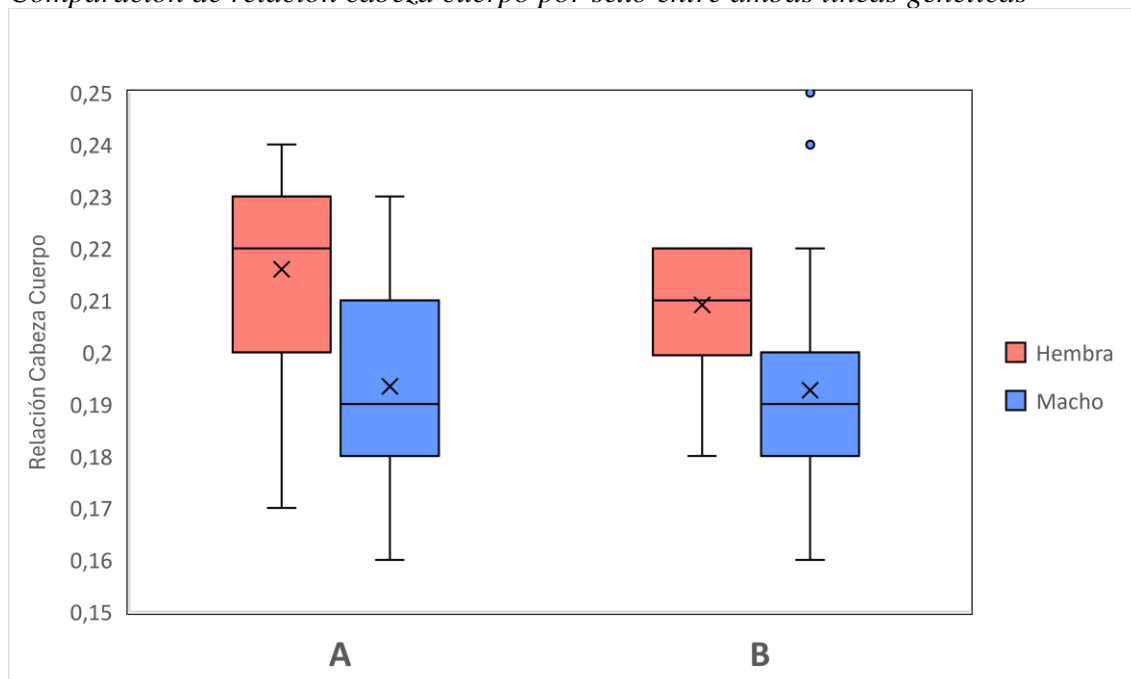
El análisis de la relación cabeza-cuerpo durante 100 días en dos especies de tilapia, *Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*, mostró que no hay diferencias significativas entre ellas, como se evidencia en la tabla 39. Los valores medios obtenidos fueron de 0.2 ± 0.01 para ambas especies, con un valor de p de 0.9591, indicando que cualquier discrepancia observada podría ser atribuible al azar y carece de relevancia estadística.

La comparación entre los datos teóricos y los datos reales de la relación cabeza-cuerpo para *O. aureus* revela una discrepancia no tan trivial. Según Diodatti, Tadeu, y Freato (2008), se esperaría un valor de alrededor del 17.5%, mientras que Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, y Herrera-Muñoz (2023) reportan un rango entre 19% y 20%, más semejante a lo observado. Sin embargo, los datos reales obtenidos muestran un valor medio de 0.2 ± 0.01 , (20 ± 1)%, lo cual es igual a lo observado en el híbrido Rocky.

Según los estudios de Torres Castillo (2019) y Durigon et al. (2020), se esperaría un rango de valores entre 11.27% y 21%, y entre 16.21% y 18.43%, respectivamente. Por otro lado, Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, y Herrera-Muñoz (2023) reportan un rango teórico entre 8% y 19%. Sin embargo, los datos reales obtenidos muestran un valor medio de 0.2 ± 0.01 , significativamente menor que los valores teóricos esperados.

Figura 49:

Comparación de relación cabeza cuerpo por sexo entre ambas líneas genéticas



Nota: A: Es *Oreochromis aureus*. B: es *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus* var. Rocky Mountain White.

La figura 49 indica un comportamiento de proporción entre la cabeza y el peso vivo final casi idéntico para ambas líneas genéticas, donde las hembras tiene un mayor peso de cabeza respecto al cuerpo que los machos. La razón por la cual la figura 49 muestra un rango de valores más amplio en el tratamiento A, es porque tal y como lo ilustra la figura 48, los especímenes de *O. aureus* eran más pesados y grandes que los del híbrido Rocky al momento del sacrificio, sin embargo, se entiende que la línea genética no es un factor que genere una diferencia en cuanto a la relación cabeza cuerpo, como sí lo puede ser el sexo. Es importante aclarar que los valores observados coinciden con Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, y Herrera-Muñoz (2023) debido a que realizaron el sacrificio teniendo pesos iniciales similares a los observados 20 días más de crianza, lo cual justifica la diferencia respecto a Diodatti, Tadeu, y Freato (2008), que realizaron el sacrificio en tallas comerciales (sobre los 800 gramos).

Rendimiento en canal

Cómo se observa en la tabla 40, los valores obtenidos para el rendimiento en canal de tilapia, según la línea genética, durante un período de 100 días, fueron de 0.69 ± 0.01 (69 ± 1)% para *Oreochromis aureus* y 0.68 ± 0.03 (68 ± 3)% para *Oreochromis niloticus x*

Oreochromis aureus var. *Rocky Mountain White*, con un valor de p de 0.6179. Estos resultados indican que no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento en canal entre las dos líneas genéticas evaluadas durante el período de estudio.

La comparación entre los datos teóricos y los datos reales del rendimiento en canal para el híbrido de tilapia Rocky Mountain revela una discrepancia notable. Según los estudios de Diodatti, Tadeu, y Freato (2008), se esperaría un rango de rendimiento entre el 60% y el 70%, mientras que Salazar-Murillo, Chacón-Villalobos, y Herrera-Muñoz (2023) reportan un rango entre el 65% y el 72.20%. Sin embargo, los datos reales obtenidos muestran un rendimiento en canal de $(68\pm 3)\%$, que se encuentra dentro del rango teórico pero ligeramente por debajo del valor teórico máximo.

La comparación entre los valores referenciados y los datos reales del rendimiento en canal para *Oreochromis aureus* revela una consistencia notoria. Según los estudios de Torres Castillo (2019) y Durigon et al. (2020), se esperaría un rendimiento en canal entre el 65% y el 72.20%. Los datos reales obtenidos de $(69\pm 1)\%$ se encuentran dentro de este rango teórico y muestran una excelente concordancia con las expectativas establecidas en la literatura científica.

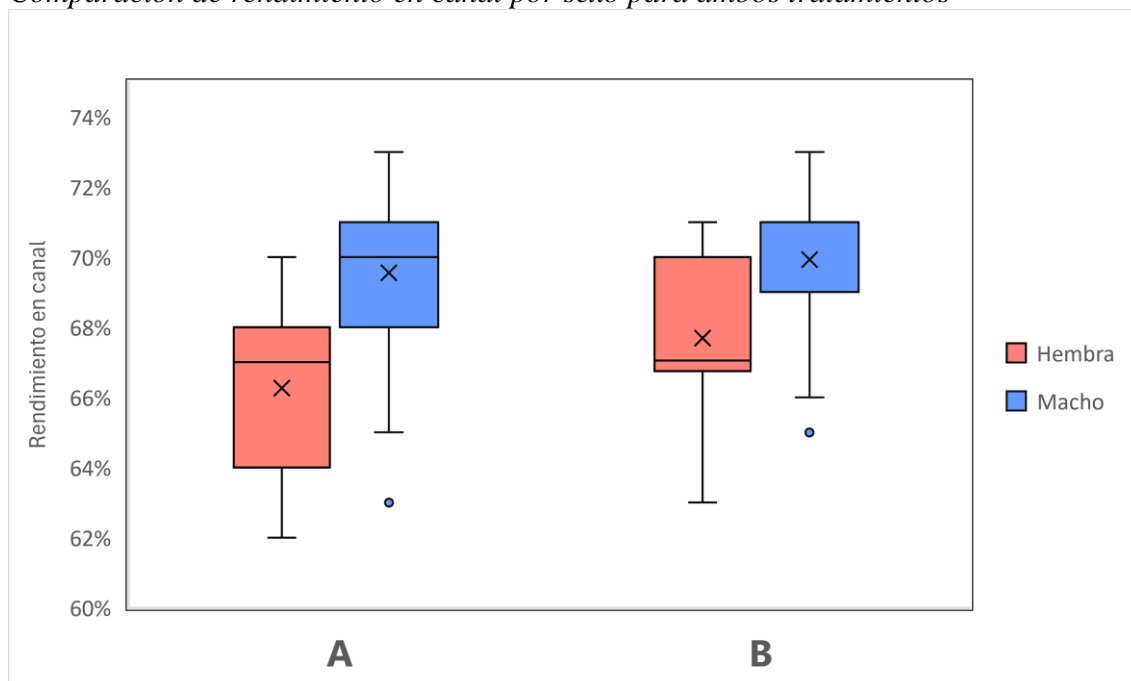
En general, se identifica el sexo como principal fuente de variación en el rendimiento en canal, más allá del tratamiento, ya que según la figura 50, el rendimiento en canal para para ambos tratamientos tienen el mismo comportamiento en función del sexo, es decir; independientemente del sexo las hembras tienen un rendimiento medio del 66% y los machos del 70%, esta diferencia entre sexos se debe a un índice viscerosomático igual en macho y hembras (ver figura 47), una mayor relación cabeza cuerpo en hembras (ver figura 49) ya un peso mayor en machos (ver figura 47), lo que deriva en un menor rendimiento en canal para las hembras tal y como muestra en la figura 50.

Por lo que una proporción de hembras más alta y una relación macho hembra más baja es el factor que más incide en el rendimiento en canal. Las pruebas binomiales de mayor verosimilitud indican que la relación macho hembra es de 7:3; y las de distancia de Fisher (χ^2) indican que la proporción es la misma para ambas líneas; mientras que un protocolo de reversión sexual con 17- α -metil-testosterona adecuado tiene como estándar una relación macho hembra de 19:1 (95% machos; 5% hembras) (Montoya Toapanta, 2013); es decir, hay un 25% más de hembras de las ofrecidas por el proveedor (INCOPECSA). Que la proporción sea la misma para ambas líneas es un indicio que una menor relación macho: hembra no es producto de la casualidad y da por entendido que es una falla

sistemática en la aplicación del protocolo de reversión sexual con 17- α -metil-testosterona por parte del proveedor.

Figura 50:

Comparación de rendimiento en canal por sexo para ambos tratamientos



Nota: A: Es *Oreochromis aureus*. B: es *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*.

De lo anterior se concluye que las hembras tienen un rendimiento en canal menor que los machos indistintamente de la línea genética, debido a que tienen un cuerpo más pequeño, y la reproducción implica un aumento en el índice viscerosomático y un menor crecimiento, y, por lo tanto, un menor rendimiento, siendo el sexo el principal factor que incide en el rendimiento y se desaconseja la cría de hembras, indistintamente de la especie.

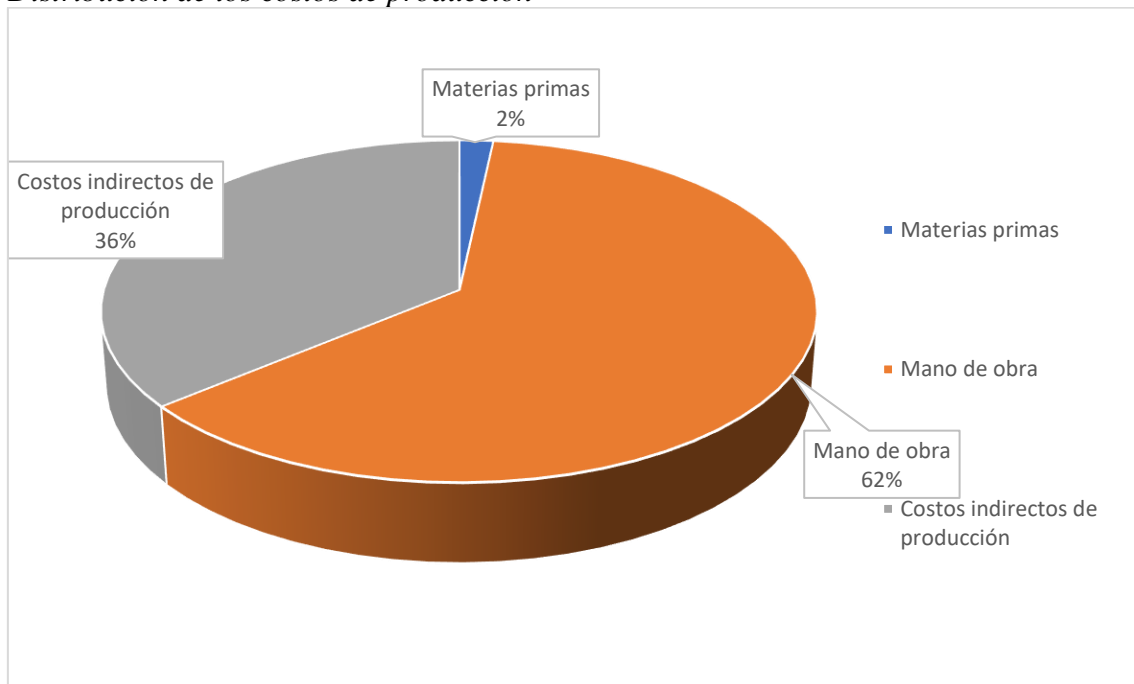
5.4 Costos de Producción

Los costos de producción estimados para *Oreochromis aureus* son ₡1,416,082.16, mientras que para el híbrido *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus*. Var *Rocky Mountain White* los mismos fueron ₡1,340,618.84 de los cuales; para ambos tratamientos, los elementos de costo se distribuyen de una manera muy similar, la figura 50 muestra una distribución en donde el rubro que demanda más recursos es la mano de obra, mientras que en segundo puesto los costos indirectos de producción. Las materias primas son

triviales respecto al monto total de costo, y esto puede deberse a que se requiere una inversión muy alta y una operación costosa para el funcionamiento continuo del módulo. Los costos de operación netos y ajustados reportados, fueron 5 veces menores a los reportados por Chacón Palma (2006) en sistemas abiertos y extensivos de flujo continuo (C\$5,244,592.1 considerando la inflación), sin embargo, estos costos estimados aunque parten del año 2006, fueron los necesarios para llevar a término de mercado alrededor de 7.6 toneladas métricas de tilapia, mientras que en módulo RAS se producen con creces 13.7Kg, es decir, unas 500 veces menos, de lo reportado por el autor, esto se debe principalmente a que la inversión requerida y amortizada, la energía necesaria para la operación y la calificación requerida por parte del personal son mucho más altas que las requeridas por sistemas abiertos y extensivos de flujo continuo.

La principal diferencia radica entonces en la modalidad de la producción, ya que es cerrada y de flujo recirculado. Sin embargo, se puede disminuir los costos energéticos, mejorando el infructuoso método de calefacción con 3 calentadores, mediante la sustitución del mismo con un calentador de 220V fijo, utilizándose únicamente cuando se detecte una violación a la regla de control especificada en la carta de control media desviación adjunta en la figura 7, y en el mejor de los casos, se puede implementar un calentador de gas licuado o biogás, sin embargo, debe evaluarse bien los costos de implementación y su amortización en el tiempo de esta última alternativa.

Figura 51:
Distribución de los costos de producción



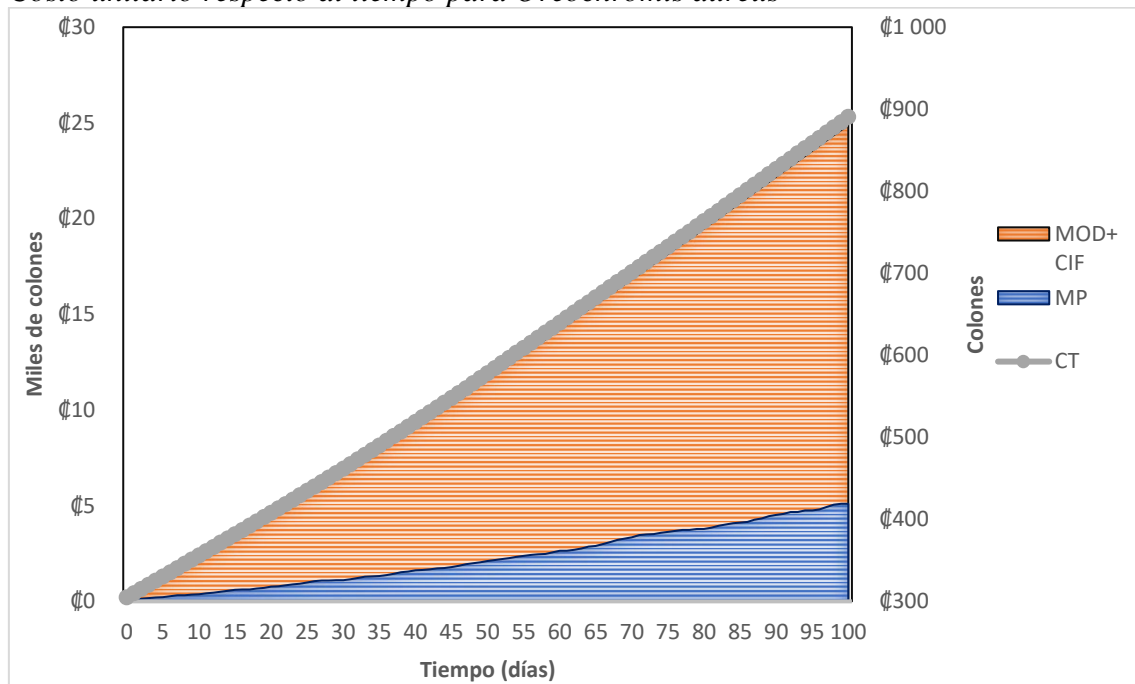
Es muy difícil reducir la mano de obra, ya que por cada tiempo de alimentación se requieren al menos 50 minutos para realizar las actividades especificadas en la figura 6, y al ser 3 tiempos, se requieren casi 3 horas diarias para una atención adecuada, lo cual redondea a medio tiempo como mínimo. Mismas actividades deben ser ejecutadas por un técnico cualificado, ya que se requiere la manipulación de equipos costosos y el monitoreo con pruebas colorimétricas.

5.5 Costos unitarios

En cuanto a los costos unitarios, tomando como base la biomasa final, fueron ₡181,549.00 y ₡227,223.53, para *Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*. Var *Rocky Mountain White*, respectivamente, mientras que tomando como base la cantidad de supervivientes, los mismos fueron de ₡26,718.53, ₡29,791.53; siendo más alto para la línea híbrida mencionada. Las figuras 52 y 53 muestran la acumulación del costo unitario respecto al tiempo, lo cual sugiere un aumento lineal del costo unitario.

Figura 52:

Costo unitario respecto al tiempo para Oreochromis aureus

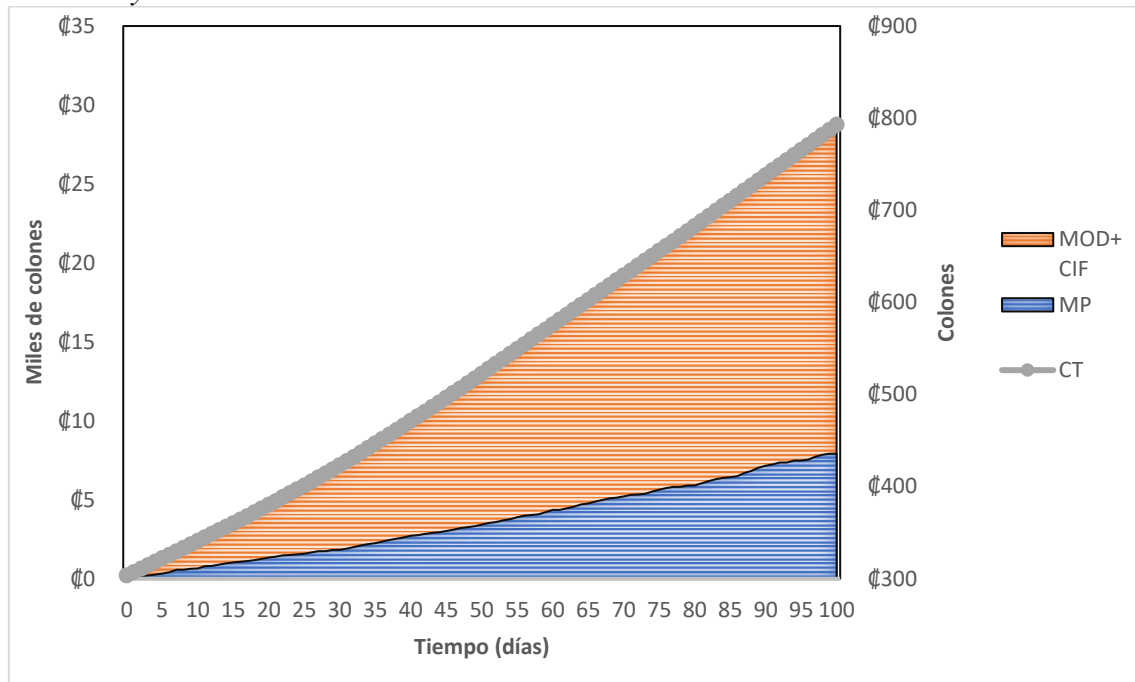


Nota: MP: Materias primas, se lee en eje secundario. MOD+CIF: Mano de Obra Directa más Costos Indirectos y representan los costos de conversión.

Ambos valores de costo unitario son más de 150 veces mayores que lo estimado por Chacón Palma (2007) considerando la inflación interanual 2006-2022 (C1,602.49), en ambos tratamientos, dicha diferencia se debe a que los costos de operación son similares en cuanto a monto, pero el módulo RAS produce una milésima parte de lo reportado por el autor.

Figura 53:

Costo unitario respecto al tiempo para Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus var. Rocky Mountain White



Nota: MP: Materias primas, se lee en eje secundario. MOD+CIF: Mano de Obra Directa más Costos Indirectos y representan los costos de conversión. CT: Costo total.

Nuevamente se reitera que estas diferencias se deben a los altos costos de inversión y operación, debido a la complejidad del módulo en cuanto a equipos, infraestructura y cualificación de la mano de obra, aunque también hay que destacar que aquí la mortalidad juega un papel crucial, ya que una mayor supervivencia implica una mayor producción neta en términos de biomasa y población y, por tanto, los costos totales se distribuyen entre más unidades. Las figuras 52 y 53 sugieren que en caso de que se presenten mortalidades, es preferible que estos eventos sucedan al principio, donde los lotes de producción acumulan pocos costos, y como consecuencia las pérdidas son menores, lo cual se contrasta perfectamente con lo presentado en la tabla 53 y explica porque la diferencia en el gasto por concepto de mortalidad es mayor en el híbrido en la variedad aurea, ya que la prevalencia de este evento en el primero se dio hasta el día 43, además de que murieron más animales en esta línea genética.

Identificación y selección de causas asignables de variación

En el contexto de un sistema de recirculación cerrada tradicional para la cría de tilapia, la identificación y seguimiento de problemas potenciales se vuelven críticos para mantener la eficiencia operativa y la calidad del producto final. La figura 53 proporciona una visión detallada de los problemas encontrados. Por ejemplo, la problemática relacionada con la

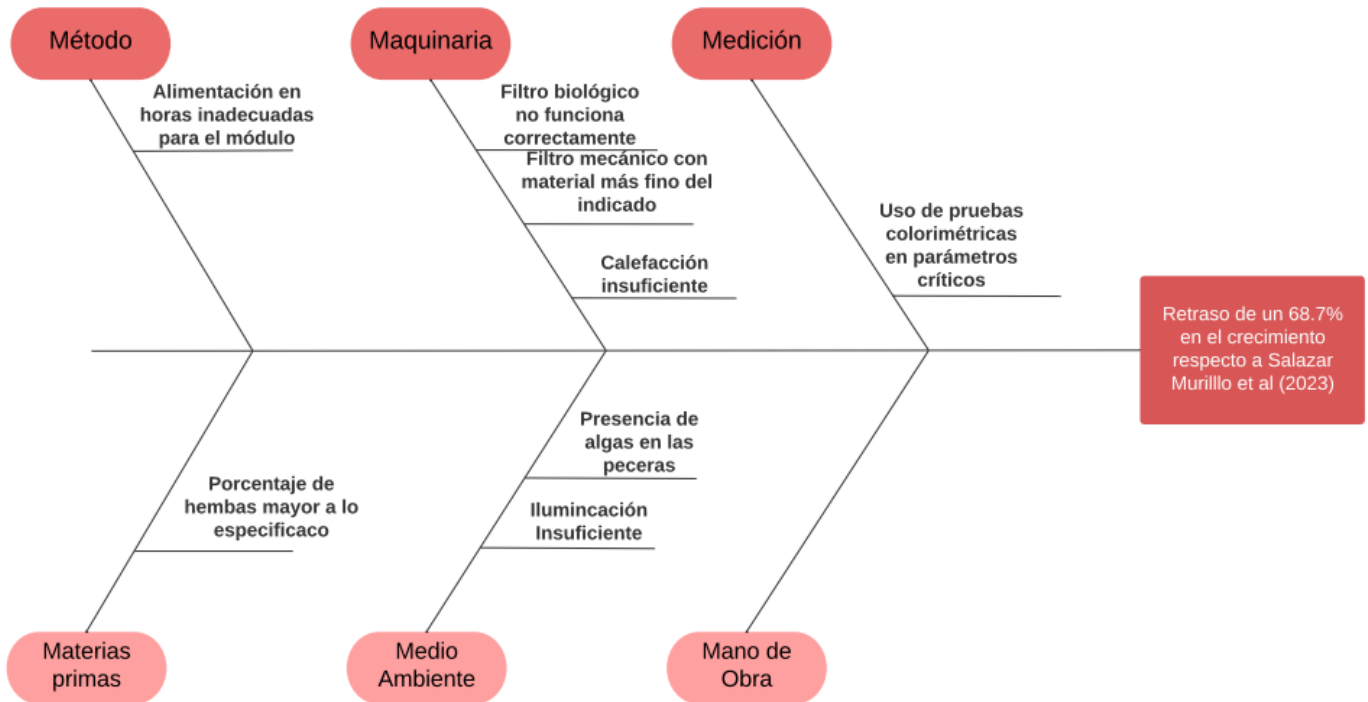
alimentación en horas inadecuadas para el módulo se evalúa mediante el porcentaje de desperdicio de alimento en las mañanas durante un período específico, reflejando un 22,38% de desperdicio, lo cual sugiere una posible optimización en la programación de la alimentación.

Otro aspecto crítico se refiere al control de las materias primas, donde el porcentaje de hembras mayor al especificado, es decir, los protocolos de reversión sexual con 17- α -metil-testosterona no están bien ejecutados, y en teoría deberían garantizar una relación macho: hembra de 19:1, sin embargo la observada refleja una relación real de 7:3, como consecuencia esto resulta en un 25% de desviación entre las hembras observadas y las esperadas. Dicho desequilibrio ocasiona menor consumo y crecimiento. Además, los problemas de maquinaria, como el funcionamiento incorrecto del filtro biológico, se monitorean a través de métricas como la concentración de amoníaco, amonio y nitritos fuera de rango, indicando posibles fallos en el sistema de filtrado que podrían comprometer la calidad del agua y la salud de los peces.

El ambiente de cría también es fundamental, como se evidencia en el análisis de la iluminación insuficiente, que se correlaciona con un aumento del 23,06% en el desperdicio de alimento debido a la presencia de algas. Además, se destaca que la desviación en el consumo proyectado, relacionada con los ritmos circadianos, alcanza un 62,14%, lo que sugiere la necesidad de ajustes en los ciclos de iluminación para optimizar la alimentación y el crecimiento de los peces. Por último, la medición y evaluación del uso de pruebas colorimétricas muestran una tasa de utilización del 100%, indicando una buena práctica en el control y seguimiento de parámetros clave del sistema. En conjunto, estas métricas y problemas identificados permiten una gestión más eficiente y una mejora continua en el sistema de recirculación cerrada para la cría de tilapia, según los principios del ciclo Deming (PHVA).

Figura 54:

Análisis de causa raíz explicativo del desempeño de crecimiento observado



Además de los problemas mencionados, la tabla también revela desafíos relacionados con la maquinaria que no han sido discutidos hasta ahora. Por ejemplo, se destaca el problema del filtro mecánico con material más fino de lo indicado, lo cual se traduce en un porcentaje de oxígeno disuelto (OD) insuficiente del 17,90% y un porcentaje de saturación de oxígeno insuficiente del 25,60%. Estos indicadores apuntan a una posible obstrucción del filtro ocasionando un menor flujo y turbulencia, lo que puede afectar la calidad del agua y, en última instancia, el bienestar de los peces.

Otro aspecto crítico es la calefacción insuficiente, evidenciada por un porcentaje de temperatura menor a 24,29°C en el 79.6% de las mediciones realizadas. Este problema puede tener consecuencias graves en la tasa de crecimiento y salud de los peces, así como en la eficiencia general del sistema. Es fundamental abordar estos problemas de maquinaria de manera oportuna para garantizar un entorno óptimo para el cultivo de tilapia.

Finalmente, se identifica un aspecto clave del medio ambiente relacionado con la iluminación insuficiente, pero no se ha discutido el problema específico de la iluminación en relación con el desvío de consumo proyectado debido a la alteración del ritmo circadiano. Este desvío del 62,14% puede tener implicaciones significativas en la planificación de la alimentación y el control del ambiente, lo que subraya la importancia

de considerar los ciclos naturales de luz para maximizar el rendimiento del sistema de cría.

5.6 Priorización de causas de variación

Basado en lo anterior, se determina que un 54% de las causas de variación se ubican en la maquinaria, un 24% en el medio ambiente y un 15% en materias primas, tal y como lo indica la figura 55.

Figura 55:

Distribución de la ponderación de las causas identificadas en el desempeño del crecimiento, por categoría de las 6M

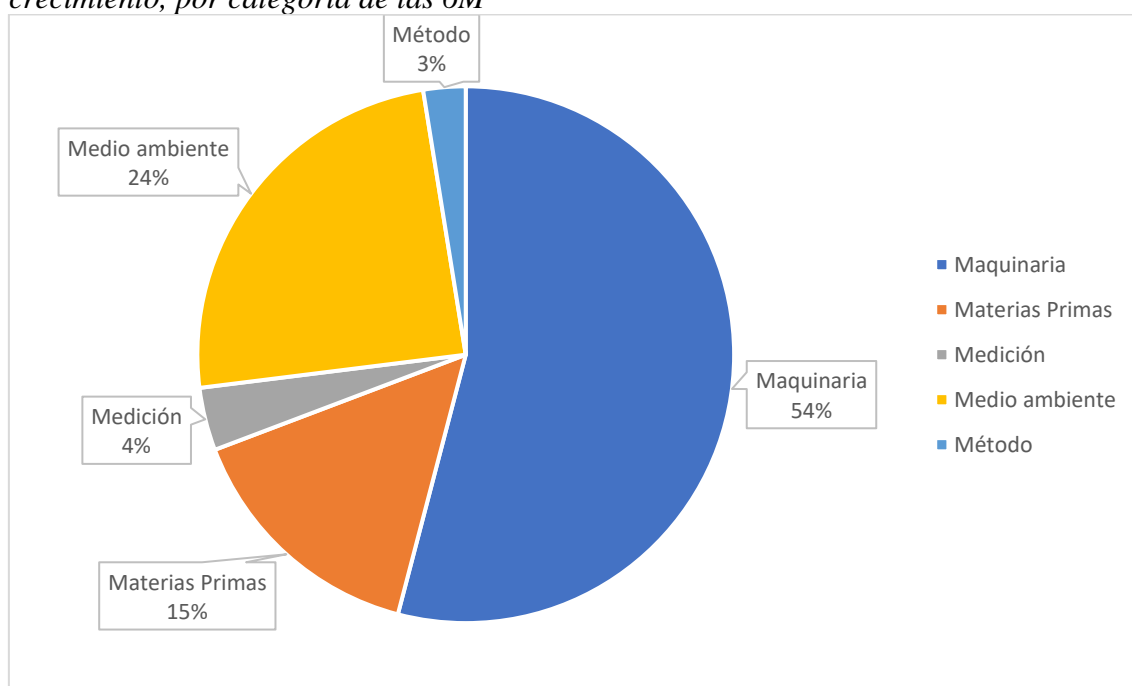


Tabla 55: Categorías para la lectura de la figura 46

Categorías para la lectura de la figura 46

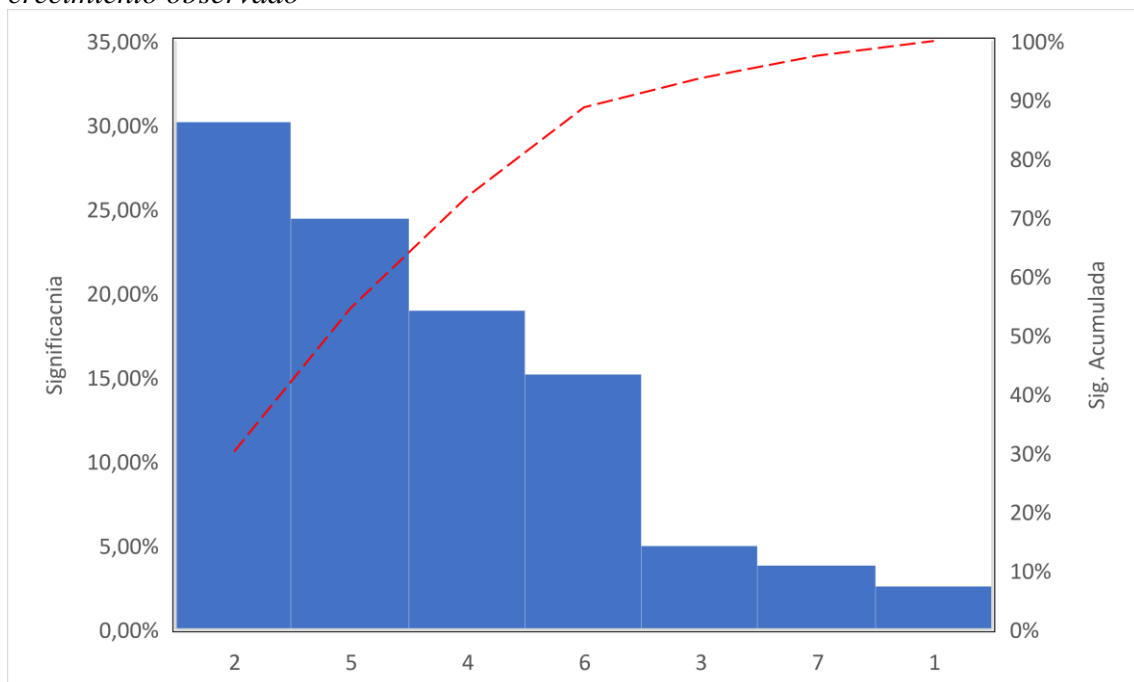
Código	Causa identificada
1	Distribución de la ración en horarios inadecuados
2	Calefacción insuficiente
3	Filtro mecánico con material más fino de lo indicado
4	Funcionamiento Incorrecto del filtro Biológico
5	Iluminación insuficiente
6	Porcentaje de hembras mayor a lo especificado
7	Uso de Pruebas colorimétricas de baja sensibilidad

La tabla 55 muestra la clave de lectura para la figura 56. En la misma figura se identifica que una temperatura insuficientemente alta, una iluminación insuficiente y un

funcionamiento incorrecto del biofiltro en los días 0-40, son los principales causantes del retraso en crecimiento descubierto, esto debido al efecto de la mortalidad, lo cual sugiere morbilidad por intoxicación por nitritos y metahemoglobinemia. Lo mismo puede darse porque una temperatura insuficiente disminuye la actividad de las enzimas involucradas en el metabolismo del género *Oreochromis* lo cual se ve reflejado en un comportamiento animal poco voraz, mientras que la iluminación insuficiente prolonga la prevalencia de ritmos circadianos típicos de fases nocturnas, donde naturalmente, los especímenes reducen su actividad y consumo de alimento, además de que aunque la iluminación es insuficiente, promueve el crecimiento de algas, y se hipotetiza que el desperdicio de alimento observado se debe a la ingesta de algas, las cuales comprenden una fuente de alimentación menos nutritiva que las ofertadas.

Figura 56:

Identificación de las causas más importantes de variación en el desempeño del crecimiento observado



En general, si se corrigen estos 3 problemas, es probable ver una mejoría importante en el ritmo de crecimiento, llegando a eliminar el retraso en el crecimiento descubierto en este trabajo.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

5.6 Conclusiones

- Los sistemas de recirculación tradicional ofrecen una alternativa que garantiza la estabilidad en la calidad del agua, ya que mantiene un pH neutro y estable, solubilizan y saturan oxígeno suficiente para una carga biológica de 1.96kg/m³; además de ofrecer una buena capacidad tampón que dificulta cambios abruptos en la alcalinidad y dureza. Sin embargo, este en particular no ajusta la temperatura a rangos de confort para el género *Oreochromis* debido a la altitud del lugar de explotación lo que afecta el desempeño de los especímenes y del mismo modo, la exposición prolongada a nitrógeno amoniacal y especialmente a nitritos, afectan a los peces ocasionando enfermedad por metahemoglobinemia y muerte por anoxia.
- Se concluye en este estudio, que la línea genética *Oreochromis aureus* crece más y de una manera más eficiente que el híbrido *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* var. *Rocky Mountain White*, según las variables de crecimiento y eficiencia estudiadas.
- El sexo es el principal factor que incide en el rendimiento, indistintamente de la línea genética, por lo que se concluye que los machos presentan un mayor rendimiento en canal en ambas líneas genéticas, debido a que las vísceras y la cabeza tienen una proporción menor respecto al peso fresco que las hembras.
- Aunque los sistemas cerrados de recirculación son económicos en cuanto al uso del agua, son altamente costosos debido a los requerimientos de infraestructura, energía y mano de obra, especialmente si se requiere mantener la temperatura del medio en rangos de confort para el género *Oreochromis* [25.46; 29.02]°C.
- *O. aureus* resulta ser más barata en términos de costo unitario que el híbrido Rocky Mountain White, principalmente a su menor propensión a la mortalidad por nitritos observada en los primeros 34 días de ensayo.

5.7 Recomendaciones

- Se recomienda replicar el ensayo con una especie con un rango de temperatura de confort similar a la ofertada por el proveedor de agua para evaluar si hay una disminución de los costos. De preferencia se recomienda que dicha especie agregue valor por un tema distinto al peso bruto, como por ejemplo especies ornamentales.
- En caso de que se insista con el género *Oreochromis*, se recomienda entonces, mejorar el método de calefacción por uno que mantenga la temperatura dentro del rango de confort de la especie y que este sea menos demandante en términos de energía. En vez de utilizar 3 calentadores para pecera de 110V, se recomienda uno de 220V, el cual puede ser más económico ya que requiere menos intensidad (amperaje) para calentar el agua, además de un diseño adecuado que genere un recorrido del medio a través de las resistencias calefactoras, para aumentar la temperatura de manera efectiva y aumentar la probabilidad de que se mantenga en el rango de confort de ambas especies.
- Se recomienda la implementación de alguna fuente de luz adicional en el módulo, con una tasa de iluminación de 2000 lux/m²; esto para promover un mayor consumo de alimento y, por tanto, un mejor crecimiento y eficiencia, esto para ambos tratamientos.
- Es recomendable cultivar el biofiltro con una carga microbiana suficiente, por lo que debe mejorar la planificación entre los tiempos de instalación y puesta en marcha y los momentos de siembra, para evitar mortalidades, ya que, según la experiencia, la metahemoglobinemia observada en ambos tratamientos puede ser un causante del retraso en crecimiento expuesto y de las mortalidades presentadas. Se recomienda esperar 34 días entre la instalación y puesta en marcha del sistema RAS

Capítulo VI. Bibliografía

- Acuña Acuña, J. (2012). *Control de calidad: Un enfoque integral y estadístico* (Cuarta ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. Obtenido de https://books.google.co.cr/books?id=FJnGDwAAQBAJ&pg=PA13&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false
- Arce Vega, J. (2014). *Determinación de la tasa de alimentación para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1759) en condiciones comerciales corregida por el coeficiente térmico de crecimiento*. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Obtenido de <https://zootecnia.ucr.ac.cr/images/tesis/pdfs/arce-vega-jose-javier.pdf>
- ARESEP. (2024). *Autoridad reguladora de los servicios públicos*. Obtenido de Historial de tarifas eléctricas: <https://aresep.go.cr/electricidad/tarifas/>
- Bautista Covarrubias, J., & Ruiz-Velazco Arce, J. (2011). CALIDAD DE AGUA PARA EL CULTIVO DE TILAPIA EN TANQUES DE GEOMEMBRANA. *Revista Fuente*. Obtenido de <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/568>
- Cantor, F. (2007). *Manual de producción de tilapia*. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla, México. Obtenido de Recuperado de: http://api.ning.com/files/-wPbKS8JJ3E-qmSln6v3jY49mrh7myYkUI0Lwg1ZHHf5ncyqNc1MjRaH0YIPTH47aWwgm7-YIxzYeClKX*IVb8f1CLFXUp/ManualdecultivodeTilapia.pdf
- Casadiegos Agudelo, L. (2023). *Análisis de vulnerabilidad a la contaminación del Sistema Acuífero del Miembro Superior de la Formación Los Santos, Mesa de los Santos - Santander (Colombia)*. ph.D. En Agricultura, Alimentación y Desarrollo Rural, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Obtenido de http://caracoli.cdm.gov.co/cai/rhc/docs/RHC/Estudios/Proyecto_Analisis_Vulnerabilidad.pdf
- Castrillón-Fernández, M., Torres-Rodríguez, G., Cáceres, P., & Peña, E. (2008). Análisis morfométrico de branquia de Tilapia *Oreochromis niloticus* de la Laguna de Sonso (Valle del Cauca) mediante procesamiento digital de imágenes. *Revista AquaTIC*, 16-25. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/494/49418026003.pdf>
- Chacón Palma, E. (2001). *Comparación del crecimiento de tres especies de tilapia (*Oreochromis niloticus*, variedad *stirling* ; *Oreochromis aureus* y *Rocky**

- Mountain White, cultivadas con dos étodos de alimentaión en un sistema de flujo continuo.* Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de ciencias exactas y naturales.
- Chacón Palma, E. (2007). *Informe de gestión.* Obtenido de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9313.pdf>
- Chacón Palma, E. (2007). *Informe de gestión.* Obtenido de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9313.pdf>
- Choo, C., & Bureau, D. (1998). Development of bioenergetics models and the FishPrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in. *Aquatic Living Resource, 11*(4), 199-210.
- Diodatti, F. C., Tadeu, R., & Freato, T. A. (2008). Parámetros morfométricos en el rendimiento de los componentes corporales de tilapia del Nilo (*Oreochromis Niloticus*). *nales De Veterinaria De Murcia, 24*. Obtenido de <https://revistas.um.es/analesvet/article/view/69021>
- El Sayed, A. F., & Kawanna, M. (2004). Effects of photoperiod on the performance of farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: I. Growth, feed utilization efficiency and survival of fry and fingerlings. *El sevier, 394-402*.
- El-Sayed, A. (2006). *Tilapia Culture.* CABI publising. Obtenido de https://books.google.co.cr/books?id=TrNMeuqdm5gC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Emerson, K., Russo, R., Lund, R., & Thurston, R. (1975). Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effect of pH and Temperature. *ournal of the Fisheries Board of Canada.* Obtenido de <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/f75-274>
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020.* Obtenido de <https://doi.org/10.4060/CA9229EN>
- García Colín, J. (2020). *Contabilidad de Costos.* Obtenido de <https://www-ebooks7-24-com.ezproxy.itcr.ac.cr/stage.aspx?il=&pg=&ed=>
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos.* McGrawHill. Obtenido de https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma.* México: McGrawHill. Obtenido de

- <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>
- IDEAM. (2007). *DUREZA TOTAL EN AGUA CON EDTA POR VOLUMETRÍA*. SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA, GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Dureza+total+en+agua+con+EDTA+por+volumetr%C3%ADa.pdf/44525f65-31ff-482e-bbf6-130f5f9ce7c3>
- IFRS. (s.F). *NORMA INTERNACIONAL DE CONTABILIDAD 41: AGRICULTURA*. Obtenido de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ias41%20\(1\).html](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ias41%20(1).html)
- INA. (s.F). Obtenido de https://www.ina.ac.cr/inavirtual/Documentos%20compartidos/Guias_COVID/guiaCalculoTarifaElectrica.pdf
- INCOPESCA. (2019). *Plan estratégico de la acuicultura en Costa Rica 2019 - 2022*. Obtenido de http://www.infoagro.go.cr/Documents/Plan_Estrategico_Acuicultura_Costa_Rica_2019-2023.pdf
- INCOPESCA. (2029). *Plan estratégico de la acuicultura en Costa Rica 2019 - 2022*. Obtenido de http://www.infoagro.go.cr/Documents/Plan_Estrategico_Acuicultura_Costa_Rica_2019-2023.pdf
- Jiménez Boulanger, F., & Espinoza Gutiérrez, C. (2007). *Costos industriales* (Primera ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Jiménez-Badillo, M., & Arredondo-Figueroa, J. L. (2000). Effect of oral treatments of synthetic androgens on sex ratio, survival and growth rates, in three strains of tilapia. *Hidrobiológica*, 2(10), 115-120.
- Jover Cerdá, M., Pérez Igualada, L., Zaragoza, L., & Fernández Carmona, J. (1998). Growth of Tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) with cooked-extruded diets of several protein levels. *Archivos de Zootecnia*(47), 11-20. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=278650>
- Katsanevakis, S. (2006). Modelling fish growth: model selection, multi-model. *Fisheries Research*, 229-235.
- Lin, J. H., Cui, Y., Hung, S., & Shiau, S. Y. (1997). Effect of feeding strategy and carbohydrate source on carbohydrate utilization by white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) and hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. aureus*). .

- Aquaculture*, 2-3(148), 201-211. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848696014202>
- Martínez-Meingüer, A. M., Castro-Mejía, G., Vázquez-Silva, G., & Castro-Castellón, A. (2020). Preliminary study of the growth of *Oreochromis niloticus* var. Rocky Mountain and *Lycopersicon esculentum* L. cultured in aquaponic/Biofloc system. *Int J Fish Aquat Studies*, 8, 609-622. Obtenido de <https://www.fisheriesjournal.com/archives/2020/vol8issue3/PartH/8-3-50-987.pdf>
- Mena-Herrera, A., Sumano-López, H., & Macías-Zamora, R. (2002). Efecto de la salinidad en el crecimiento de tilapia híbrida. *Vet.Mex*, 39. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/47326708/42333104-libre.pdf?1468857461=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEfecto_de_la_salinidad_en_el_crecimiento.pdf&Expires=1707900370&Signature=PIX7qm51Tdm6-sZx9eIoastGK~18Vn-Yrn5GQRnLxbl32rNs-AY0S
- Ministerio de Hacienda. (2013). *Manual de valores base unitarios por tipología constructiva para la determinación del impuesto solidario*. Obtenido de <http://www.pgrweb.go.cr/DOCS/NORMAS/1/VIGENTE/S/2010-2019/2010-2014/2012/11F9B/E97B4.HTML>
- Ministerio de Hacienda. (Octubre de 2019). *MANUAL DE VALORES BASE UNITARIOS POR TIPOLOGIA CONSTRUCTIVA*. Obtenido de <https://www.hacienda.go.cr/docs/TipologiaConstructiva2019.pdf>
- Ministerio de Hacienda. (2019). *Sistema Costarricense de Información Jurídica*. Obtenido de Procuraduría General de la República: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=67206&nValor3=79528&strTipM=TC
- Montoya Toapanta, D. J. (2013). *REVERSION SEXUAL EN TILAPIAS CON HORMONA 17ALFA METILTESTOSTERONA A DIFERENTES DOSIS (40-60-80 mg/Kg. de alimento)*. Tesis de Grado: Medicina Veterinaria. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2901/1/T-UTC-00425.pdf>
- Nicovita. (s.F). *Manual de Crianza de Tilapia*. Obtenido de <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>

- Paz, E. (2004). *Evaluation of growth, production and cold tolerance of four varieties of tilapia*. Louisiana: Louisiana State University. Obtenido de https://repository.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1781&context=gradschool_theses
- Peiro Boscá, A. (2015). *MODELIZACIÓN DE CURVAS DE DEPRECIACIÓN EN MAQUINARIA USADA*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/53317/PEIR%20-%20Modelizaci%20de%20curvas%20de%20depreciaci%20en%20maquinaria%20usada.pdf?sequence=4>
- Rodríguez Nuñez, Y. S. (2020). *Evaluación de un filtro biológico y un sistema hidropónico de lechuga (Lactuca sativa) para el tratamiento de las aguas residuales de un sistema de recirculación acuícola para la producción de tilapia (Oreochromis niloticus)*. Tesis (licenciatura en ingeniería agrícola y de biosistemas), Universidad de Costa Rica. , Facultad de Ingeniería. Obtenido de <https://repo.sibdi.ucr.ac.cr/handle/123456789/17717>
- Rojas-Runjaic, B., Perdomo, D., García, D., González-Estopiñán, M., Corredor, Z., Moratinos, P., & Santos, O. (2011). Rendimiento en canal y fileteado de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) variedad Chitralada producida en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 29(1). Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-72692011000100010&script=sci_arttext
- Saavedra Martínez, M. (2006). *Manejo del cultivo de tilapia*. Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Salazar-Murillo, L., Chacón-Villalobos, A., & Herrera-Muñoz, J. (2023). Crecimiento, eficiencia y composición de tilapia (*Oreochromis aureus*) alimentada con lombriz roja (*Eisenia fetida*). *Nutrición Animal Tropical*, 1(17), 1-35. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/54085/54748>
- Sánchez-Sequeira, I. (2006). *Evaluación de la ganancia de peso y conversión alimenticia de la tilapia (Oreochromis niloticus) en la etapa de engorde 2 alimentada con diferentes relaciones proteína: grasa*. Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Santa Clara. Obtenido de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5898/Evaluaci%20de%20la%20ganancia%20de%20peso%20y%20conversi%20alimenticia%20de%20la%20tilapia%20\(Oreochromis%20niloticus\)%20en%20la%20etapa%20de%20engorde%202%20alimentada%20con%20diferentes%20relaciones%20prote%C3%BAa%20prote%C3%BAa%20grasa](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5898/Evaluaci%20de%20la%20ganancia%20de%20peso%20y%20conversi%20alimenticia%20de%20la%20tilapia%20(Oreochromis%20niloticus)%20en%20la%20etapa%20de%20engorde%202%20alimentada%20con%20diferentes%20relaciones%20prote%C3%BAa%20prote%C3%BAa%20grasa)

- 20de%20la%20ganancia%20de%20peso%20y%20conversi%20c3%b3n%20alimenticia%20de%20la%20tilapia%20%28Oreochromis%20niloticus%29%20en%20la%20etapa%20de%20engorde%20%20alimentada%20con%20d
- Shewhart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. Bell Telephone Labs.
- Sinisterra Valencia, G. (2006). *Contabilidad de costos* (Primera ed.). ECOE Ediciones.
- Suárez Mena, K. E., & Balón Tomalá, A. (2021). *fectación contable del deterioro de los inventarios, en el sector acuícola, provincia de Santa Elena. La Libertad*. Tesis de bachillerato. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6273?mode=full>
- Torres Castillo, H. H. (2019). *Evaluación de la inclusión de fuentes proteicas vegetales a la harina de pescado y su efecto en parametros de crecimiento y eficiencia nutritiva de la tilapia roja (oreochromis sp.)*. Universidad de Cundinamarca, Madrid. Obtenido de <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/2321?show=full>
- Triana-García, P., Gutierrez-Espinosa, M., & Eslava-Mocha, P. (2023). Rendimiento productivo e hígado graso en tilapia híbrida (*Oreochromis spp*): Influencia de dos fuentes de lípidos. *Orinoquia*, 2(17), 183-196. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/896/89630980004.pdf>
- Zumbado-Salas, A., Chacón-Villalobos, A., & Herrera-Muñoz, J. (2022). Efecto sobre parámetros zootécnicos y composición tisular de tilapia aurea (*Oreochromis aureus*) alimentada con lombriz roja (*Eisenia foetida*). *Nutrición Animal Tropical*, 1-34. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8624598>
- Zúñiga Meléndez, E. (2008). *Propuesta teórica para el desarrollo de un sistema productivo de tilapia orgánica*. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Obtenido de <https://zootecnia.ucr.ac.cr/images/tesis/pdfs/zuniga-melendez-evelyn.pdf>

Figura 58
Kit colorimétricos utilizados durante el ensayo

(A)



(B)



(C)



(D)



Nota: A: Evaluación del color en la escala del Kit Freshwater Master API. B: Presentación del kit Freshwater Master API. C: Presentación de los reactivos proporcionados por el kit Freshwater Master API. D: Presentación del kit PRODAC test pH range 4.5-9.0. Fuente: (Amazon, 2023)

Figura 59:
Sonda Multiparamétrica YSI professional Plus



Nota: Fuente: (Amazon, 2023)

Figura 60:
Eugenol 100% v/v como anestésico



Figura 61:
Calibrador vernier 6" Truper



Figura 62:
Balanzas granatarias utilizadas



Figura 63-A:
Esquema de flujo y funcionamiento, sistema RAS

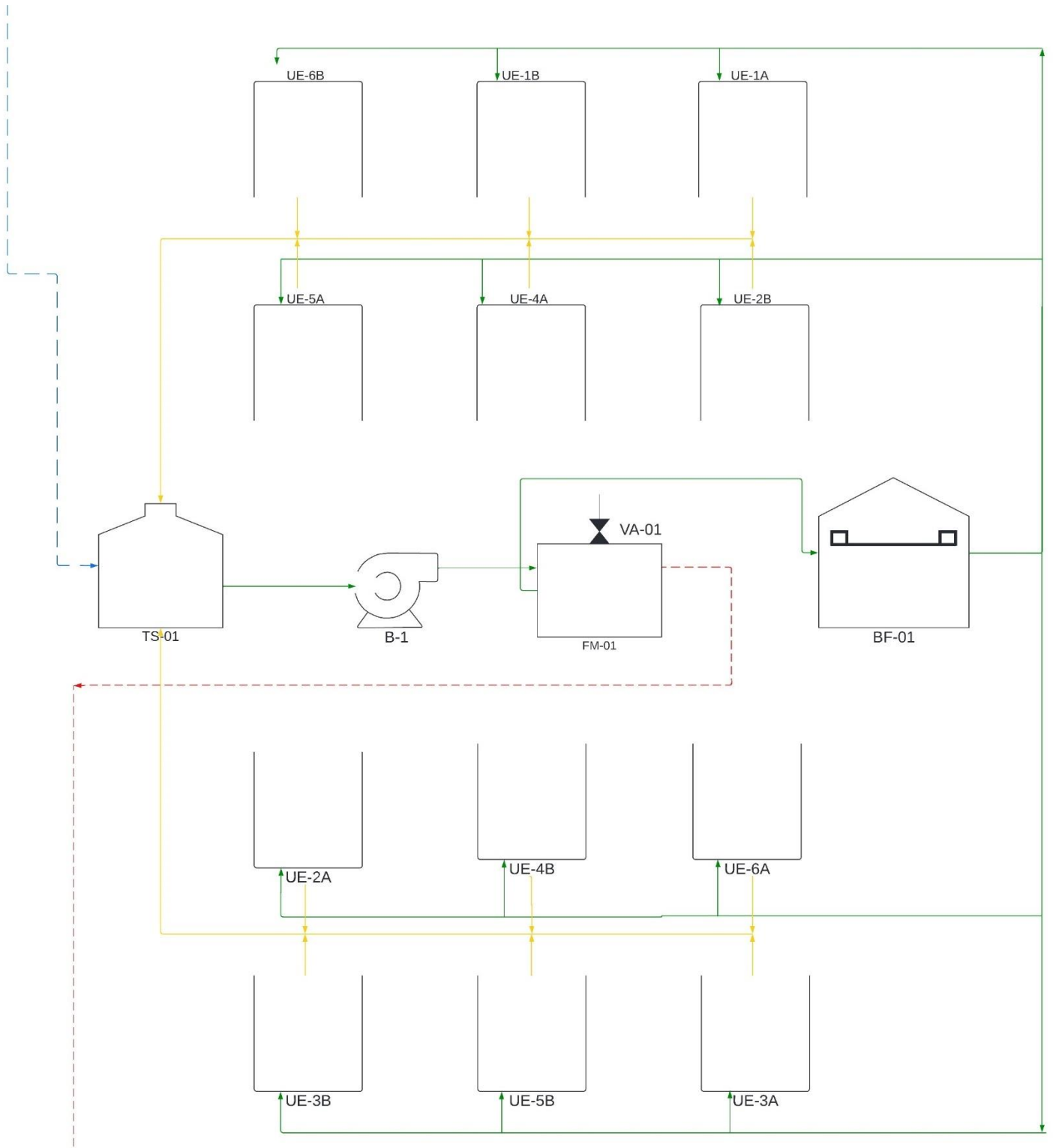


Figura 63-B:*Esquema de flujo y funcionamiento, sistema RAS (leyenda)*





Código de equipo	Descripción
B-1	Bomba de agua externa de 1.5HP
TS-01	Tanque sumidero tricapa de 750 L
FM-01	Tanque de fibra de vidrio con material filtrante de
VA-01	Valvula de alivio de 5 vías
BF-01	Sistema de biofiltro con lecho flotante de 750 L
UE-#N	Numero de repeciticon o unidad experimental
A	O. aureus
B	H. Rocky
	Línea de retorno (Tubería de PVC de presión de 2")
	Línea de drenaje (Tubería de PVC de presión de 2")
	Línea de salida (Tubería de PVC sanitaria de 2")
	Línea de entrada de agua (Manguera de 3/8")

Tabla 56:*Pruebas de normalidad para la temperatura por subgrupo (semana) en función del tiempo*

Tiempo (días)	Estadístico de prueba	Grados de libertad	p-value	Supuesto de Normalidad
9	0.948	8	0.688	Se cumple el supuesto de normalidad
16	0.913	10	0.304	Se cumple el supuesto de normalidad
23	0.896	16	0.069	Se cumple el supuesto de normalidad
30	0.952	13	0.625	Se cumple el supuesto de normalidad
37	0.867	16	0.025	No se cumple supuesto de normalidad
44	0.905	15	0.114	Se cumple el supuesto de normalidad
51	0.940	16	0.349	Se cumple el supuesto de normalidad
58	0.970	14	0.879	Se cumple el supuesto de normalidad
65	0.939	13	0.438	Se cumple el supuesto de normalidad
72	0.962	12	0.808	Se cumple el supuesto de normalidad

79	0.872	7	0.192	Se cumple el supuesto de normalidad
86	0.964	13	0.810	Se cumple el supuesto de normalidad
93	0.958	16	0.634	Se cumple el supuesto de normalidad
100	0.922	12	0.303	Se cumple el supuesto de normalidad

Tabla 57:

Pruebas de normalidad para la alcalinidad por subgrupo (semana) en función del tiempo

Tiempo (días)	Estadístico de prueba	Grados de libertad	p-value	Supuesto de Normalidad
8	0.724	8	0.004	No se cumple supuesto de normalidad
15	.	6	.	Se cumple el supuesto de normalidad
22	.	7	.	Se cumple el supuesto de normalidad
29	0.552	5	0.000	No se cumple supuesto de normalidad
36	0.630	4	0.001	No se cumple supuesto de normalidad
43	0.684	5	0.006	No se cumple supuesto de normalidad
50	0.496	6	0.000	No se cumple supuesto de normalidad
57	0.453	7	0.000	No se cumple supuesto de normalidad
64	0.858	7	0.144	Se cumple el supuesto de normalidad
71	0.881	5	0.314	Se cumple el supuesto de normalidad
78				No se cumple supuesto de normalidad
85	0.750	3	0.000	No se cumple supuesto de normalidad
92	0.777	7	0.024	No se cumple supuesto de normalidad
100	0.630	4	0.001	No se cumple supuesto de normalidad

Tabla 58:

Pruebas de normalidad para el oxígeno disuelto por subgrupo (semana) en función del tiempo

Tiempo (días)	Estadístico de prueba	Grados de libertad	p-value	Supuesto de Normalidad
8	0.951	8	0.720	Se cumple el supuesto de normalidad
15	0.931	6	0.588	Se cumple el supuesto de normalidad
22	0.886	8	0.217	Se cumple el supuesto de normalidad
29	0.944	5	0.691	Se cumple el supuesto de normalidad
36	0.877	4	0.325	Se cumple el supuesto de normalidad
43	0.907	5	0.452	Se cumple el supuesto de normalidad
50	0.946	6	0.709	Se cumple el supuesto de normalidad
57	0.852	7	0.129	Se cumple el supuesto de normalidad
64	0.962	7	0.832	Se cumple el supuesto de normalidad
71	0.920	5	0.532	Se cumple el supuesto de normalidad
78	0.999	3	0.957	Se cumple el supuesto de normalidad
85	0.897	4	0.417	Se cumple el supuesto de normalidad
92	0.744	7	0.011	No se cumple supuesto de normalidad
100	1.000	3	0.988	Se cumple el supuesto de normalidad

Tabla 59:

Pruebas de normalidad para la saturación de oxígeno por subgrupo (semana) en función del tiempo

Tiempo (días)	Estadístico de prueba	Grados de libertad	p-value	Supuesto de Normalidad
8	0.931	8	0.522	Se cumple el supuesto de normalidad
15	0.916	6	0.475	Se cumple el supuesto de normalidad
22	0.879	8	0.182	Se cumple el supuesto de normalidad
29	0.884	5	0.328	Se cumple el supuesto de normalidad
36	0.848	4	0.220	Se cumple el supuesto de normalidad
43	0.965	5	0.839	Se cumple el supuesto de normalidad
50	0.904	6	0.401	Se cumple el supuesto de normalidad
57	0.951	7	0.740	Se cumple el supuesto de normalidad
64	0.883	7	0.239	Se cumple el supuesto de normalidad
71	0.985	5	0.959	Se cumple el supuesto de normalidad
78	0.871	3	0.298	Se cumple el supuesto de normalidad
85	0.930	4	0.595	Se cumple el supuesto de normalidad
92	0.936	7	0.605	Se cumple el supuesto de normalidad
100	0.750	3	0.000	No se cumple supuesto de normalidad

Tabla 60:

Pruebas de normalidad para la dureza por subgrupo (semana) en función del tiempo

Tiempo (días)	Estadístico de prueba	Grados de libertad	p-value	Supuesto de Normalidad
8	0.938	8	0.592	Se cumple el supuesto de normalidad
15	0.813	7	0.055	Se cumple el supuesto de normalidad
22	0.664	7	0.001	No se cumple supuesto de normalidad
29	0.684	5	0.006	No se cumple supuesto de normalidad
36	0.630	4	0.001	No se cumple supuesto de normalidad

Tabla 61:

Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para cambio de peso promedio

Día	Shapiro wilk test p-value, group A	Shapiro wilk test p-value, group B	Levene Test p-value
0-16	0,733	0,789	0,159
17-30	0,777	0,270	0,054
31-44	0,955	0,880	0,668
45-58	0,644	0,130	0,715
59-73	0,668	0,190	0,381
74-86	0,305	0,546	0,152
87-100	0,087	0,067	01
0-100	0,705	0,968	0,424

Nota: A="Ocreochromis aureus"; B="Oreochromis nilóticos x Ocreochromis aureus Var Rocky mountain white"

Tabla 62:

Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para incremento de longitud estándar

Día	Shapiro wilk test p-value, group A	Shapiro wilk test p-value, group B	Levene Test p-value
0-16	0,518	0,809	0,701
17-30	0,995	0,242	0,551
31-44	0,993	0,874	0,980
45-58	0,776	0,651	0,180
59-73	0,724	0,154	0,451
74-86	0,354	0,646	0,626
87-100	0,822	0,424	0,190
0-100	0,499	0,425	0,444

Nota: A="Ocreochromis aureus"; B="Oreochromis nilóticos x Ocreochromis aureus Var Rocky mountain white"

Tabla 63:

Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para incremento de ancho estándar

Día	Shapiro wilk test p-value, group A	Shapiro wilk test p-value, group B	Levene Test p-value
0-16	0,343	0,174	0,127
17-30	0,849	0,727	0,128
31-44	0,964	0,948	0,063
45-58	0,688	0,058	0,292
59-73	0,233	09	0,114
74-86	0,496	0,609	0,936
87-100	0,948	0,167	0,899

0-100	0,695	0,587	0,852
-------	-------	-------	-------

Nota: A="Oreochromis aureus"; B="Oreochromis nilóticos x Oreochromis aureus Var Rocky mountain white"

Tabla 64:

Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para consumo de alimento

Día	Shapiro wilk test p-value, grupo A	Shapiro wilk test p-value, grupo B	Levene Test p-value
0-16	0,988	0,914	0,710
17-30	0,827	0,730	0,645
31-44	0,961	0,949	0,598
45-58	0,137	0,959	0,711
59-73	0,210	0,541	0,993
74-86	0,813	0,104	0,402
87-100	0,161	0,958	0,724
0-100	0,429	0,623	0,883

Nota: A="Oreochromis aureus"; B="Oreochromis nilóticos x Oreochromis aureus Var Rocky mountain white"

Tabla 65:*Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para %BDW*

Día	Shapiro wilk test p-value, grupo A	Shapiro wilk test p-value, grupo B	Levene Test p-value
0-16	0,223	0,465	0,609
17-30	0,186	0,103	0,168
31-44	0,515	0,349	0,161
45-58	0,47	0,216	0,645
59-73	0,644	0,109	0,975
74-86	0,981	0,361	0,21
87-100	0,619	0,892	0,627
0-100	0,817	0,396	0,234

Tabla 66:*Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para mortalidad*

Día	Shapiro wilk test p-value, grupo A	Shapiro wilk test p-value, grupo B	Levene Test p-value
0-16	00	00	0,290
17-30	0,092	0,402	0,195
31-44	0,822	0,905	0,738
45-58	<i>null</i>	00	0,031
59-73	<i>null</i>	<i>null</i>	<i>null</i>
74-86	<i>null</i>	00	0,031
87-100	<i>null</i>	<i>null</i>	<i>null</i>
0-100	0,035	0,820	10

Nota: A="Oreochromis aureus"; B="Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus Var Rocky mountain white"

Tabla 67:*Valores p para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para tasa específica de crecimiento*

Día	Shapiro wilk test p-value, grupo A	Shapiro wilk test p-value, grupo B	Levene Test p-value
0-16	0,994	0,783	0,367
17-30	0,447	0,310	0,149
31-44	0,912	0,888	0,531
45-58	0,465	0,252	0,693
59-73	0,183	0,369	0,223
74-86	0,293	0,549	0,395
87-100	0,734	0,552	0,102
0-100	0,346	0,767	0,676

Nota: A="Oreochromis aureus"; B="Oreochromis nilóticos x Oreochromis aureus Var Rocky mountain white"

Tabla 68:

Valores *p* para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para factor de conversión alimenticia

Día	Shapiro wilk test p-value, grupo A	Shapiro wilk test p-value, grupo B	Levene Test p-value
0-16	0,013	0,195	0,201
17-30	0,159	0,385	0,073
31-44	0,850	0,902	0,685
45-58	0,623	0,169	0,385
59-73	0,132	0,595	0,257
74-86	0,613	01	0,140
87-100	0,163	0,725	07
0-100	0,879	0,358	0,133

Nota: A="Oreochromis aureus"; B="Oreochromis nilóticos x Oreochromis aureus Var Rocky mountain white"

Tabla 69:

Valores *p* para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para los coeficientes térmicos de crecimiento

Día	Shapiro wilk test p-value, grupo A	Shapiro wilk test p-value, grupo B	Levene Test p-value
0-16	0,683	0,861	0,211
17-30	0,625	0,369	0,087
31-44	0,936	0,899	0,565
45-58	0,446	0,208	0,680
59-73	0,289	0,138	0,300
74-86	0,118	0,596	0,224
87-100	0,484	0,038	05
0-100	0,446	0,968	0,539

Nota: A="Oreochromis aureus"; B="Oreochromis nilóticos x Oreochromis aureus Var Rocky mountain white"

Tabla 70:

Valores de *p* para pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para los parámetros de rendimiento

Parámetro	Shapiro wilk test p-value, grupo A	Shapiro wilk test p-value, grupo B	Levene Test p-value
iVS	0,617	0,521	0,707
RCC	0,563	0,231	0,086
RC%	0,681	0,816	0,827

Nota: A="Oreochromis aureus"; B="Oreochromis nilóticos x Oreochromis aureus Var Rocky mountain white"

7.1.1 Ecuación Peso en función del tiempo (Regresión polinomial en una variable)

7.1.1.1 O. Aureus

$$y = -0,00000077180426637409x^4 + 0,00016496028044721300x^3 - 0,00560702477393704000x^2 + 0,82951719283073500000x + 31,24506464798110000000$$

$$R^2 = 0,87178625856640000000$$

7.1.1.2 O. niloticus x O. aureus (Var. Rocky Mountain white)

$$y = -0,000000171766857686925000000000x^4 + 0,000093678170622446500000000000x^3 - 0,007682828846341750000000000000x^2 + 0,847943837610956000000000000000x + 46,691914129380200000000000000000$$

$$R^2 = 0,84722998894210200000000000$$

Tabla 71:

Costos de TOSC para un mes de trabajo a tiempo completo más cargas patronales

Detalle	Monto
Salario mensual (MTSS, 2024)	₡ 394,649.70
(+) Cargas Patronales	
Aporte patrono (14,75%)	₡ 105,253.07
Vacaciones (4,16%)	₡ 16,417.43
Aguinaldo (8,33%)	₡ 32,874.32
COSTO MOD (tiempo completo; 1 mes)	₡ 549,194.52

Tabla 72:

Tasas mensuales de depreciación, maquinaria y equipo

Detalle	Valor inicial	Vida útil Años	Depreciación mensual
Tanquería y tubería	₡ 3,374,572.33	5	₡ 56,242.87
Bomba externa 1,5 HP	₡ 1,170,423.62	10	₡ 9,753.53
Blower WW29	₡ 290,295.86	10	₡ 2,419.13
Calentador 500 W	₡ 37,981.23	10	₡ 316.51
Calentador 300W	₡ 16,329.80	10	₡ 136.08
Calentador 200W	₡ 34,672.28	10	₡ 288.94

7.2 Anexos

Tabla 73:

Porcentaje de concentración de amoníaco [TAN] en función del pH y la temperatura

Temperatura	pH							
	6	6.5	7	7.5	8	9	9.5	10
10	0.019%	0.059%	0.190%	0.586%	5.560%	15.700%	37.100%	65.500%
11	0.020%	0.064%	0.200%	0.633%	5.990%	16.800%	38.900%	66.800%
12	0.022%	0.069%	0.220%	0.684%	6.440%	17.900%	40.800%	68.500%
13	0.024%	0.074%	0.240%	0.738%	6.920%	19.000%	42.600%	70.200%
14	0.025%	0.080%	0.250%	0.796%	7.430%	20.200%	44.500%	71.700%
15	0.027%	0.087%	0.270%	0.859%	7.970%	21.500%	46.400%	73.300%
16	0.030%	0.093%	0.290%	0.925%	8.540%	22.800%	48.300%	74.700%
17	0.032%	0.101%	0.320%	0.996%	9.140%	24.100%	50.200%	76.100%
18	0.034%	0.108%	0.340%	1.070%	9.780%	25.500%	52.000%	77.400%
19	0.037%	0.117%	0.370%	1.150%	10.500%	27.000%	53.900%	78.700%
20	0.040%	0.125%	0.400%	1.240%	11.200%	28.400%	55.700%	79.900%
21	0.043%	0.135%	0.430%	1.330%	11.900%	29.900%	57.500%	81.000%
22	0.046%	0.145%	0.460%	1.430%	12.700%	31.500%	59.200%	82.100%
23	0.049%	0.156%	0.490%	1.540%	13.500%	33.000%	60.900%	83.200%
24	0.053%	0.167%	0.530%	1.650%	14.400%	34.600%	62.600%	84.100%
25	0.057%	0.180%	0.570%	1.770%	15.300%	36.100%	64.300%	85.100%
26	0.061%	0.193%	0.610%	1.890%	16.200%	37.900%	65.900%	85.900%
27	0.065%	0.207%	0.650%	2.030%	17.200%	39.600%	67.400%	86.800%
28	0.070%	0.221%	0.700%	2.320%	18.200%	41.200%	68.900%	81.500%
29	0.075%	0.237%	0.750%	2.320%	19.200%	42.900%	70.400%	88.300%
30	0.081%	0.254%	0.800%	2.480%	20.300%	44.600%	71.800%	89.000%

Tabla 74:*Tabla de Alimentación ATA*

Peso (g)	SGR	FCR	%BWD	Peso (g)	SGR	FCR	%BWD
0.5		1.04	14.8	309	1.4	1.7	2.3
1		1.05	14.6	337	1.2	1.73	2.1
3	13.5	1.07	14.4	365	1.1	1.73	2
5	8.5	1.12	9.5	393	1.1	1.73	1.9
7	6	1.17	7	422	1	1.73	1.8
10	5.4	1.21	6.5	451	0.9	1.73	1.6
13	5.1	1.21	6.2	480	0.9	1.74	1.5
17	4.7	1.21	5.7	509	0.8	1.74	1.5
22	4.8	1.21	5.8	538	0.8	1.75	1.4
29	4.5	1.25	5.6	567	0.7	1.85	1.4
37	3.9	1.28	5	596	0.7	1.87	1.3
46	3.6	1.3	4.7	625	0.7	1.89	1.3
56	3.5	1.32	4.6	654	0.6	1.89	1.2
69	3.3	1.38	4.6	683	0.6	1.95	1.2
83	3.2	1.39	4.4	712	0.6	2	1.2
100	3.1	1.4	4.4	741	0.6	2.05	1.2
120	2.6	1.46	3.8	770	0.5	2.1	1.1
140	2.4	1.51	3.6	799	0.5	2.15	1.1
162	2.1	1.65	3.4	828	0.5	2.2	1.1
184	1.9	1.65	3.1	857	0.5	2.25	1.1
207	1.8	1.66	2.9	886	0.5	2.3	1.1
231	1.6	1.68	2.7	915	0.5	2.35	1.1
256	1.5	1.68	2.6	944	0.4	2.4	1.1
282	1.4	1.68	2.4	973	0.4	2.45	1.1
				1002	0.4	2.5	1

Tabla 75:

Procedimientos de control estadístico para el control de calidad de aguas en sistema recirculado

Variable o categoría	Temperatura	pH	OD(ppm)	OD(%)	Salinidad	KH	GH	TAN (NH3+NH4+)	NO2-	NO3-
Método de Medición	YSI PP	Kit Api	YSI PP	YSI PP	YSI PP	Kit Api	Kit Api	Kit Api	Kit Api	Kit Api
Unidad de medición	°C	Adimensional	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Tipo de control	X-S	\bar{p}	X-R	X-R	X-R	X-R	X-R	\bar{p}	\bar{p}	\bar{p}
Promedio	$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	$\bar{p} = \frac{d_i}{n}$	$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	$\bar{p} = \frac{d_i}{n}$	$\bar{p} = \frac{d_i}{n}$	$\bar{p} = \frac{d_i}{n}$
Variación	$\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n}$		$\frac{M\acute{A}x - M\acute{i}n}{n}$	$\frac{M\acute{A}x - M\acute{i}n}{n}$	$\frac{M\acute{A}x - M\acute{i}n}{n}$	$\frac{M\acute{A}x - M\acute{i}n}{n}$	$\frac{M\acute{A}x - M\acute{i}n}{n}$	$\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
Límite crítico superior	$x + 3 \frac{\sigma}{C_L \sqrt{n}}$	$\bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{x} + A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{x} + A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{x} + A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{x} + A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{x} + A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
Límite crítico Inferior	$x - 3 \frac{\sigma}{C_L \sqrt{n}}$	$\bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{x} - A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{x} - A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{x} - A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{x} - A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{x} - A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
Variable de Agrupación	Semanal	Semanal	Semanal	Semanal	Semanal	Semanal	Semanal	Semanal	Semanal	Semanal
Estimador de control	Índice C_p	%Éxitos	Índice C_p	Índice C_p	Índice C_p	Índice C_p	Índice C_p	%Éxitos	%Éxitos	%Éxitos
Distribución	Normal	Binomial	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Binomial	Binomial	Binomial
Límite de tolerancia (superior)	28	8	7	100%	6			0,1 (NH3); 3 (NH4+)	<u>N.A</u>	
Límite de tolerancia (Inferior)	25	6.5	4	50%	0			0 (NH3); 0 (NH4+)	<u>N.A</u>	

Tabla 76:*Tabla de coeficientes para control estadístico de procesos y calidad*

N	A	A1	A2	A3	C2	C4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	d2	d3	D1	D2	D3	D4
2	2.121	3.76	1.88	2.659	0.5642	0.7979	0	1.943	0	3.267	0	2.606	1.128	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	2.394	1.023	1.954	0.7236	0.8862	0	1.858	0	2.568	0	2.276	1.693	0.888	0	4.358	0	2.575
4	1.5	1.88	0.729	1.628	0.7979	0.9213	0	1.808	0	2.266	0	2.088	2.059	0.88	0	4.698	0	2.282
5	1.342	1.596	0.577	1.427	0.8407	0.94	0	1.756	0	2.089	0	1.964	2.326	0.864	0	4.918	0	2.115
6	1.225	1.41	0.483	1.287	0.8686	0.9515	0.026	1.711	0.03	1.97	0.029	1.874	2.534	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	1.227	0.419	1.182	0.8882	0.9594	0.105	1.672	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.833	0.205	5.203	0.076	1.925
8	1.061	1.175	0.373	1.099	0.9027	0.965	0.167	1.638	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.82	0.387	5.307	0.136	1.864
9	1	1.094	0.337	1.032	0.9139	0.9693	0.219	1.609	0.239	1.761	0.232	1.707	2.97	0.808	0.546	5.394	0.184	1.816
10	0.949	1.028	0.308	0.975	0.9227	0.9727	0.626	1.584	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.973	0.285	0.927	0.93	0.9754	0.299	1.561	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.787	0.812	5.534	0.256	1.744
12	0.866	0.925	0.266	0.886	0.9359	0.9776	0.332	1.541	0.354	1.646	0.346	1.61	3.258	0.778	0.924	5.592	0.284	1.716
13	0.832	0.884	0.249	0.85	0.941	0.9794	0.359	1.523	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.77	1.026	5.646	0.308	1.692
14	0.802	0.848	0.235	0.817	0.9453	0.981	0.384	1.507	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.762	1.121	5.693	0.329	1.671
15	0.775	0.816	0.223	0.789	0.949	0.9823	0.406	1.492	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.755	1.207	5.737	0.348	1.652
16	0.75	0.788	0.212	0.769	0.9523	0.9835	0.427	1.478	0.448	1.552	0.44	1.526	3.532	0.749	1.285	5.779	0.364	1.636
17	0.728	0.762	0.203	0.739	0.9551	0.9845	0.445	1.465	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.743	1.359	5.817	0.379	1.621
18	0.707	0.738	0.194	0.718	0.9576	0.9854	0.461	1.454	0.482	1.518	0.475	1.496	3.64	0.738	1.426	5.854	0.392	1.608
19	0.688	0.717	0.187	0.698	0.9599	0.9862	0.477	1.443	0.497	1.503	0.49	1.483	3.689	0.733	1.49	5.888	0.404	1.596
20	0.671	0.697	0.18	0.68	0.9619	0.9869	0.491	1.433	0.51	1.49	0.504	1.47	3.735	0.729	1.548	5.922	0.414	1.586
21	0.655	0.679	0.173	0.663	0.963	0.9876	0.504	1.424	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.724	1.606	5.95	0.425	1.575
22	0.64	0.662	0.167	0.647	0.9655	0.9882	0.516	1.415	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.72	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.647	0.162	0.663	0.967	0.9887	0.527	1.407	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.716	1.71	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.632	0.157	0.619	0.9684	0.9892	0.538	1.399	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.712	1.759	6.031	0.452	1.548
25	0.6	0.619	0.153	0.606	0.9696	0.9896	0.548	1.392	0.565	1.135	0.559	1.42	3.931	0.709	1.804	6.058	0.549	1.541
>25	$3/(\text{raiz}(n))$	$3/(\text{raiz}(n))$					$1-3/\text{raiz}(2n)$	$1+3/\text{raiz}(2n)$	$1-3/\text{raiz}(2n)$	$1+3/\text{raiz}(2n)$								

Nota: Fuente: *Economic quality control of manufactured product* (Shewhart, 1931). Son valores que permiten estimar la variación de un proceso a partir de una cantidad de muestras reducido.

7.3 Glosario

Δ : Tasa de cambio respecto al eje de ordenadas

(A): Fase de acción

A: O. aureus

B: Híbrido Rocky

CMR: Consumo Medio Real u observado

CMT: Consumo medio teórico o esperado

CTC: Coeficiente térmico de crecimiento

FCR: Factor de conversión alimenticia

GTP: Ganancia de peso total

(H): Fase de ejecución

LC: Línea Central

LISCX: Limite Crítico Inferior (Cartas X-s y X-R)

LSCX: Limite Crítico Superior (Cartas X-s y X-R)

P: Peso vivo

SGR: Tasa específica de crecimiento

(V): Fase de verificación de los resultados obtenidos

μ : Promedio

σ : Desviación estándar Muestral