

**MEJORA DE LOS ESTANDARES PRODUCTIVOS DEL PROCESO DE
CULTIVO DE CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachypomus*) EN LA FASE DE
PRE-CRÍA EN EL DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO – COLOMBIA A PARTIR
DE LA INGENIERÍA DE CALIDAD UTILIZANDO EL DISEÑO DE PARAMETROS
L8**

WILMER RENÉ SANGUINO ORTIZ

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN
CARTAGENA DE INDIAS
2014**

**MEJORA DE LOS ESTANDARES PRODUCTIVOS DEL PROCESO DE
CULTIVO DE CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachypomus*) EN LA FASE DE
PRE-CRÍA EN EL DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO – COLOMBIA A PARTIR
DE LA INGENIERÍA DE CALIDAD UTILIZANDO EL DISEÑO DE PARAMETROS
L8**

WILMER RENÉ SANGUINO ORTIZ

Trabajo de tesis para optar el título de Magister en Ingeniería de Producción

Director
Julio Hurtado Márquez
Msc. en Ciencias Matemáticas

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN
CARTAGENA DE INDIAS
2014**

Nota de aceptación

Julio Hurtado Márquez

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Cartagena de Indias, Enero de 2014.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de maestría,

Con todo cariño y sinceridad a Dios, porque él puso en mi camino a magníficas personas que me colaboraron para que el fruto de todo el trabajo y esfuerzo se materializara, además me ofreció todas las herramientas que necesité en cada momento

A tu amor y comprensión, elegiste durante este tiempo dejar a un lado tus sueños para que yo cumpliera con mi sueño. Con tu nobleza y sacrificio aprendí que el amar no tiene límites y que puedo amarte más; ahora puedo decir que esta tesis tiene mucho de tí. Gracias por haberme acompañado en esta parte de mi vida y estar siempre a mi lado, te amo mucho Karen.

Con todo mi amor y respeto para las personas que me dieron la vida para que yo pudiera disfrutar de ella y alcanzar mis sueños, por apoyarme cuando sentía que ya no podía, a ustedes Mamá y Papá por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A todas las familias Sanguino Ortiz y Larrañaga Villota, que siempre me han motivado para que luche y alcance mis metas, por el apoyo incondicional que siempre me dieron, por contagiarme en esta hermosa ciudad de Cartagena de toda su energía cuando más lo necesitaba para seguir adelante, a todos ellos les dedico cada página de esta tesis; muchas gracias.

A mis profesores que en este tramo de mi vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en prepararme como una persona de bien y profesional para afrontar los retos que me esperan, a todos y cada uno de ellos les dedico este mi trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Tecnológica de Bolívar y al programa Maestría en Ingeniería de Producción, por darme la oportunidad de presentar este trabajo de grado que es fruto de las enseñanzas que recibí por parte de todos los profesores durante mis estudios en la Maestría.

Por su apoyo, dedicación en orientarme y todos los conocimientos que me compartió, le agradezco al profesor y amigo Julio Hurtado Márquez, que como director de esta tesis me enseñó además lo que es estar comprometido para que este trabajo de grado contribuya al conocimiento y permita el explorar un nuevo campo de estudio a la acuicultura.

Debo agradecer a todos mis compañeros de la maestría y aquellas que contribuyeron para que se realizara este estudio y me aportaron con sus ideas y observaciones las cuales fueron oportunas y precisas para el desarrollo de este trabajo.

Muchas gracia a Edison Steve Pecillo Nupan, quien me apoyo permanentemente en la ejecución de este trabajo de grado.

Finalmente agradezco a mi amigo y guía Lino Munieza Quintero, quien siempre me ha apoyado con toda su sabiduría y me ha permitido disponer de la Estación Piscícola Aquamazonia para que en ella realice todas las investigaciones que permitan contribuir al crecimiento de la acuicultura.

A todos, Muchas gracias.

CONTENIDO

RESUMEN.....	20
ABSTRACT.....	21
INTRODUCCIÓN.....	22
1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	25
2 OBJETIVOS.....	28
2.1 Objetivo General.....	28
2.2 Objetivos Específicos.....	28
3 ESTADO DEL ARTE.....	31
3.1 Importancia de la Acuicultura.....	31
3.2 Sistemas de Producción Acuícola.....	35
3.3 Sistema de producción de Cachama Blanca (<i>Piaractus brachypomus</i>)....	37
3.4 Fases de cultivo:.....	37
3.5 Factores de control y de importancia en el cultivo de Cachama blanca ...	38
3.5.1 Densidad de siembra para Cachama Blanca.....	39
3.5.2 Nivel de proteína del balanceado para Cachama blanca.....	41
3.5.3 Tasa y Frecuencia de alimentación para Cachama blanca.....	43
3.5.4 Condiciones y Calidad de agua para Cachama blanca.....	45
3.6 Ingeniería de Calidad.....	47
3.7 Calidad en producción acuícola.....	50
3.7.1 Variables respuesta en producción acuícola.....	54
4 ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	56
4.1 Ubicación.....	56
4.2 Infraestructura.....	56
4.3 Periodo de estudio.....	57
4.4 Material biológico.....	57
4.5 Unidad Experimental.....	57
4.6 Materiales, equipos e insumos.....	58
4.7 Plan de manejo.....	60
4.7.1 Adecuación de instalaciones.....	60

4.7.2	Selección y siembra de animales.....	60
4.7.3	Alimento y Alimentación.....	61
4.7.4	Recambios de agua.....	61
4.7.5	Monitoreo de calidad de agua.....	61
4.7.6	Sobrevivencia.....	62
4.7.7	Muestreos.....	63
4.8	DISEÑO DE PARÁMETROS.....	63
4.8.1	Diseño Ortogonal.....	63
4.8.2	Diseño experimental.....	65
➤	Variable conversión alimenticia:.....	65
➤	Variable incremento de peso periodo:.....	67
➤	Variable porcentaje de sobrevivencia:.....	69
4.8.3	Análisis estadístico.....	72
4.8.4	Validación del modelo matemático.....	73
4.8.5	Comprobación y validación.....	75
4.9	Herramientas Computacionales.....	75
4.10	Variables a evaluar.....	76
4.10.1	Porcentaje de Supervivencia.....	76
4.10.2	Conversión alimenticia aparente (CA).....	77
4.10.3	Incremento de Peso periodo.....	77
4.10.4	Relación Beneficio/Costo (B/C).....	78
4.10.5	Utilidades (U):.....	78
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	80
5.1	Variable Incremento de peso (IP)......	81
5.1.1	Análisis del cociente S/N para IP.....	82
5.1.2	Análisis de la interacción de los factores AD para IP.....	83
5.1.3	Valor predicho para el cociente S/N mayor es mejor para IP.....	84
5.1.4	Análisis de la media para la variable respuesta IP.....	85
5.1.5	Análisis de la interacción de los factores AD para la media IP.....	87
5.1.6	Valor predicho para la media de Incremento de Peso.....	87
5.1.7	Resultados que permiten una mejora a la variable Incremento de peso	88
5.2	Variable Conversión Alimenticia (CA).....	89

5.2.1	Análisis del cociente S/N para CA.....	90
5.2.2	Análisis de la interacción de los factores AD para CA.....	92
5.2.3	Valor predicho para el cociente S/N menor es mejor para CA.	92
5.2.4	Análisis de la media para la variable respuesta CA	93
5.2.5	Análisis de la interacción de los factores AD para la media de CA. ...	95
5.2.6	Valor predicho para la media de Conversión Alimenticia	96
5.2.7	Resultados que permiten una mejora a la variable Conversión Alimenticia	97
5.3	Variable Porcentaje de Supervivencia (%S).	98
5.3.1	Análisis del cociente S/N para %S.	99
5.3.2	Análisis de la interacción de los factores AD para %S.	101
5.3.3	Valor predicho para el cociente S/N del %S.....	101
5.3.4	Análisis de la media para la variable respuesta %S.....	102
5.3.5	Análisis de la interacción de los factores AD para la media de %S..	104
5.3.6	Valor predicho para la media del Porcentaje de Supervivencia	105
5.3.7	Resultados que permiten una mejora a la variable Porcentaje de Supervivencia	106
5.4	Combinación de factores de control para lograr mejoras en la calidad de las variables Incremento de Peso, Conversión Alimenticia y Porcentaje de Supervivencia.....	107
5.5	Corrida de Comprobación en un periodo de prueba (PC).....	108
5.5.1	Variable Incremento de peso (IP) para el periodo de comprobación (PC)	109
5.5.2	Variable conversión alimenticia (CA) para el periodo de comprobación (PC)	110
5.5.3	Variable Porcentaje de Supervivencia (%S), para el periodo de comprobación.	112
5.6	Resultados finales que mejoran la calidad de las variables Incremento de Peso, Conversión Alimenticia y Porcentaje de Supervivencia.	114
5.7	Validación del modelo matemático	117
5.7.1	Validación del modelo matemático para la variable Incremento de Peso (IP).....	117
5.7.2	Validación del modelo matemático para la variable conversión alimenticia (CA)	121
5.7.3	Validación del modelo matemático para la variable porcentaje de supervivencia (%S).....	125

5.8	Análisis económico para los niveles de los factores de control medidos en el periodo de comprobación.....	129
5.9	Análisis de calidad de agua para cada nivel del factor de ruido y el periodo de comprobación.....	130
5.9.1	Temperatura.....	130
5.9.2	Oxígeno disuelto.....	131
5.9.3	Potencial de hidrogenación pH.	133
5.9.4	Nitritos NO ₂	134
6	CONCLUSIONES	136
7	RECOMENDACIONES.....	140
8	RECURSOS Y PRESUPUESTO.....	142
9	BIBLIOGRAFÍA.....	143

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones Físico química del agua	46
Tabla 2. Frecuencia de toma de Muestras de calidad de agua	62
Tabla 3. Factores Controlables y de Ruido	64
Tabla 4. Diseño Ortogonal L8, arreglo interno y externo	64
Tabla 5. Caracterización de los niveles del factor ruido (Periodo)	81
Tabla 6. Resultados para la variable IP en cada nivel del factor de ruido.....	81
Tabla 7. Resultados para S/N mayor es mejor para IP.....	82
Tabla 8. Resultados predichos para cada combinación de los niveles de los factores de control que maximizan el cociente S/N para IP	85
Tabla 9. Resultados medios para IP en cada nivel de cada factor controlable	86
Tabla 10. Resultados predichos para cada combinación de los niveles de los factores de control que optimizan el IP	88
Tabla 11. Resultados que maximizan el cociente S/N y optimizan la media de la variable IP.....	89
Tabla 12. Resultados para la variable CA en cada nivel del factor de ruido.....	90
Tabla 13. Resultados para S/N menor es mejor para CA	91
Tabla 14. Resultados predichos de cada combinación de los niveles de los factores de control que maximizan el cociente S/N para CA	93
Tabla 15. Resultados medios para CA en cada nivel de cada factor controlable. .	94
Tabla 16. Resultados predichos para cada combinación de los niveles de los factores de control que optimizan la CA	97
Tabla 17. Resultado que maximizan el cociente S/N y optimizan la media de la variable CA	98
Tabla 18. Resultados para la variable %S en cada nivel del factor de ruido	99

Tabla 19. Resultados para S/N mayor es mejor para %S.....	100
Tabla 20. Resultados predichos para cada combinación de los niveles de los factores de control que maximizan el cociente S/N para %S.....	102
Tabla 21. Resultados medios para %S en cada nivel de cada factor controlable	103
Tabla 22. Resultados predichos para cada combinación de los niveles de los factores de control que optimizan el %S.....	106
Tabla 23. Resultado que maximizan el cociente S/N y optimizan la media de la variable %S.....	107
Tabla 24. Nivel de los factores de control que permiten una mejora en las variables respuestas evaluadas.	108
Tabla 25. Resultados de media y S/N para la variable IP obtenidos en el diseño L8 durante el periodo de comprobación.....	109
Tabla 26. Resultados de media y S/N para la variable CA obtenidos en el diseño L8 durante el periodo de comprobación.....	111
Tabla 27. Resultados de media y S/N para la variable %S obtenidos en el diseño L8 durante el periodo de comprobación.....	113
Tabla 28. Comprobación de los niveles de los factores de control que permiten una mejora en las variables respuestas evaluadas.	114
Tabla 29. Comparación de los resultados obtenidos de cada variable estudiada en el periodo de comprobación v/s valores predichos.	115
Tabla 30. Tabla comparativa de los resultados generados por el diseño T5 y los estándares internacionales, generales y de Aquamazonía.....	116
Tabla 31. Resultados de normalidad para la variable IP.....	118
Tabla 32. Resultados de normalidad para la variable CA.....	122
Tabla 33. Resultados de normalidad para la variable CA.....	126
Tabla 34. Resultados de utilidad y relación B/C para cada combinación de los niveles de los factores de control evaluados.	129
Tabla 35. Resultados promedios de temperatura para periodo 1, periodo 2 y periodo de comprobación.	131

Tabla 36. Resultados promedios de oxígeno disuelto para periodo 1, periodo 2 y periodo de comprobación.	132
Tabla 37. Resultados promedios de pH para periodo 1, periodo 2 y periodo de comprobación.	133
Tabla 38. Resultados promedios de NO ₂ para periodo 1, periodo 2 y periodo de comprobación.	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efectos principales para S/N mayor es mejor para IP.....	83
Figura 2. Interacción de los factores AD para S/N para IP	84
Figura 3. Efectos principales para medias de IP.....	86
Figura 4. Interacción de los factores AD para IP.....	87
Figura 5. Efectos principales para S/N menor es mejor para CA.....	91
Figura 6. Interacción de los factores AD para S/N para CA.....	92
Figura 7. Efectos principales para medias de CA.	95
Figura 8. Interacción de los factores AD para la media de CA.	96
Figura 9. Efectos principales para S/N mayor es mejor para %S	100
Figura 10. Interacción de los factores AD para S/N para %S	101
Figura 11. Efectos principales para medias de %S.....	104
Figura 12. Interacción de los factores AD para la media de %S en ambos periodos.	105
Figura 13. Interacción de los factores AD para S/N y media de la variable IP, durante el periodo de comprobación.....	110
Figura 14. Interacción de los factores AD para la media de la variable CA, durante el periodo de comprobación.....	112
Figura 15. Interacción de los factores AD para S/N para %S, periodo de comprobación	113
Figura 16. Residuos vs predichos para la variable respuesta IP	117
Figura 17. Porcentaje vs Residuos para la variable respuesta IP.....	119
Figura 18. Residuos vs orden de datos para la variable respuesta IP	120
Figura 19. Residuos vs predichos para la variable respuesta CA.....	121

Figura 20. Porcentaje vs Residuos para la variable respuesta CA	123
Figura 21. Residuos vs orden de datos para la variable respuesta CA	124
Figura 22. Residuos vs predichos para la variable respuesta %S	125
Figura 23. Porcentaje vs Residuos para la variable respuesta IP	127
Figura 24. Residuos vs orden de datos para la variable respuesta %S	128

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Datos de peso inicial en gramos para cada combinación de los factores de control, primer periodo.	150
ANEXO B. Datos de peso final en gramos para cada combinación de los factores de control, primer periodo.	151
ANEXO C. Datos de peso inicial en gramos para cada combinación de los factores de control, segundo periodo.	152
ANEXO D. Datos de peso final en gramos para cada combinación de los factores de control, segundo periodo.	153
ANEXO E. Datos de peso inicial en gramos para cada combinación de los factores de control, periodo comprobación.....	154
ANEXO F. Datos de peso final en gramos para cada combinación de los factores de control, periodo de comprobación.....	155
ANEXO G. Registro y Análisis de Varianza para Temperatura 1º Periodo	156
ANEXO H. Registro y Análisis de Varianza para Oxígeno 1º Periodo	157
ANEXO I. Registro y Análisis de Varianza para pH 1º Periodo.....	158
ANEXO J. Registro y Análisis de Varianza para Nitritos 1º Periodo	159
ANEXO K. Registro y Análisis de Varianza para Temperatura 2º Periodo	160
ANEXO L. Registro y Análisis de Varianza para Oxígeno 2º Periodo.....	161
ANEXO M. Registro y Análisis de Varianza para pH 2º Periodo.....	162
ANEXO N. Registro y Análisis de Varianza para Nitritos 2º Periodo	163
ANEXO O. Registro y Análisis de Varianza para Temperatura Periodo de Comprobación.....	164

ANEXO P. Registro y Análisis de Varianza para Oxígeno Periodo de Comprobación.....	165
ANEXO Q. Registro y Análisis de Varianza para pH Periodo de Comprobación .	166
ANEXO R. Registro y Análisis de Varianza para Nitritos Periodo de Comprobación	167
ANEXO S. Análisis de varianza para la variable incremento de peso (IP).....	168
ANEXO T. Análisis de varianza para la variable conversión alimenticia (CA)	169
ANEXO U. Análisis de varianza para la variable porcentaje de sobrevivencia (%S)	170
ANEXO V. Análisis de varianza entre periodos y prueba de Tukey para Temperatura	171
ANEXO W. Análisis de varianza entre periodos y prueba de Tukey para Oxígeno disuelto	172
ANEXO X. Análisis de varianza entre periodos y prueba de Tukey para pH.....	173
ANEXO Y. Análisis de varianza entre periodos y prueba de Tukey para Nitritos	174

GLOSARIO

ALEVINO: cría de pez que incluye la fase comprendida entre la larva y el adulto y que en ciertos peces de agua dulce se utiliza para repoblar.

ARREGLO EXTERNO: sirve para determinar las condiciones de operación robustas a uno o varios factores de ruido. En este tipo de arreglos se ubican los niveles de los factores de ruido.

ARREGLO INTERNO: en este tipo de arreglos permite ubicar los factores de control con sus respectivos niveles dentro de cada tipo de diseño ortogonal.

BALANCEADO: alimento elaborado cuya composición es conocida, y se fabrica teniendo en cuenta criterios de equilibrio, donde se prepara una mezcla de alimentos naturales pre cocidos, que contienen todos los ingredientes nutricionales necesarios para cada especie animal.

DENSIDAD DE SIEMBRA: relación del número de organismos hidrobiológicos con la superficie o volumen de un cuerpo de agua y varía según los requerimientos de la especie a cultivar y las características físico-químicas del agua.

DISEÑO L8: es un tipo de diseño ortogonal el cual permite evaluar hasta 7 factores de control cada uno con 2 niveles.

DISEÑO ORTOGONAL: es una combinación de los principios de diseño de ingeniería de ruido y la versión del diseño experimental de Taguchi, es una matriz experimental factorial fraccionada que a su vez es ortogonal y equilibrado.

DISEÑO TAGUCHI O DE PARÁMETROS: es una metodología sistemática que aplica diseño estadístico experimental para detallar las funciones de transferencia y la optimización del diseño dentro del producto o proceso.

ESPECIE NATIVA: organismo específico de un lugar, región o país también denominada autóctona.

FACTOR DE CONTROL: es toda condición que se aplica a un producto o proceso que puede ser controlado o manipulado por el investigador.

FACTOR DE RUIDO: es toda condición que interfiere con el producto o proceso y que no puede ser controlado o manipulado por el investigador.

PRE-CRÍA: es una fase de cultivo dentro del proceso productivo en la acuicultura.

PROFILAXIS: tratamiento preventivo de desinfección para evitar la transmisión de un agente etiológico.

SEÑAL/RUIDO: Estadístico que mide la robustez en cada combinación de los factores de control. Siempre se busca maximizarlo.

RESUMEN

En este trabajo de grado, se evaluaron las variables respuestas incremento de peso (IP), conversión alimenticia (CA) y porcentaje de sobrevivencia (%S) dentro del proceso de cultivo de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en la fase de pre-cría, en la estación acuícola Aquamazonía – Putumayo Colombia; haciendo uso del diseño ortogonal L8 de Taguchi, se midió la influencia sobre las respuestas de los factores de control con dos niveles: densidad de siembra (A), tasa de alimentación (B), frecuencia alimentaria (C) y nivel de proteína del alimento (D), y de un factor de ruido (periodo de cultivo), además de la interacción de los factores AD.

Los resultados obtenidos permitieron encontrar un punto de mejora de los estándares productivos del proceso de cultivo de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en la fase de pre-cría. La combinación de los niveles de los factores de control obtenida fue A2, B1, C1 y D2, la cual se verificó experimentalmente en un periodo de comprobación, lográndose obtener en este periodo minimizar la variable respuesta CA con un valor final de 0,75:1; maximizar la variable respuesta IP con un valor de 4,63 g/periodo y se obtuvo un 93,33% de sobrevivencia, el cual superaba al nivel histórico de Aquamazonía que era del 90%; así como minimizar la variabilidad ocasionada por el factor de ruido sobre las variables de respuesta. También se estableció que la interacción de los factores de control A y D tiene influencia en las variables de respuesta estudiadas.

La combinación de los niveles de los factores de control determinados en este estudio (A2, B1, C1 y D2), permiten optimizar las utilidades en un ciclo de producción de Cachama blanca en la fase de pre-cría para una hectárea, con ingresos por \$ 21.267.659, superiores a los que se generarían cuando todos los factores de control se encuentra en el nivel actual de producción, los cuales serían de \$18.300.422.

ABSTRACT

In this thesis, the response variables weight gain (IP), feed conversion (FC) and survival rate (% S) were evaluated into of the process of growing Pacu (*Piaractus brachypomus*) in the pre-breeding phase, in the station in aquaculture Aquamazonía - Putumayo Colombia, making use of orthogonal design L8 Taguchi, influence on the responses of the control factors was measured with two levels: stocking density (A), feed rate (B), food frequency (C) and food protein level (D), and a noise factor (culture period), also the interaction of factors AD.

The results allowed to find a point of improvement of production process standards culture Pacu (*Piaractus brachypomus*) in the pre-breeding phase. The combination of the levels of the control factors obtained was A2, B1, C1 and D2, which was verified experimentally by testing period, achieving gain in this period minimize the response variable CA with a final value of 0.75:1; maximize IP response variable with a value of 4.63 g/period and 93.33% survival, which exceeded the historic level of Aquamazonia that was 90% was obtained, as well as minimize the variability caused by noise factor on the response variables. It was also established that the interaction of the control factors A and D influences the response variables studied.

The combination of the levels of the control factors determined in this study (A2, B1, C1 and D2), to optimize profits in a production cycle Pacu in the pre-breeding phase for one hectare, with incomes \$ 21,267,659 in excess of those that would be generated when all factors of control is at the actual level of production, which would be \$ 18,300,422.

INTRODUCCIÓN

Un proceso de calidad en producción acuícola, parte de un manejo adecuado de los factores de control tales como densidad de siembra, alimentación, preparación de recintos acuícola, etc; ya que estos influyen directamente sobre el proceso productivo; dichos factores deben estar dentro de los niveles correctos para garantizar que las variables respuestas alcancen su valor óptimo.

Lograr determinar los niveles de los factores de control, es un estudio que se realiza en la etapa del diseño (fuera de línea) del producto/ proceso Wu (1997)¹, con lo cual se asegura la calidad cuando el producto/proceso se esté ejecutando (dentro en línea). La producción acuícola ha crecido durante los últimos años FAO (2012)² como respuesta a la alta demanda de carne de pescado, lo cual ha traído consigo mejorar los proceso productivos que actualmente se realizan para obtener mejores resultados económicos.

Debido a lo anterior, varios autores han estudiado diferentes factores de control de forma independiente; Wicki *et al* (2009),³ evaluó la densidad de siembra en

¹WU, Yui y WU, Alan. Diseño Robusto utilizando los Métodos Taguchi. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos S.A, 1997. p. 1.

² ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). El estado mundial de la Pesca y Acuicultura 2012. Roma, Italia. FAO. 2012. p. 100. (Citado 8 de Marzo de 2012). Disponible en Internet: URL: <http://www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf>

³ WICKI, Gustavo *et al*. Stock densities, growth and survival for pacu (*Piaractus mesopotamicus*).World Aquaculture.2009. p. 52. (Citado 19 de Diciembre 2012) Disponible en Internet: URL: <https://www.was.org/magazine/Contents.aspx?Id=29>

Piaractus mesopotamicus, Visbal *et al* (2013).⁴ estudió los niveles óptimos de proteína en *Prochilodus mariae*, Victoriano *et al* (2012).⁵ determinó la frecuencia alimentaria y la ración de alimento en juveniles de *Psetta maxima*, entre otras investigaciones; con lo cual se ha buscado determinar los mejores niveles que maximizan el crecimiento, sobrevivencia o minimizan la conversión alimenticia.

Los estudios realizados han permitido avances importantes en los procesos productivos de la acuicultura y que cada día son susceptibles de mejorarse, debido a que nuevas especies asumen un espacio importante dentro de los cultivos, las condiciones climáticas están fluctuando e influyen en los resultados de las variables respuestas.

El propósito de este estudio, fue mejorar los estándares productivos del proceso de cultivo de la especie Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en la fase de pre-cría que se realiza en la estación Piscícola Aquamazonía en el departamento del Putumauyo, evaluando cuatro factores de control densidad de siembra, tasa de alimentación, frecuencia alimentaria y nivel de proteína de la dieta, para lograr optimizar las variables respuesta incremento de peso, conversión alimenticia y

⁴ VISBAL, Tomas *et al*. Nivel óptimo de proteínas en la dieta para alevines de *Prochilodus mariae*. Revista Chilena de Nutrición – Scielo, 2013. vol.40, n.2, pp. 141-146. (Citado 18 de diciembre 2013) Disponible en Internet: URL: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182013000200008&script=sci_abstract

⁵ VICTORIANO, Pepe *et al*. Efecto del aumento de la temperatura, frecuencia de alimentación y ración de alimento en el crecimiento de juveniles de Turbot *Psetta máxima*. *Int. J. Morphol.*[online]. 2012, vol.30, n.3, pp. 902-907 (Citado 20 de Mayo 2013). Disponible en Internet: URL: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-95022012000300023&script=sci_arttext

porcentaje de sobrevivencia ante el factor de ruido denominado periodo que se caracterizó por la variación de las condiciones de calidad de agua tales como temperatura, oxígeno disuelto, pH y nitritos, y lograr las mejores utilidades económicas.

1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La FAO (2012)⁶, sostiene que la comunidad mundial están enfrentando diversos retos entre los cuales están la alimentación de toda la población; de ahí que Torsten *et al* (2008).,⁷ manifiestan que esta es una de las razones por lo cual se ha expandido la acuicultura trayendo consigo problemáticas a los sistemas de producción tradicionales, debido a la baja capacidad para sostener dicha demanda, por lo cual ha sido necesario recurrir a otros sistemas más intensivos.

Lekang (2007)⁸, los sistemas de producción intensivos, requieren de un buen control de factores para que su funcionamiento cumpla con las expectativas de la producción acuícola y de calidad. Entre los factores de mayor relevancia están: Calidad de agua, Densidad de siembra y Nutrición. Conocer el nivel óptimo de los factores contribuye a la calidad del sistema y altos beneficios productivos y económicos.

⁶ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). Op. cit., p 100

⁷TORSTEN, Wik *et al*. Integrated dynamic aquaculture and wastewater treatment modelling for recirculating aquaculture systems. Elsevier, Aquaculture.2008. p. 369. (Citado 30 Noviembre 2012) Disponible en Internet: URL: www.elsevier.com/locate/aqua-online

⁸LEKANG, Odd-Ivar. Aquaculture Engineering. Oxford, Reino Unido: Blackwell Publishing Ltd, 2007. p. 97

Turnbull *et al* (2005)⁹; Iguchi *et al* (2003)¹⁰ y Wicki *et al* (2009).¹¹ han estudiado distintos factores controlables en acuicultura de forma separada y determinaron como cada uno de estos afectan la producción acuícola, sin embargo Argumedo (2000)¹² para el caso del sistema de producción piscícola de la especie Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), sostiene que estos cultivos están bajo el efecto de múltiples factores que afectan las respuestas del proceso; en consecuencia es fundamental que estos factores se estudien en conjunto

Aguilar (2010)¹³, el crecimiento de los peces está afectado por condiciones inherentes al pez y a las condiciones dependientes del ambiente como la nutrición, densidad, calidad de agua, número de recambios etc. Una problemática es poder ajustar estos factores para que se generen situaciones óptimas que maximicen o minimicen las variables productivas; tales como: Conversión alimenticia, crecimiento, sobrevivencia, etc.

⁹TURNBULL, James *et al*. Stocking density and welfare of cage farmed Atlantic salmon: application of a multivariate analysis. Elsevier, Aquaculture. 2005 (Citado 3 de Junio 2013) Disponible en Internet: URL:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848604005538>

¹⁰ IGUCHI, Kei'ichiro *et al*. The influence of rearing density on stress response and disease susceptibility of ayu (*Plecoglossus altivelis*). Elsevier, Aquaculture. 2003 (Citado 28 de Agosto 2013) Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848602006269>

¹¹WICKI, Gustavo *et al*. Op. cit., p. 52.

¹²ARGUMEDO, Eric y ROJAS, Héctor. Manual de piscicultura con especies nativas. Asociación de acuicultores del Caquetá ACUICA. Bogotá, Colombia: Produmedios, 2000. p. 30.

¹³AGUILAR, Fredy. Modelos matemáticos no lineales como herramienta para evaluar el crecimiento de Tilapia roja (*Oreochromis spp.*) y Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* var. chitralada) alimentadas con dietas peletizadas o extruidas. Tesis para optar al título de Magíster en Producción Animal Línea de investigación – Nutrición animal. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Bogotá, 2010. p. 33. (Citado 18 de Febrero 2013) Disponible en Internet: URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2813/1/780183.2010.pdf>

Por lo anterior se planteó lo siguiente: ¿Introducir una mejora en los niveles actuales de los factores controlables densidad de siembra, tasa de alimentación, frecuencia alimentaria y nivel de proteína, considerando al factor de ruido diferencia de periodo; en el proceso productivo de *P. brachypomus* en la fase de pre-cría, a partir de Ingeniería de Calidad utilizando el diseño ortogonal L8 optimizaría las variables respuestas: conversión alimenticia, tasa de crecimiento y porcentaje de sobrevivencia y acrecentaría los beneficios económicos?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Mejorar la calidad del proceso productivo de Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*) en la fase de pre-cría en el Departamento del Putumayo-Colombia, analizando estadísticamente la incidencia de los factores densidad de siembra, tasa de alimentación, frecuencia alimentaria, nivel de proteína y diferencia de periodo que tienen sobre las variables respuesta: conversión alimenticia, porcentaje de sobrevivencia e incremento de peso, a partir de la Ingeniería de Calidad utilizando el diseño de parámetros L8.

2.2 Objetivos Específicos

1. Construir un arreglo ortogonal L8 con arreglo interno para los factores de control: densidad de siembra, tasa de alimentación, frecuencia alimentaria, nivel de proteína y la interacción entre densidad y nivel de proteína; y, arreglo externo para el factor de ruido diferencia de periodo, eligiendo el orden de los factores de control según la dificultad que presenten para cambiar de nivel en cada medición de las variables respuesta.

2. Analizar estadísticamente el arreglo L8 construido para la variable respuesta conversión alimenticia clasificando los factores de control que tienen incidencia: sobre la media y la variabilidad, solo media, solo variabilidad y ninguna de las dos, eligiendo los niveles de los factores de control que maximizan la señal ruido menor es mejor y minimizan la media de la variable respuesta conversión alimenticia.

3. Analizar estadísticamente el arreglo L8 construido para la variable respuesta porcentaje de sobrevivencia, clasificando los factores de control que tienen incidencia: sobre la media y la variabilidad, solo media, solo variabilidad y ninguna de las dos, eligiendo los niveles de los factores de control que maximizan la señal ruido mayor es mejor y maximizan la media de la variable de respuesta sobrevivencia.

4. Analizar estadísticamente el arreglo L8 construido para la variable respuesta incremento de peso, clasificando los factores de control que tienen incidencia: sobre la media y la variabilidad, solo media, solo variabilidad y ninguna de las dos, eligiendo los niveles de los factores de control que maximizan la señal ruido mayor es mejor y maximizan la media de la variable de respuesta incremento de peso.

5. Comprobar experimentalmente si los niveles de los factores controlables obtenidos del análisis estadístico del arreglo L8 para cada una de las variables

respuesta estudiadas corresponden a las mejoras esperadas, comparándolas con los resultados obtenidos del arreglo L8 y los estándares nacional e internacional.

6. Elegir los niveles de mejora de los factores controlables obtenidos de la comprobación experimental que optimicen conjuntamente las variables respuesta: conversión alimenticia, porcentaje de sobrevivencia e incremento de peso, a partir del análisis de costos.
7. Verificar y validar las propiedades del modelo matemático obtenido a partir del análisis del diseño de parámetros L8 y estimando las respuestas medias y la señal ruido para cada una de las variables de respuesta en los niveles de mejora elegidos a partir del análisis de costos.

3 ESTADO DEL ARTE

3.1 Importancia de la Acuicultura

La Organización de las Naciones Unidas (2010),¹⁴ establece que algunos de los objetivos del milenio para el año 2015 es reducir a la mitad las condiciones de pobreza extrema y el porcentaje de personas que padecen hambre. Por lo tanto las actividades agropecuarias de cada país, son la alternativa para obtener mayor producción de alimentos a un bajo costo y generar empleos directos; en consecuencia es necesario que estas actividades sean cada día más eficientes y productivas. Una de las actividades de mayor impacto en las últimas décadas ha sido la acuicultura, debido a su permanente crecimiento en producción, la alta productividad por unidad de área, los bajos costos, la calidad nutricional de los alimentos entre otras características.¹⁵

La acuicultura inició hace milenios (2000 - 1000 A.C), como una forma de producción en China y Egipto, sin embargo aún en el siglo XXI esta actividad está en desarrollo y cubre casi del 50% de la demanda de alimentos de origen

¹⁴ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS ONU. Objetivos de desarrollo del milenio. Informe 2010. Nueva York, Estados Unidos. p. 6. (Citado 18 de Junio 2013) Disponible en Internet: URL: http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/MDG_Report_2010_SP.pdf

¹⁵ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO), Op. cit., p. 5.

acuático; la FAO (2001)¹⁶ define a la acuicultura como el cultivo de diferentes organismos hidrobiológicos, utilizando sistemas de producción desde los menos complejos hasta los más sofisticados; su objetivo es la obtención de alimentos de alta calidad nutricional para cubrir la demanda global que requiere la humanidad; actualmente la productividad por hectárea es muy superior a otras actividades tradicionales como son la agricultura o la ganadería, y el impacto ambiental negativo que genera es mucho menor que las actividades mencionadas.

La producción acuícola utiliza diferentes sistemas y tecnologías de producción de carne de pescado; que permanentemente se están mejorando a través de la investigación para alcanzar mejores resultados y eficiencia productiva¹⁷. En Colombia se utilizan varios de estos sistemas para la producción de diversas especies hidrobiológicas.

El Diagnostico del Estado de la Acuicultura en Colombia (2011)¹⁸, indica que en Colombia, desde el año 1958 a 2010 el crecimiento ha sido de un 20,44%

¹⁶ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). Aquaculture topics and activities. Acuicultura. In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [en línea]. Roma. Actualizado 27 September 2001. (Citado 11 de Marzo 2013). Disponible en Internet: URL:<http://www.fao.org/fishery/topic/13530/es>

¹⁷POLEO, Germán; ARANBARRIO, José; MENDOZA, Lismen; ROMERO, Oneida. Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. Brasília, Brasil: Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2011. p. 429. (Citado 20 de Septiembre 2012) Disponible en Internet: URL: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n4/13.pdf>

¹⁸PLAN NACIONAL DE DESARROLLO DE LA ACUICULTURA SOSTENIBLE EN COLOMBIA FAO – INCODER. Diagnostico del Estado de la Acuicultura en Colombia. 2011. p. 48 y 66 (Citado 11 de Diciembre 2012). Disponible en Internet: URL:http://www.ceniagua.org/archivos/Diagnostico_para_revison_Dic_5_2011_v1.pdf

alcanzando 73.000 toneladas las cuales están representadas por el cultivo de diferentes especies hidrobiológicas dentro de estas se encuentra la Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) con una participación del 11,5%.

La Encuesta Nacional Piscícola (2012)¹⁹ sostiene que la especie acuícola nativa de mayor producción en Colombia fue la Cachama Blanca con un aporte de 4.525,5 toneladas en el semestre A del 2012; sin embargo en el mismo informe se expone que la producción acuícola nacional ha disminuido con respecto al mismo periodo en el año 2011.

El Diagnostico del Estado de la Acuicultura en Colombia (2011)²⁰ señala que el sistema de cultivo semi-intensivo es el más utilizado en Colombia, lo cual implica grandes extensiones de tierra y abundante agua para su funcionamiento, por lo tanto son sistemas poco eficientes en cuanto a producción de biomasa por unidad. La Revisión Regional sobre la situación y tendencias en el desarrollo de la acuicultura en América Latina y el Caribe (2010)²¹ informa que la disponibilidad de agua dulce puede convertirse en una limitante para la producción acuícola; por lo

¹⁹CORPORACIÓN COLOMBIANA INTERNACIONAL – CCI, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL – MADR. Encuesta Nacional Piscícola 2012, Informe de Resultados. Colombia. p. 7 Y 10. (Citado 19 de Octubre 2013) Disponible en Internet: URL: <http://acac.org.co/ADMINISTRATIVA/2012/notic/INFORME%20ENCUESTA%20PISCICOLA%202012.pdf>

²⁰PLAN NACIONAL DE DESARROLLO DE LA ACUICULTURA SOSTENIBLE EN COLOMBIA FAO – INCODER, Op. cit., p. 72

²¹ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (2010). Revisión Regional sobre la situación y tendencias en el desarrollo de la acuicultura en América latina y el Caribe – 2010. Fisheries and Aquaculture N° 1061. Roma, 2011. p. 159. (Citado 5 de Abril 2013) Disponible en Internet: URL: <http://www.fao.org/docrep/014/i2142b/i2142b.pdf>

tanto es necesario dar un mejor uso a este recurso utilizando diferentes tecnologías y sistemas. La eficiencia de la piscicultura depende de factores que son controlados y otros que son aleatorios o difíciles de controlar como son las condiciones climáticas, por lo tanto para lograr una alta calidad y la eficiencia del sistema se requiere un manejo adecuado de los factores controlables.

La piscicultura en Colombia está dividida en la producción de especies ícticas foráneas y nativas, igualmente en los sistemas de producción extensivos, semi-intensivos e intensivos, este último solo se practica con especies como tilapia y trucha logrando altas producciones por volumen²². La Revisión Regional sobre la situación y tendencias en el desarrollo de la acuicultura en América Latina y el Caribe (2010)²³ indica que existe un creciente de la I + D para fomentar la diversificación de la producción acuícola a especies nativas. Sin embargo se requiere de estudios económicos, de mercado y de comercialización.

Victoriano *et al* (2012),²⁴ indica que existen parámetros que son fundamentales o principales en cuanto al crecimiento y la supervivencia de los peces en cautiverio; por lo tanto la combinación óptima de estos parámetros maximiza el crecimiento y supervivencia de los individuos y garantizan la producción.

²²PLAN NACIONAL DE DESARROLLO DE LA ACUICULTURA SOSTENIBLE EN COLOMBIA FAO – INCODER, Op. cit., p. 72

²³ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (2010), Op. cit., p. 159.

²⁴VICTORIANO, Pepe *et al.*, Op. cit., p. 1

3.2 Sistemas de Producción Acuícola

La acuicultura ha definido según su complejidad, su capacidad de producción, el control del sistema, entre otros aspectos, en diferentes sistemas productivos, tales como:

- **Sistema extensivo:** realizado en lagos o lagunas, con densidades de siembra de 1 pez/5 – 10 m², la alimentación de los peces se realiza con la productividad natural del lugar. La producción de carne en este tipo de sistema es de 500kg/ha²⁵
- **Sistema semi - intensivo:** se realiza en estanques de 300 y 2.500 m², con densidades de 2 a 4 peces/m²; se recomienda suministrar alimento concentrado y suplementar con alimento natural a través de la fertilización del agua en el estanque. La producción estimada es de 1500 kg/ha.²⁶
- **Sistema intensivo:** realizado en estanques con alto recambio de agua (mínimo un 30% diario), utilizando densidades entre 5 y 15 peces/m² y

²⁵TIDWELL, James. Aquaculture Production Systems. Iowa, Estados Unidos: Wiley – Blackwell. 2012. p. 75 (Citado 10 de Mayo 2013) Disponible en Internet: URL: http://www.amazon.com/Aquaculture-Production-Systems-James-Tidwell/dp/0813801265#reader_0813801265

²⁶Ibid., p. 12

alimento concentrado exclusivamente. Se estima que las producciones pueden oscilar entre 40-120 kg/m³ dependiendo de las condiciones de cultivo.²⁷

Teniendo en cuenta lo anterior, las principales diferencias de los sistemas de producción acuícola, están focalizadas en cuanto a la densidad de siembra, la alimentación de los peces y en general al tipo de tecnología que se usa en cada uno de estos sistemas.

Victoriano *et al* (2012).,²⁸ sostiene que el crecimiento de los peces está regulado por factores abióticos y bióticos; para estos últimos depende de los atributos propios de la especie seleccionada. En consecuencia el buen desarrollo de los sistemas de producción depende de maximizar los atributos bióticos mediante la optimización de los factores abióticos.

La Encuesta Nacional Piscícola (2012)²⁹ en su informe estadístico, reporta que en Colombia la infraestructura para producción acuícola en su gran mayoría se realiza en estanques excavados con un espejo de agua de 19.833.961,3 m² en comparación con el uso de jaulas flotantes que ocupan tan solo un espejo de agua

²⁷TIDWELL, James, Op. cit., p. 12

²⁸VICTORIANO, Pepe *et al.*, Op. cit., p. 902.

²⁹ CORPORACIÓN COLOMBIANA INTERNACIONAL – CCI, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL – MADR, Op. cit ., p. 12

de 1.049.834,7 m². En consecuencia es importante lograr una alta eficiencia en la producción piscícola que permita en estos sistemas incrementar la productividad.

3.3 Sistema de producción de Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*)

Actualmente, el cultivo de esta especie se realiza en estanques excavados donde se cumplen las tres fases de producción, tales como: Pre-cría, levante y ceba. Los estanques son preparados con fertilizantes químicos y orgánicos, así mismo se utiliza cal para equilibrar el pH del agua y como desinfectante³⁰.

3.4 Fases de cultivo:

- **Pre-cría:** Esta fase inicial, consiste en sembrar alevinos de 2,5 cm de largo en estanques diseñados para este objetivo, normalmente se utiliza una densidad de 30 animales/m², el periodo está comprendido entre 30 y 40 días; al finalizar este tiempo se espera que los animales alcancen un peso aproximado de 35-40 g, momento en el cual son trasladados para una nueva fase.

- **Levante:** Los peces que pasan a esta fase, son sembrados en estanques a una menor densidad, entre 10 – 12 animales/m², el periodo de cultivo tiene

³⁰PLAN NACIONAL DE DESARROLLO DE LA ACUICULTURA SOSTENIBLE EN COLOMBIA FAO – INCODER, Op. cit., p. 72 - 75

una duración de 60 días y se espera que estos alcancen un peso mayor a 160 g, para que pasen a la fase final de ceba.

- **Ceba:** En esta etapa final, los peces son sembrados a una densidad de 1-3 animales/m², el tiempo de duración de 40 días, durante este periodo los peces alcanzan el peso de cosecha de 280 - 300 g. Por lo tanto la producción por unidad de área está entre 0,28 – 1 kg.

3.5 Factores de control y de importancia en el cultivo de Cachama blanca

En diferentes investigaciones realizadas con varias especies ícticas, los autores han controlado y evaluado dentro de sus estudios factores tales como la densidad de siembra Poleo *et al* (2011),³¹ tasa de alimentación y frecuencia alimentaria Li *et al*³², y nivel de proteína Britz y Hecht (1997)³³ entre otros.

³¹ POLEO, Germán *et al.*, Op. cit., p. 429

³² LI, Xiang-fei *et al.*, Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings. Elsevier, Aquaculture. 2010. p. 66. (Citado 23 de Agosto 2013) Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848610001869>

³³ BRITZ, Peter y HECHT, Thomas. Effect of dietary protein and energy level on growth and body composition of South African abalone, *Haliotis midae*. Elsevier, Aquaculture. 1997. p. 195. (Citado 2 de Marzo 2013) Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848697000902>

Por otro lado el Diagnostico del Estado de la Acuicultura en Colombia (2011)³⁴ informa que las condiciones y respuestas que en general se manejan dentro del cultivo de la Cachama blanca son los siguientes:

- ✓ Frecuencia alimentaria al día entre 3 y 4 veces
- ✓ Conversión alimenticia 1,4 a 1,7:1
- ✓ Mortalidad entre 5 y 10%
- ✓ Recambios de agua del 15% diario,
- ✓ Densidades 1-4 peces/m²

3.5.1 Densidad de siembra para Cachama Blanca

Anguas *et al* (2003)³⁵, sostienen que la densidad tiene efecto sobre las variables respuestas en especial con la conversión alimenticia, así mismo manifiesta que este factor tiene efecto diferentes sobre cada especie íctica; en consecuencia es fundamental determinar el nivel óptimo de densidad de siembra.

³⁴PLAN NACIONAL DE DESARROLLO DE LA ACUICULTURA SOSTENIBLE EN COLOMBIA FAO – INCODER, Op. cit., p. 73

³⁵ANGUAS, Benjamín *et al.*, Efecto de la temperatura y la densidad de cultivo sobre el crecimiento de juveniles de la cabrilla arenera, *Paralabrax maculatofasciatus*. México, 2003. p. 313 (Citado 8 de Diciembre 2012) Disponible en Internet: URL: <http://investigacion.izt.uam.mx/rehb/publicaciones/13-4PDF/309-316%20Anguas.pdf>

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (2010)³⁶ explica que dentro de los aspectos relevantes del cultivo de Cachama blanca, se encuentra la densidad de siembra y que para producción en estanques en la fase final del cultivo es de 1 pez/m².

Poleo *et al* (2011).³⁷ informa que utilizó altas densidades de 31.25 peces/m³ en tanques de 4,5 m³ para la producción de Cachama blanca bajo las condiciones de dos sistemas cerrados, demostrando que es posible utilizar altas densidades en el cultivo de esta especie.

Rodríguez (2012)³⁸, controló la densidad de siembra de 1,25 peces/m³ para evaluar la restricción alimenticia en juveniles de Cachama blanca. Los resultados arrojados demuestran que la densidad fue adecuada y que las diferencias que encontraron en los resultados se debieron a los tratamientos de restricción alimentaria que utilizaron.

³⁶ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (2010). Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: Una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo. Roma, Italia: Serie Acuicultura en Latinoamérica N° 1. p. 92 (Citado 29 de Mayo 2013) Disponible en Internet: URL: ftp://ftp.fao.org/Fi/DOCUMENT/aquaculture/aq2010_11/root/2010/i1773s.pdf

³⁷ POLEO, Germán *et al.*, Op. cit., p. 429

³⁸ RODRÍGUEZ, Liliana. Efecto de la restricción alimenticia sobre el metabolismo energético y el crecimiento en juveniles de cachama *Piaractus brachypomus*. Tesis para optar al título de Magíster en Salud y Producción Animal. Línea de investigación – Fisiología de la Reproducción. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Bogotá, 2012. p. 55 (Citado 19 de Octubre 2013) Disponible en Internet: URL:<http://www.bdigital.unal.edu.co/6398/1/780170.2012.pdf>

3.5.2 Nivel de proteína del balanceado para Cachama blanca

Vásquez *et al* (2012).,³⁹ sostiene que es importante ampliar los conocimientos sobre el efecto de diferentes niveles de proteína de un alimento balanceado en el crecimiento de especies nativas como la Cachama blanca.

La producción industrial de cachama blanca utiliza como alimento para los peces balanceados con diferentes niveles de porcentajes de proteína bruta, según la fase en que se encuentre. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2010)⁴⁰ señala, que para la fase de alevinaje se recomienda un nivel de proteína de entre el 28% y 32%, así una cantidad diaria correspondiente al 10% de la biomasa.

Abdel –Tawwab *et al* (2010).,⁴¹ evaluó la ganancia de peso en tilapia de Nilo, utilizando diferentes niveles de proteína en la dieta que se le suministró; los autores encontraron que tanto el crecimiento como la conversión alimenticia presentaron diferencias significativas.

³⁹VÁSQUEZ, Wálter *et al.*, Effects of dietary protein level on growth and serum parameters in cachama (*Piaractus brachypomus*). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 2012. Vol. 25 N° 3. p. 459 (Citado el 10 de Julio 2013) Disponible en Internet: URL: <http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/view/804/883#b0>

⁴⁰ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (2010), Op. cit., p. 89

⁴¹ABDEL-TAWWAB, Mohsen *et al.*, Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*(L.).Elsevier, Aquaculture. 2010. p. 270 (Citado 2 de Mayo 2013) Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848609008849>

Guo *et al* (2012).⁴² evaluó diferentes niveles de proteína en la alimentación de juveniles de híbridos de esturión, los resultados demostraron que cada tratamiento fue significativo y que las variables evaluadas mostraron resultados diferentes.

Vásquez *et al* (2012).⁴³ demostró que para alcanzar el máximo crecimiento de cachama blanca el nivel de proteína recomendado es de 31,6% y que con valores superiores de proteína no se mejora la ganancia de peso y afectan la conversión alimenticia.

Visbal *et al* (2013).⁴⁴ establece que es fundamental suplir las necesidades nutricionales de una especie íctica de manera adecuada, debido a que esto permite incrementar la densidad de siembra y mejora las respuestas productivas, favoreciendo con esto la economía de un país. En consecuencia determinar el nivel óptimo de proteína que una especie necesita se traduce en una disminución de los costos de alimento, además de una reducción significativa de desechos nitrogenados.

⁴²GUO, Zhiqiang *et al.*, Effects of dietary protein level on growth performance, nitrogen and energy budget of juvenile hybrid sturgeon, *Acipenserbaerii* x *A. gueldenstaendtii*. Elsevier, Aquaculture. 2012. p. 93 (Citado 18 de Junio 2013) Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848612000099>

⁴³VÁSQUEZ, Wálter *et al.*, Op. cit., p. 459

⁴⁴VISBAL, Tomas *et al.*, Op. cit., p. 144

3.5.3 Tasa y Frecuencia de alimentación para Cachama blanca

Aguilar (2010)⁴⁵, explica que como mecanismos para lograr una alta tasa de crecimiento en los peces, una práctica realizada en las estaciones piscícolas es suministrar alimento a saciedad, sin embargo afirma que los mismos resultados se pueden obtener con un 70% del alimento que se suministra bajo esta modalidad.

Victoriano *et al* (2012).⁴⁶ sostiene que la frecuencia y la ración de alimentación son parámetros importantes para lograr una producción eficiente. Por lo tanto los factores relacionados con la nutrición son fundamentales en el crecimiento y sobrevivencia de los peces. La frecuencia de alimentación depende del tamaño de los peces, de la especie, de la edad, etc. Así mismo la ración o cantidad de alimento que se suministra en un día es importante en cuanto al crecimiento de los peces y está muy relacionado con los costos de producción, por lo tanto un exceso o déficit de la ración afecta negativamente el crecimiento o la rentabilidad, esto ha sido muy poco estudiado.

Andrade de Pasquier *et al* (2011).⁴⁷ en su investigación inició con una ración diaria de 5,5% en base al peso promedio corporal. Para Poleo *et al* (2011).⁴⁸ los

⁴⁵ AGUILAR, Fredy, Op. cit., p. 25

⁴⁶VICTORIANO, Pepe *et al.*, Op. cit., p. 902

⁴⁷ANDRADE DE PASQUIER, Glenys *et al.*, Engorde experimental de cachama (*Colossoma macropomum*) en la Estación Local El Lago, estado Zulia, Venezuela. *Zootecnia Trop.* [online]. 2011, vol.29, n.2. p. 216. (Citado el 7 de Mayo 2013) Disponible en Internet.

peces se alimentaron una vez al día a saciedad, con alimento balanceado comercial con 28% de proteína cruda. En la investigación realizada por Mora (2005)⁴⁹, indica que los peces fueron alimentados con concentrado (extruido) de 28% de proteína cruda, administrado a saciedad.

Rodríguez (2012)⁵⁰, determinó que los juveniles de cachama blanca tienen la capacidad para adaptarse metabólicamente a condiciones de carencia parcial de alimento. Este postulado permite inferir que en sistemas de producción con esta especie es posible determinar un mínimo número de comidas al día sin afectar el metabolismo de los peces y su crecimiento.

Visbal *et al* (2013),⁵¹ sostiene que los requerimiento de niveles de proteína varía para las diferentes especies de alevinos, debido a sus hábitos alimenticios, el tamaño y la temperatura del agua.

URL:<http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692011000200008&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0798-7269

⁴⁸POLEO, Germán *et al.*, Op. cit., p. 431

⁴⁹MORA, José. Rendimiento de la canal en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y el híbrido *Colossoma macropomun* x *P. brachypomus*. Procesamiento primario y productos con valor agregado. *Bioagro* [online]. 2005, vol.17, n.3. p 165 (Citado 11 de Junio 2013) Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612005000300006&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1316-3361.

⁵⁰RODRÍGUEZ, Liliána, Op. cit., p. 44 y 45

⁵¹VISBAL, Tomas *et al.*, Op. cit., p. 144.

3.5.4 Condiciones y Calidad de agua para Cachama blanca.

Según Isla (2007)⁵² el agua que se utiliza en acuicultura debe cumplir con los requerimientos de la especie a cultivar, así mismo este fluido sirve como transporte para entrada y salida de compuestos que se requieren y generan en los sistemas de cultivo tales como oxígeno, dióxido de carbono, amoniaco, nitritos, entre otros. Tidwell (2012)⁵³ indica que en sistemas de recirculación, la demanda de oxígeno por parte del sistema es un factor fundamental para su buen funcionamiento por lo tanto el agua que entra al sistema suple en parte este requerimiento por lo tanto su contenido debe ser > a 2mg/l.

Para Lekang (2007)⁵⁴ los sistemas de producción intensivos requieren mayor cantidad y calidad de agua, debido a la degeneración que sufre el agua cuando pasa por la unidad de producción.

La fase de cultivo para cachama blanca de mayor exigencia en cuanto a la calidad de agua inicia con la incubación de los peces y hasta el alevinaje, la Organización

⁵²ISLA, Mercedes. Water quality recirculating aquaculture systems for articcharr (*Salvelinus alpinus L.*) culture. Fisheries Training Programme, The United Nations University.Ciudad de la Habana, Cuba. 2007. p. 8 y 9.(Citado 1 de Julio 2013) Disponible en Internet. URL: <http://www.unuftp.is/static/fellows/document/mercedes07prf.pdf>

⁵³TIDWELL, James, Op. cit., p. 59

⁵⁴LEKANG, Odd-Ivar, Op. cit., p. 32

de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2010)⁵⁵ manifiesta que las condiciones físico-químicas del agua para estas fases son, tabla 1:

Tabla 1. Condiciones Físico química del agua

Variable	Valor
Temperatura	25 – 28,5°C
STD	Menor a 30 ppm
Oxigeno disuelto	4 – 6 ppm
pH	6,5 – 8,5
Amonio	0,01 – 0,1 ppm
Alcalinidad	≥ 20 ppm
Dióxido de Carbono	10 – 20 ppm
Conductividad	10 – 20 um

Fuente: FAO. Peces nativos de agua dulce de América del Sur

Según la investigación realizada por Andrade de Pasquier *et al* (2011).,⁵⁶ los recambios realizados fueron del 10% - 30% semanal, sin embargo Poleo *et al* (2011).,⁵⁷ menciona que la cachama blanca puede ser cultivada en sistemas cerrados con cero recambio de agua en altas densidades y para Mora (2005) en

⁵⁵ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (2010), Op. cit., p. 91

⁵⁶ANDRADE DE PASQUIER, Glenys *et al.*, Op. cit., p. 217

⁵⁷POLEO, Germán *et al.*, Op. cit., p. 429

su investigación indica, que el suministro de agua se limitó a la reposición de pérdidas por evaporación⁵⁸.

3.6 Ingeniería de Calidad

Según Wu (1997)

Ingeniería de calidad es una serie de planteamientos para predecir y prevenir las dificultades o problemas que podrían ocurrir en el mercado después de que un producto se vende y es usado por el cliente bajo múltiples condiciones ambientales y de utilización durante el período de vida diseñado⁵⁹.

Existen dos áreas dentro de la Ingeniería de calidad: Fuera de línea y en línea. Para el desarrollo y mejora de productos y procesos, es fundamental la investigación aplicada en el área fuera de línea, con lo cual se determina los requerimientos y diseños del proceso y del producto; logrando de esta manera una alta calidad y la robustez del proceso o producto a factores de ruido⁶⁰.

⁵⁸MORA, José, Op. cit., p. 165

⁵⁹ WU, Yuin y WU, Alan, Op. cit., p. 1

⁶⁰Ibid., p. 1

Wu (1997)⁶¹ sostiene que el diseño de parámetros permite seleccionar la mejor combinación de niveles de los factores de control que intervienen dentro del proceso o fabricación de un producto.

Gutierrez (2008)⁶² explica que el control y la inspección de un proceso no son suficientes para lograr calidad competitiva y para lograr los niveles de calidad se requiere de un diseño del proceso fuera de línea. Wu (1997)⁶³ sustenta que el diseño de parámetros fuera de línea puede reducir los efectos no deseados causados por las fuentes de ruido que afectan la función del producto.

Gutierrez (2008)⁶⁴ indica que para que un proceso o producto sea robusto es decir que su funcionamiento sea consistente a las condiciones cambiantes del medio, se requiere evaluar los factores de control para maximizar o minimizar o alcanzar el valor objetivo de la variable respuesta reduciendo la variabilidad aportada por los factores de ruido o no controlables.

El diseño ortogonal de Taguchi, es un método de la ingeniería de calidad que permite generar robustez en los procesos y/o productos durante la etapa de diseño minimizando la variabilidad ocasionada por el factor de ruido y optimizando

⁶¹WU, Yuin y WU, Alan, Op. cit., p. 2

⁶²GUTIÉRREZ, H, De la Vara,R. Análisis y Diseño de experimentos. México: Mc Graw-Hill Interamericana. 2008. p. 296

⁶³WU, Yuin y WU, Alan, Op. cit., p. 2

⁶⁴GUTIÉRREZ, H, De la Vara,R, Op. cit., p. 296

las variables respuestas de interés. Existen 18 diseños ortogonales estándar que se utilizan con propósitos de mejorar la calidad de los procesos y/o productos, entre estos el diseño L8 permite evaluar dentro de un arreglo interno hasta 7 factores de control de forma simultánea cada uno con dos niveles y en un arreglo externo los factores de ruido que se desean evaluar⁶⁵

Lan *et al* (1995)⁶⁶., midió el efecto del cobre, zinc, cromo y selenio sobre la actividad de la alcalinidad fosfatasa (APase) en el hígado de la especie *Chrysophrys major*, utilizando un diseño ortogonal demostró que la actividad de la APase fue significativamente incrementada en esta especie cuando se modifican los niveles de los factores.

Yan *et al* (2009)⁶⁷., determinaron la mejor combinación de 4 factores controlables en la optimización del cultivo de mejillones de agua dulce, de acuerdo con el diseño ortogonal utilizado, cuando los factores están en sus niveles A1, B2, C1 y D1, se logra optimizar dicho cultivo.

⁶⁵YANG, Kai y EL-HAIK, Basem. Design for Six Sigma. Madrid, España: Edición McGraw Hill, 2003. p. 407

⁶⁶LAN, Wei, *et al.*, Effect of combined copper, zinc, chromium and selenium by orthogonal array design on alkaline phosphatase activity in liver of the red sea bream, *Chrysophrys major*. Elsevier, Aquaculture. 1995. p. 219 (Citado 23 de Noviembre 2013) Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004484869400326J>

⁶⁷ YAN, Ling-lan, *et al.*, Optimization of culturing the freshwater pearl mussels, *Hyriopsis cumingii* with filter feeding Chinese carps (bighead carp and silver carp) by orthogonal array design. Elsevier, Aquaculture. 2009. p. 60. (Citado 5 de Septiembre 2013) Disponible en Internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848609002713>

Zhou *et al* (2013)⁶⁸ optimizaron las condiciones de crecimiento para las etapas del ciclo de vida de *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta) y redujeron el tiempo de cultivo a 3 – 4 meses, cuando los niveles de los factores de control son 25 °C, 30‰, 12/12 h L/D, y 15–45 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

3.7 Calidad en producción acuícola

En Colombia para el año 2010 la producción de Cachama blanca fue de 8372 toneladas alcanzando conversiones alimenticias de 1,4:1⁶⁹. El departamento del Putumayo se encuentra dentro de los 10 departamentos de mayor producción de esta especie generando 476 toneladas en el año 2010⁷⁰. Aquamazonía es una de las empresas del Putumayo, dedicada al cultivo de *P. brachypomus* desde hace 25 años y utiliza sistemas semi-intensivos produciendo 18 tn/año es esta especie; sin embargo los resultados obtenidos dejan ver una brecha de calidad en el proceso, debido a que indicadores de calidad como la conversión alimenticia están en 1,5:1, la producción por unidad de área 1,2 kg/m², la tasa de crecimiento 2,5 g/día siendo susceptibles de ser mejorados⁷¹.

⁶⁸ ZHOU, Wei, *et al.*, An orthogonal design for optimization of growth conditions for all life history stages of *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta). Elsevier, Aquaculture. 2013. p. 98 (Citado 8 de Diciembre 2013) Disponible en Internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848613000616>

⁶⁹ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Anuario estadístico del sector agropecuario y pesquero 2010. Bogotá, Colombia: Yerimpresos. p. 210. (Citado 5 de Febrero 2013) Disponible en Internet: URL: <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/Anuario/anuarioEstadistico2010.pdf>

⁷⁰ PLAN NACIONAL DE DESARROLLO DE LA ACUICULTURA SOSTENIBLE EN COLOMBIA FAO – INCODER. Op. cit., p. 66.

⁷¹ MUNIEZA, Lino. Gerente Aquamazonía. Comunicado personal. Putumayo, 3 de Mayo de 2013.

Tidwell (2012)⁷², indica que los sistemas de producción acuícola están sujetos a diferentes factores algunos controlables y otros no, sin embargo la calidad de estos sistemas están estrechamente relacionados con el material biológico, cantidad y calidad de agua, alimentación, densidad entre otros.

Anguas *et al* (2003)⁷³., indican que la tasa de crecimiento de los peces, está influenciada por diferentes factores bióticos y abióticos, por lo tanto esta respuesta biológica está interactuando con cada uno de los factores externos, por lo tanto la combinación de factores, pueden incrementar o disminuir la tasa de crecimiento de la especie.

La densidad de siembra es uno de los factores controlables que afectan las variables productivas, la cantidad de organismos hidrobiológicos que se siembran por unidad de área o volumen depende de la capacidad del recinto acuícola donde se realizará el cultivo que a su vez depende de la cantidad y calidad de agua entre otros aspectos. Según el informe del Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia (2011)⁷⁴, se estimó que la densidad para piscicultura se encuentra entre 2 – 10 peces por m².

⁷²TIDWELL, James, Op. cit., p. 51 – 60

⁷³ANGUAS, Benjamín *et al.*, Op. cit., p 310

⁷⁴PLAN NACIONAL DE DESARROLLO DE LA ACUICULTURA SOSTENIBLE EN COLOMBIA FAO – INCODER, Op. cit., p. 72.

Wicki *et al* (2009),⁷⁵ dentro de los factores controlables que utilizaron, se encuentran la densidad de siembra, frecuencia alimentaria, tasa de alimentación y calidad de agua, sin embargo solo la densidad de siembra varió en 3 niveles, por lo tanto se ajusta un solo factor sin tener en cuenta los demás.

Andrade de Pasquier, *et al* (2011), indica en su estudio que la densidad de siembra de cachama manejada fue de 2,83 peces/m²⁷⁶, mientras que Poleo *et al* (2011), señala que la cachama blanca puede tolerar densidades de cultivo de hasta 12,9 kg m³ en los sistemas cerrados⁷⁷ y para Mora (2005), la densidad de siembra correspondió a 0,8 peces/m²⁷⁸.

Merino *et al* (2007),⁷⁹ realizó un estudio sobre el efecto de la densidad en el crecimiento de juveniles de *Paralichthys californicus*; los resultados obtenidos, demostraron que la densidad influye directamente sobre el crecimiento de los animales.

⁷⁵WICKI, Gustavo *et al.*, Op. cit., p. 51 – 53

⁷⁶ANDRADE DE PASQUIER, Glenys *et al.*, Op. cit., p. 213

⁷⁷POLEO, Germán *et al.*, Op. cit., p. 436

⁷⁸MORA, José, Op. cit., p. 164

⁷⁹MERINO, Germán; PIEDRAHITA, Raul y DOUGLAS, Conklin. The effect of fish stocking density on the growth of California halibut (*Paralichthys californicus*) juveniles. Elsevier, Aquaculture.2007. 176 - 186 p. Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848607001020>

Lekang (2007)⁸⁰ indica que es importante tener en cuenta que la acuicultura trabaja con seres vivos, por lo tanto es fundamental suministrar óptimas condiciones ambientales, de manejo, de alimentación para de esta manera lograr buenas tasas de crecimiento y alcanzar de esta manera las metas propuestas con lo cual se obtiene una óptima calidad del proceso.

Victoriano *et al* (2012),⁸¹ señala que los resultados obtenidos en su estudio sobre el crecimiento de juveniles de *Psetta máxima*, demostraron que los factores controlables temperatura, frecuencia y ración alimentaria tuvieron efecto sobre las variables respuestas evaluadas; sin embargo no se pudo determinar cuáles factores fueron los más importantes; los mismos autores afirman que en otras investigaciones realizadas el factor temperatura es más importante que los otros, por otro lado estudios aplicados a las especies *Mola mola*, *P. máxima* entre otras, confirmaron que los factores frecuencia y ración alimentaria son más importantes para el crecimiento de los peces.

Lekang (2007)⁸² indica que los buenos resultados de la producción acuícola dependen de la calidad de agua, idoneidad de los recintos acuícolas, de las condiciones climáticas, de los requerimientos de las especies entre otros; fallas en el diseño o planeación de la producción se reflejan en el mal desempeño de los

⁸⁰LEKANG, Odd-Ivar, Op. cit., p.322

⁸¹VICTORIANO, Pepe *et al.*, Op. cit., p. 905

⁸²LEKANG, Odd-Ivar, Op. cit., p.321

peces, bajas tasas de crecimiento, enfermedades y diferentes tipos de problemas productivos.

Lo anterior, permite analizar que el crecimiento de los peces está afectado por diferentes factores y que el orden de importancia de estos varia de una especie a otra, así mismo pueden ser significativos o no para una especie determinada; por lo tanto con el fin de encontrar valores óptimos de las variables productivas es importante determinar el nivel de los factores de diseño y de esta manera lograr una alta calidad del sistema de producción acuícola.

Con el fin de medir la calidad de los sistemas de producción, se han determinado variables respuesta que permiten evaluar todo el proceso productivo, entre las de mayor importancia tenemos:

3.7.1 Variables respuesta en producción acuícola

Wicki *et al* (2009).,⁸³ en su investigación evaluaron la calidad del proceso acuícola utilizando diferentes indicadores, tales como: Conversión alimenticia, producción por unidad de área, tasa de crecimiento, tasa de mortalidad. Estos indicadores repercuten en forma negativa o positiva en los análisis económicos de la

⁸³WICKI, Gustavo *et al.*, Op. cit., p. 52

producción; por ende es importante encontrar un valor óptimo del sistema acuícola.

Andrade de Pasquier *et a* (2011).⁸⁴ en el estudio de engorde de cachama evaluó el proceso utilizando las siguientes variables de desempeño o de calidad:

- ✓ **Capacidad de carga:** Es la cantidad de kilos o biomasa por unidad de área que se produce de una determinada especie, en un sistema de producción.
- ✓ **Incremento de Peso:** Es la cantidad de peso ganado en un determinado tiempo por una especie íctica.
- ✓ **Conversión alimenticia:** Es la capacidad que una especie tiene para convertir una unidad de alimento en unidades de biomasa
- ✓ **Tasa de crecimiento:** Mide el porcentaje de crecimiento de los peces en un periodo de tiempo.
- ✓ **Sobrevivencia:** Es el cálculo en porcentaje del número de seres vivos que sobreviven al final del proceso⁸⁵.

⁸⁴ ANDRADE DE PASQUIER *et al.*, Op. cit., p.215

⁸⁵ ABDO, María, *et al.*, Efecto de diferentes niveles de proteína y lípidos totales en la dieta sobre el crecimiento y supervivencia de juveniles de pargo lunarejo *Lutjanus guttatus*. [online]. 2010, vol.45, n.3, pp. 433-439. Disponible en Internet: URL: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-19572010000300008&script=sci_arttext&lng=pt

4 ASPECTOS METODOLÓGICOS

4.1 Ubicación

La investigación se realizó en la Estación Piscícola Aquamazonía, ubicada en la vereda La Paz, kilómetro 32 vía Villagarzón – Puerto Asís, departamento del Putumayo, la cual presenta las siguientes características: coordenadas geográficas 00° 55' 13"N y 76° 35' 23" W, altura 365 m.s.n.m, temperatura ambiente 27°C y precipitación de 4.500 ml anual. La estación piscícola, dentro de su infraestructura tiene un espejo de agua de 16,8 Ha, distribuido en 82 estanques utilizados para: Reproductores, larvicultura, alevinaje, pre-cría, levante y ceba de diferentes especies ícticas; además cuenta con un laboratorio para reproducción, incubación y larvicultura.

4.2 Infraestructura

Aquamazonía, dispone de un laboratorio de reproducción con un área de 40 m² cubierto con un techo tipo invernadero; el cual está dotado con una batería con 18 tanques con un volumen máximo de 30 litros cada uno, los cuales disponen de entrada de agua, sistema de aireación y filtración. Así mismo existe un tanque elevado con capacidad 30 m³ de agua, del cual se desprende todo el sistema hidráulico que alimenta al laboratorio después de pasar por un filtro externo de carbón activado, grava y material sintético.

4.3 Periodo de estudio

El periodo de estudio estuvo dividido en tres etapas cada una con una duración de 15 días, durante este tiempo se realizaron las respectivas corridas según el arreglo ortogonal L8, así como la comprobación y validación de resultados.

4.4 Material biológico

Se utilizaron 960 ejemplares de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), con una edad aproximada de 30 días de nacidos, con un peso de 4,9 g \pm 1,07, provenientes de la estación piscícola Aquamazonía; los peces se distribuyeron al azar en las distintas unidades experimentales y se registraron sus medidas biométricas, las cuales permitieron calcular las distintas variables respuestas.

4.5 Unidad Experimental

Se usaron 8 tanques plásticos con un volumen neto de 25 litros para tener un control adecuado de los peces, de las condiciones de manejo, alimentación y calidad de agua; cada tanque representa la unidad experimental, y están dotados con un sistema de aireación, entrada y salida de agua.

4.6 Materiales, equipos e insumos

La relación de los diferentes elementos utilizados en esta investigación, se discriminan de la siguiente manera:

- Materiales

- **Baldes:** recipiente con capacidad de 12 y 20 litros utilizados para el aforo de caudales y muestreo de peces.
- **Juveniles de cachama:** Peces de 4,9 g \pm 1,07
- **Nasas:** Red de pesca que se utiliza para capturar peces.
- **Probeta:** Recipiente de vidrio aforado utilizado para medir líquidos.
- **Recipientes plásticos:** Con capacidad de 200g, utilizados para la manipulación del alimento.
- **Tanque plástico 25 litros capacidad máxima:** Unidad experimental

- Equipos

- **Balanza:** Instrumento de medición que se emplea para pesar animales e insumos con una precisión de 0,1 g.
- **Blower:** Generador de aire con una potencia de 2 HP
- **Cámara digital:** Cámara fotográfica con la cual se captura y almacena el seguimiento fotográfico de la investigación.
- **Computador:** Equipo para procesar datos en información

- **Cronometro:** Utilizado en la medición del tiempo para el control de los recambios de agua.
- **Electrobomba 1 HP:** Utilizada en el sistema hidráulico para transporte de agua.
- **Oxímetro:** Marca YSI. Sistema para medición simultánea de oxígeno disuelto con una precisión de 0,01 mg/l. y temperatura con una precisión de 0,1°C
- **pH-metro:** Equipo para medir el pH del agua con una precisión de 0,1.

- Insumos

- **Balanceado:** Alimento comercial del 32% y 38% de proteína, para la alimentación de peces.
- **Bolsas plásticas:** Utilizadas para el transporte y pesaje de los animales.
- **Cloro:** Líquido usado para la desinfección de tanques, tuberías, etc.
- **Hiposulfito de sodio:** Compuesto usado para neutralizar y eliminar restos de cloro.
- **Papelería:** Resmas de papel para presentación del trabajo final.
- **Quinaldina:** Anestésico utilizado como tranquilizante para la manipulación de los animales.
- **Sal marina:** Compuesto para tratamientos profilácticos.

4.7 Plan de manejo

4.7.1 Adecuación de instalaciones.

Se realizó la limpieza y desinfección de los tanques, tuberías, materiales y objetos que se utilizaron durante el experimento; para esto se aplicó hipoclorito de sodio al 5,5%. Posteriormente se declorinó todo con hiposulfito de sodio a una concentración de 0,5 ppm.

Se llenó cada unidad experimental con agua del reservorio hasta un volumen de 25 litros y se dejó funcionando el sistema durante 48 horas antes de la siembra de los animales. Durante este periodo se monitorearon los parámetros físico - químicos del agua tales como: pH, oxígeno disuelto, temperatura y nitritos.

4.7.2 Selección y siembra de animales.

Los juveniles de cachama blanca fueron seleccionados teniendo en cuenta como criterio su peso el cual debe estar entre $4,9 \text{ g} \pm 1,07$; la población de animales seleccionados se sometió a un tratamiento profiláctico con sal marina a una concentración de 2,5 g/l. durante 15 minutos y con aireación.

La siembra de los animales se realizó en cada unidad experimental dependiendo de cada tratamiento, los peces fueron aclimatados durante un periodo de 15

minutos de tal manera que se equilibren las condiciones de calidad de agua (temperatura, oxígeno, pH y nitritos).

4.7.3 Alimento y Alimentación

Para la alimentación de los peces, diariamente se suministró el balanceado correspondiente de forma manual, así mismo la cantidad, frecuencia alimentaria y porcentaje de proteína, se hizo según el diseño ortogonal propuesto. El horario de alimentación estuvo comprendido entre las 8:00 a.m. y 4:00 p.m.

4.7.4 Recambios de agua

Para mantener la calidad del agua y retirar heces y alimento no consumido de cada unidad experimental, se retiró de cada tanque de cultivo por sifoneo, un 20% del volumen del agua diario, dicho volumen se reemplazó con agua proveniente del reservorio.

4.7.5 Monitoreo de calidad de agua

Durante este experimento se midieron los parámetros de calidad de agua en cuanto a la temperatura °C, oxígeno disuelto mg/l, pH y NO₂ mg/l; como se muestra en la tabla 2. Se estableció como horario para el análisis de aguas de

cada unidad experimental a partir de las 7:00 a.m y antes de la primera comida, de la siguiente manera.

Tabla 2. Frecuencia de toma de Muestras de calidad de agua

Parámetro	Frecuencia diaria	Frecuencia semanal	Frecuencia estudio
Temperatura	1	5	15
Oxígeno disuelto	1	5	15
pH	1	5	15
NO ₂	0	1	3

Se utilizó un oxímetro con una sensibilidad de 0,1 mg/l, para medir temperatura y oxígeno disuelto, así mismo se utilizó un pH-metro para registrar los valores de pH del agua y para el caso del NO₂ se midió utilizando un kit comercial el cual trabaja por colorimetría.

4.7.6 Sobrevivencia.

Para el cálculo del porcentaje de sobrevivencia, se registró el número de animales vivos al final del estudio, para lo cual se hizo un conteo manual de cada pez extrayéndolo con una nasa desde su respectiva unidad experimental.

4.7.7 Muestreos

Con el propósito de registrar los datos biométricos de los peces: Número de animales y su peso en gramos, se realizó un muestreo mínimo del 40% de la población de peces al inicio y al final de cada periodo 1, periodo 2 y periodo de comprobación; con anterioridad los animales se sometieron a un ayuno de 24 horas y se tranquilizaron con Quinaldina al 10 ppm, esto con el fin de disminuir el estrés que se pueda ocasionar durante el proceso; posteriormente cada pez se pesó en una balanza electrónica con una sensibilidad de 0,1 g, y se hizo el conteo de cada individuo a los cuales se les practicó como medida profiláctica un baño con sal marina a una concentración de 2,5 g/l durante 5 minutos y se regresaron a su respectiva unidad experimental.

4.8 DISEÑO DE PARÁMETROS

4.8.1 Diseño Ortogonal

Para la construcción del diseño ortogonal L8, se utilizaron los factores controlables: densidad de siembra, tasa de alimentación, frecuencia alimentaria, nivel de proteína, cada uno con dos niveles y un factor de ruido causado por la diferencia de periodo el cual se caracteriza por las condiciones de calidad de agua temperatura °C, oxígeno disuelto mg/l, pH y nitritos mg/l que se generaron en ese

momento; los factores mencionados se describen en la tabla 3 de la siguiente manera:

Tabla 3. Factores Controlables y de Ruido

Factor	Nivel 1	Nivel 2
A. Densidad de siembra peces/tanque	1,4 peces/litro	1,8 peces/litro
B. Tasa de alimentación % de biomasa	4	6
C. Frecuencia alimentaria por día	2	3
D. Nivel de proteína bruta en %	32	38
E. Factor de Ruido	Periodo 1	Periodo 2

La combinación de los 4 factores de control (arreglo interno) y el factor de ruido (arreglo externo) generaron 8 corridas por periodo, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Diseño Ortogonal L8, arreglo interno y externo

						Arreglo externo	
	N° Corrida	Factores controlables				Factor de Ruido	
		A/Nivel	B/Nivel	C/Nivel	D/Nivel	P1	P2
		Arreglo interno	1	1	1	1	1
	2	1	1	2	2	1	2
	3	1	2	1	2	1	2
	4	1	2	2	1	1	2
	5	2	1	1	2	1	2
	6	2	1	2	1	1	2
	7	2	2	1	1	1	2
	8	2	2	2	2	1	2

Las 8 corridas se realizaron en simultáneo durante el mismo periodo, se calcularon los valores de las variables: incremento de peso periodo, conversión alimenticia y porcentaje de sobrevivencia. Posteriormente se inició las siguientes 8 corridas

correspondientes al segundo periodo con lo cual se establece el factor de ruido generado por la diferencia de periodos.

4.8.2 Diseño experimental

El modelo matemático establecido para las variables respuesta: Conversión alimenticia, Incremento de peso periodo y porcentaje de sobrevivencia; está determinado de la siguiente manera para cada variable.

➤ **Variable conversión alimenticia:**

$$Y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \theta_l + \alpha_i\theta_l + \varepsilon_{ijklm} \quad (1)$$

Donde:

Y_{ijklm} Es la medición de la conversión alimenticia cuando los factores en estudio se encuentran en sus niveles i, j, k y l y el factor de ruido periodo en su nivel m .

μ Es la media general de la conversión alimenticia

α_i Es el efecto medio del i –ésimo nivel del factor densidad de siembra sobre la conversión alimenticia.

- β_j Es el efecto medio del j – *ésimo* nivel del factor tasa de alimentación sobre la conversión alimenticia.
- δ_k Es el efecto medio del k – *ésimo* nivel del factor frecuencia alimentaria sobre la conversión alimenticia.
- θ_l Es el efecto medio del l – *ésimo* nivel del factor nivel de proteína sobre la conversión alimenticia.
- $\alpha_i \theta_l$ Es el efecto medio del i – *ésimo* nivel del factor densidad de siembra y el l – *ésimo* nivel del factor nivel de proteína sobre la conversión alimenticia.
- ε_{ijklm} Es el error experimental en el *ésimo* nivel de los factores α, β, δ y θ y en el m – *ésimo* nivel del factor ruido periodo

- **Hipótesis:**

Los factores de control: Densidad de siembra (A), Tasa de alimentación (B), Frecuencia alimentaria (C), Porcentaje de proteína (D) y la interacción Densidad de siembra- nivel de proteína (AD); no tienen influencia sobre la variable respuesta conversión alimenticia.

La cual se traduce en términos de los efectos, así:

$$H_0: \text{Efecto } A = 0$$

$$H_0: \text{Efecto } B = 0$$

$$H_0: \text{Efecto } C = 0$$

$H_0: \text{Efecto } D = 0$

$H_0: \text{Efecto } AD = 0$

Contra la hipótesis alternativa: al menos un factor tiene influencia significativa sobre la conversión alimenticia, traducida como:

$H_1: \text{Efecto } A \neq 0$

$H_1: \text{Efecto } B \neq 0$

$H_1: \text{Efecto } C \neq 0$

$H_1: \text{Efecto } D \neq 0$

$H_1: \text{Efecto } AD \neq 0$

➤ **Variable incremento de peso periodo:**

$$Y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \theta_l + \alpha_i\theta_l + \varepsilon_{ijklm} \quad (2)$$

Donde:

Y_{ijklm} Es la medición del incremento de peso cuando los factores en estudio se encuentran en sus niveles i, j, k y l y el factor de ruido periodo en su nivel m .

- μ Es la media general del incremento de peso
- α_i Es el efecto medio del i – *ésimo* nivel del factor densidad de siembra sobre el incremento de peso.
- β_j Es el efecto medio del j – *ésimo* nivel del factor tasa de alimentación sobre el incremento de peso.
- δ_k Es el efecto medio del k – *ésimo* nivel del factor frecuencia alimentaria sobre el incremento de peso.
- θ_l Es el efecto medio del l – *ésimo* nivel del factor nivel de proteína sobre el incremento de peso
- $\alpha_i\theta_l$ Es el efecto medio del i – *ésimo* nivel del factor densidad de siembra y el l – *ésimo* nivel del factor nivel de proteína sobre el incremento de peso.
- ε_{ijklm} Es el error experimental en el *ésimo* nivel de los factores α, β, δ y θ y en el m – *ésimo* nivel del factor ruido periodo

Hipótesis:

Los factores de control: Densidad de siembra (A), Tasa de alimentación (B), Frecuencia alimentaria (C), Porcentaje de proteína (D) y la interacción Densidad de siembra- nivel de proteína (AD); no tienen influencia sobre la variable respuesta incremento de peso.

La cual se traduce en términos de los efectos, así:

$$H_0 : \text{Efecto } A = 0$$

$$H_0 : \text{Efecto } B = 0$$

$$H_0 : \text{Efecto } C = 0$$

$$H_0 : \text{Efecto } D = 0$$

$$H_0 : \text{Efecto } AD = 0$$

Contra la hipótesis alternativa: al menos un factor tiene influencia significativa sobre el incremento de peso, traducida como:

$$H_1 : \text{Efecto } A \neq 0$$

$$H_1 : \text{Efecto } B \neq 0$$

$$H_1 : \text{Efecto } C \neq 0$$

$$H_1 : \text{Efecto } D \neq 0$$

$$H_1 : \text{Efecto } AD \neq 0$$

➤ **Variable porcentaje de sobrevivencia:**

$$Y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \theta_l + \alpha_i\theta_l + \varepsilon_{ijklm} \quad (3)$$

Donde:

- Y_{ijklm} Es la medición del porcentaje de sobrevivencia cuando los factores en estudio se encuentran en sus niveles i, j, k y l y el factor de ruido periodo en su nivel m .
- μ Es la media general del porcentaje de sobrevivencia
- α_i Es el efecto medio del i – **ésimo** nivel del factor densidad de siembra sobre el porcentaje de sobrevivencia.
- β_j Es el efecto medio del j – **ésimo** nivel del factor tasa de alimentación sobre el porcentaje de sobrevivencia.
- δ_k Es el efecto medio del k – **ésimo** nivel del factor frecuencia alimentaria sobre el porcentaje de sobrevivencia.
- θ_l Es el efecto medio del l – **ésimo** nivel del factor nivel de proteína sobre el porcentaje de sobrevivencia
- $\alpha_i\theta_l$ Es el efecto medio del i – **ésimo** nivel del factor densidad de siembra y el l – **ésimo** nivel del factor nivel de proteína sobre el porcentaje de sobrevivencia.
- ε_{ijklm} Es el error experimental en el **ésimo** nivel de los factores α, β, δ y θ y en el m – **ésimo** nivel del factor ruido periodo

- **Hipótesis:**

Los factores de control: Densidad de siembra (A), Tasa de alimentación (B), Frecuencia alimentaria (C), Porcentaje de proteína (D) y la interacción Densidad de siembra- nivel de proteína (AD); no tienen influencia sobre la variable respuesta porcentaje de sobrevivencia.

La cual se traduce en términos de los efectos, así:

$$H_0 : \text{Efecto } A = 0$$

$$H_0 : \text{Efecto } B = 0$$

$$H_0 : \text{Efecto } C = 0$$

$$H_0 : \text{Efecto } D = 0$$

$$H_0 : \text{Efecto } AD = 0$$

Contra la hipótesis alternativa: al menos un factor tiene influencia significativa sobre el porcentaje de sobrevivencia, traducida como:

$$H_1 : \text{Efecto } A \neq 0$$

$$H_1 : \text{Efecto } B \neq 0$$

$$H_1 : \text{Efecto } C \neq 0$$

$H_1: \text{Efecto } D \neq 0$

$H_1: \text{Efecto } AD \neq 0$

4.8.3 Análisis estadístico

Para determinar el nivel óptimo y más robusto de cada factor controlable se utilizó el cociente señal/ruido según la variable respuesta como se indica a continuación:

- **Señal/ruido, menor es mejor:** se aplicará esta señal para minimizar la variable conversión alimenticia. Está representada por la siguiente fórmula:

$$-10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (4)$$

Donde:

Y Es la variable respuesta conversión alimenticia

n Número de observaciones

- **Señal/ruido, mayor es mejor:** se aplicará esta señal para maximizar las variables porcentaje de sobrevivencia e incremento de peso. Está representada por la siguiente fórmula:

$$-10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^{-2} \right] \quad (5)$$

Donde:

Y Es la variable respuesta en estudio (incremento de peso y %S)

n Número de observaciones

4.8.4 Validación del modelo matemático

El modelo matemático usado para la optimización de las tres variables dependientes IP (incremento de peso), CA (conversión alimenticia) y %S (porcentaje de sobrevivencia) fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \theta_l + \alpha_i \theta_l + \varepsilon_{ijklm} \quad (6)$$

Donde Y_{ijklm} denota a la variable dependiente cuando los factores de control densidad de siembra (A), tasa de alimentación (B), frecuencia alimentaria (C) y nivel de proteína (D) y la interacción densidad de siembra-nivel de proteína (AD) se encuentran en los niveles i, j, k, l, m respectivamente. El subíndice m corresponde a los niveles del factor de ruido (Periodo), incorporado en el diseño.

Las componentes del modelo $\alpha_i, \beta_j, \delta_k, \theta_l, \alpha_i \theta_l$ denotan los efectos medios de los factores A, B, C, D y AD sobre la variable de respuesta; todos los factores tienen dos niveles (1 y 2).

De acuerdo con Gutiérrez (2008)⁸⁶, para validar el modelo se verificaron los supuestos de linealidad, aditividad, homocedasticidad, independencia y normalidad para la variable dependiente Y_{ijklm} . Dado que el propósito del modelo es estimar los efectos medios de los factores en estudio sobre las respuestas y a partir de ellos obtener los valores predichos \hat{Y}_{ijklm} para el cálculo de los residuos $e_{ijklm} = Y_{ijklm} - \hat{Y}_{ijklm}$, los supuestos de homocedasticidad, independencia y normalidad se verifican a partir de esta muestra de residuos, además, los supuestos de linealidad y aditividad se verifican a partir de la prueba de bondad de ajuste R^2 .

➤ **Homocedasticidad:**

Se hizo uso de la prueba gráfica residuos vs predichos que deben mostrar que los puntos se ubican en forma aleatoria a ambos lados de la línea de nivel cero.

➤ **Normalidad:**

Se hizo uso de la gráfica en papel normal que debe evidenciar que los puntos se ubican cercanos a la línea recta y la prueba analítica de Shapiro Wilks que debe mostrar un *Valor-p* mayor que 0,05.

⁸⁶ GUTIÉRREZ, H, De la Vara,R, Op. cit., p. 81

➤ **Independencia:**

Se utilizó la prueba gráfica de residuos vs el orden de los datos, la cual debe mostrar que no existe una tendencia regular de los puntos ubicados a ambos lados de la línea cero.

➤ **Ajuste del modelo**

Se usó el estadístico R^2 para medir el porcentaje de la variabilidad observada en las variables de respuestas que son explicadas por el modelo considerado; los modelos lineales que tienen un R^2 de al menos 70% se consideran aceptables y se pueden usar para realizar pronósticos.

4.8.5 Comprobación y validación

Una vez establecida la mejor combinación de los niveles de los factores controlables, se realizó la comprobación y validación del modelo final, para lo cual se efectuó una nueva corrida de los factores controlables.

4.9 Herramientas Computacionales

Para el análisis de la información, se utilizó un computador con procesador Intel® Core™ i3-2370 M CPU de 2,40 GHz con una memoria de 4.0 GB y un sistema operativo de 64 bits; los software que se aplicaron para el análisis de la información son: Statgraphics Centurion, MINITAB 14, Excel 2010 y Word 2010.

4.10 Variables a evaluar

Las variables que se midieron como respuesta a los diferentes tratamientos, son: Incremento de peso periodo (IP), porcentaje de sobrevivencia (%S) y conversión alimenticia aparente (CA) y se calcularon de acuerdo con lo expuesto por Visbal *et al* (2013).⁸⁷ para incremento de peso y conversión alimenticia, para el caso del porcentaje de sobrevivencia se calculó aplicando la fórmula enunciada por Abdo *et al* (2010).⁸⁸

4.10.1 Porcentaje de Sobrevivencia

Porcentaje de animales que sobreviven al final del periodo experimental.

$$\%S = (N^{\circ} Pf / N^{\circ} Pi) \times 100 \quad (7)$$

Donde:

%S: Porcentaje de animales vivos al final del estudio.

N° Pf: Número de animales vivos al final.

N° Pi: Número de animales vivos al inicio.

⁸⁷ VISBAL, Tomas *et al.*, *Op. cit.*, p. 143.

⁸⁸ ABDO, María *et al.*, *Op. cit.*, p. 434

4.10.2 Conversión alimenticia aparente (CA)

Capacidad del organismo en transformar una unidad de alimento en unidades de biomasa

$$CA = \frac{AS}{IP} \quad (8)$$

Donde:

CA: Conversión alimenticia aparente

AS: Unidades de alimento suministrado

IP: Unidades de Incremento de peso.

4.10.3 Incremento de Peso periodo

Se define como la ganancia de peso que logran cada uno los individuos o la población total evaluada. Se medirá al final del periodo de experimentación mediante las diferencias de pesos final e inicial.

$$IP = Wf - Wi \quad (9)$$

Donde:

IP: Incremento de peso durante el periodo

Wf: Peso final.

Wi: Peso inicial.

4.10.4 Relación Beneficio/Costo (B/C)

Indicador financiero que expresa la rentabilidad en términos relativos. La interpretación de tales resultados es en unidades monetarias obtenidas por cada unidad monetaria que se ha invertido.

$$B/C = \frac{UT}{CT} \quad (10)$$

Dónde:

B/C: Relación Beneficio / Costo

UT Utilidades totales

CT: Costos totales

4.10.5 Utilidades (U):

Indicador financiero que expresa los ingresos netos obtenidos de los ingresos totales menos los costos totales; y se calculó de la siguiente manera.

$$U = IT - CT \quad (11)$$

Dónde:

U: Utilidades netas

IT: Ingresos Totales

CT: Costos Totales

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las variables respuestas estudiadas: incremento de peso (IP), conversión alimenticia (CA) y porcentaje de sobrevivencia (%S) dentro del proceso de cultivo de la Cachama blanca en la fase de pre-cría, fueron analizadas mediante un arreglo ortogonal L8 de Taguchi, utilizando los estadísticos de desempeño Señal/Ruido (S/N) apropiados para cada respuesta; esto permitió elegir los niveles de los factores de control (densidad de siembra, tasa de alimentación, frecuencia alimentaria y porcentaje de proteína) que optimizaron las variables respuestas en su media, maximizando a su vez el cociente S/N, minimizando la variabilidad ocasionada por el factor de ruido (Periodo) y prediciendo los resultados para cada respuesta que fueron verificados durante el periodo de comprobación, el cual presentó dentro de las condiciones de calidad de agua una temperatura de 24,31°C, oxígeno disuelto de 7,95 mg/l, pH de 6,94 y nitritos de 0,63 mg/l.

El factor de ruido denominado periodo, estuvo conformado por dos niveles (P1 y P2); cada nivel se caracterizó por las condiciones de calidad de agua que se midieron, como temperatura de agua (°C), oxígeno disuelto (mg/l), pH y nitritos (mg/l), como se indica en la tabla 5. El diseño ortogonal establecido fue medido en cada uno de los niveles del factor ruido, obteniéndose resultados que permitieron encontrar un punto dentro del diseño que hace más robusto el proceso de cultivo de cachama blanca en la fase de pre-cría.

Tabla 5. Caracterización de los niveles del factor ruido (Periodo)

Periodo	T°C	O ₂ mg/l	pH	NO ₂ mg/l
P1	24,55	7,86	6,17	0,54
P2	24,15	8,15	7,12	1,15

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada una de las variables respuesta; de la siguiente manera:

5.1 Variable Incremento de peso (IP).

Esta variable, corresponde a la ganancia de peso en gramos calculada de la diferencia del peso final (anexo B) y el peso inicial (anexo A), que los peces registraron para cada uno de los dos niveles del factor de ruido periodo, lo cual fue analizado mediante la metodología Taguchi y un diseño ortogonal L8, los resultados promedios se indican en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados para la variable IP en cada nivel del factor de ruido.

Tanque	Factores de control				Niveles Factor de Ruido		Resultados		
	A	B	C	D	1° periodo	2° Periodo	μ	S	S/N
T1	1	1	1	1	4,16	3,06	3,61	0,62	10,78
T2	1	1	2	2	4,26	3,17	3,72	0,64	10,99
T3	1	2	1	2	4,95	4,00	4,48	0,54	12,83
T4	1	2	2	1	4,90	3,89	4,40	0,54	12,66
T5	2	1	1	2	6,14	4,91	5,53	0,67	14,65
T6	2	1	2	1	4,00	3,36	3,68	0,39	11,16
T7	2	2	1	1	3,91	2,82	3,37	0,58	10,17
T8	2	2	2	2	4,75	3,99	4,37	0,48	12,64

5.1.1 Análisis del cociente S/N para IP.

El análisis del cociente S/N de la variable IP con el estadístico de desempeño mayor es mejor, (ecuación 5), permitió determinar los niveles de los factores controlables que minimizan la variabilidad ocasionada por el factor de ruido estudiado y que a su vez maximizan el cociente S/N.

La tabla 7, muestra los promedios obtenidos para el cociente (S/N) cuando cada factor de control se encuentra en sus niveles 1 y 2. El valor de Delta indica que el factor D es el de mayor incidencia sobre la S/N seguido por los factores A, C y B en menor medida.

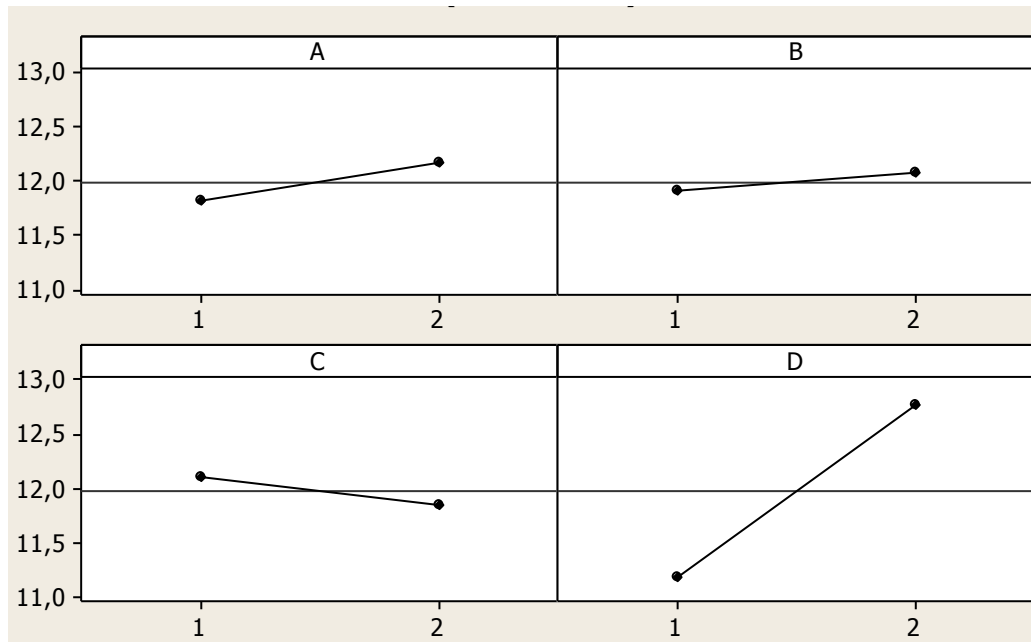
Tabla 7. Resultados para S/N mayor es mejor para IP

Nivel	A	B	C	D
1	11,88	11,97	12,15	11,24
2	12,2	12,12	11,93	12,85
Delta	0,32	0,15	0,22	1,61
Posición	2	4	3	1

En la figura 1 de efectos principales de los factores de control sobre el consciente S/N, se observa que el factor D es el de mayor efecto sobre la variación del incremento de peso, por lo tanto para maximizar la razón S/N de la variable IP, es

necesario utilizar el factor D en su nivel alto (2) y en cuanto a los factores A, B y C no se observa una alta influencia sobre la variabilidad.

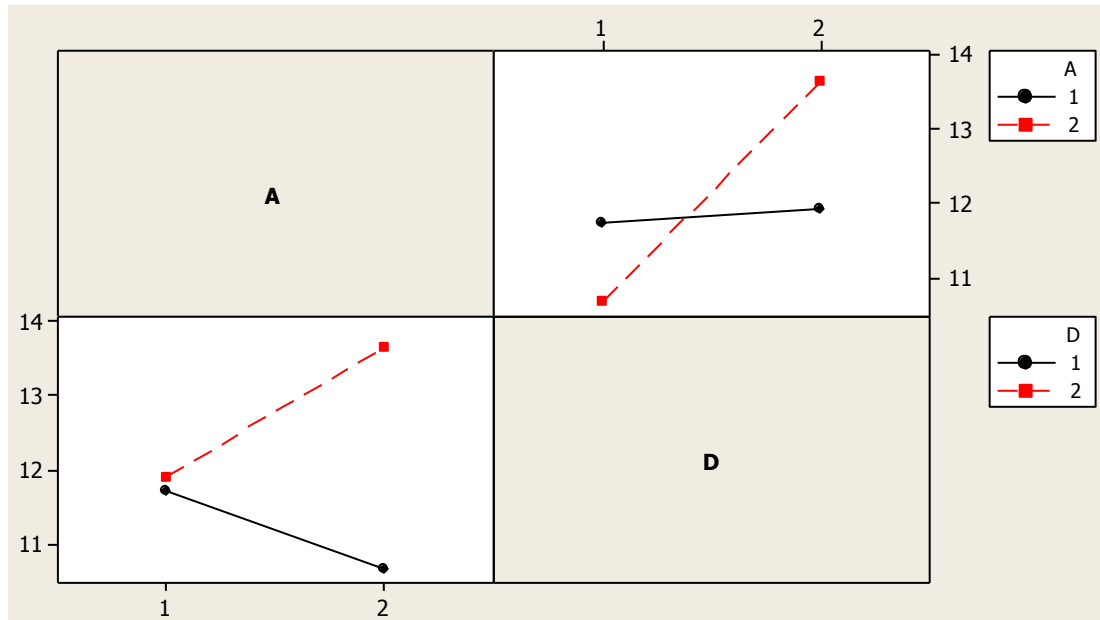
Figura 1. Efectos principales para S/N mayor es mejor para IP.



5.1.2 Análisis de la interacción de los factores AD para IP.

En la figura 2 se observa que la interacción de los factores AD es significativa, además el comportamiento de la interacción señala que para alcanzar el mayor valor para el cociente S/N los factores A y D deben estar cada uno en el nivel 2.

Figura 2. Interacción de los factores AD para S/N para IP



5.1.3 Valor predicho para el cociente S/N mayor es mejor para IP.

De acuerdo con los resultados anteriores, los niveles de los factores de control que maximizan la razón S/N, son:

- Factor A (Densidad de siembra) nivel 2 (interacción)
- Factor B (Tasa de alimentación) nivel 1 o 2
- Factor C (Frecuencia alimentaria) nivel 1 o 2
- Factor D (Porcentaje de proteína) nivel 2

Los valores de S/N que se obtendrían en cada una de las combinaciones de los niveles de los factores de control evaluadas se indican en la tabla 8, se observa que la combinación T5 A2, B1, C1, D2 es con la cual se lograría maximizar el cociente señal/ruido.

Tabla 8. Resultados predichos para cada combinación de los niveles de los factores de control que maximizan el cociente S/N para IP

Tanque	Factores de control				S/N
	A	B	C	D	
T1	1	1	1	1	11,80
T2	1	1	2	2	11,81
T3	1	2	1	2	12,18
T4	1	2	2	1	11,73
T5	2	1	1	2	13,73
T6	2	1	2	1	10,53
T7	2	2	1	1	10,89
T8	2	2	2	2	13,66

5.1.4 Análisis de la media para la variable respuesta IP

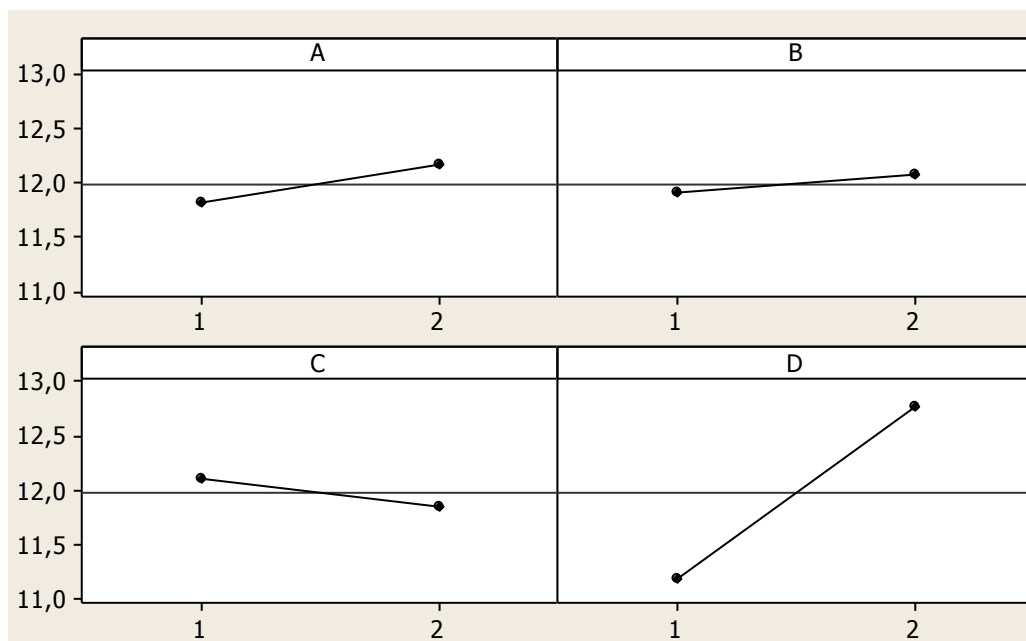
El análisis de la media para la variable IP, permitió determinar los niveles de los factores controlables que maximizan el promedio de la respuesta incremento de peso; en la tabla 9 se indican los resultados obtenidos para la variable respuesta cuando cada factor de control se encuentra en sus niveles 1 y 2. El valor de Delta indica que el factor D es el de mayor incidencia sobre la media seguidos por los factores C, B y A en menor medida.

Tabla 9. Resultados medios para IP en cada nivel de cada factor controlable

Nivel	A	B	C	D
1	4,049	4,133	4,244	3,763
2	4,235	4,151	4,04	4,521
Delta	0,186	0,019	0,204	0,759
Posición	3	4	2	1

En la figura 3 de efectos principales de los factores de control sobre la media, se observa que el factor D es el de mayor efecto sobre el promedio del incremento de peso, por lo tanto para maximizar la variable IP, es necesario utilizar el factor D en su nivel alto (2) y en cuanto a los factores A, B y C no se observa una alta influencia sobre la variable respuesta.

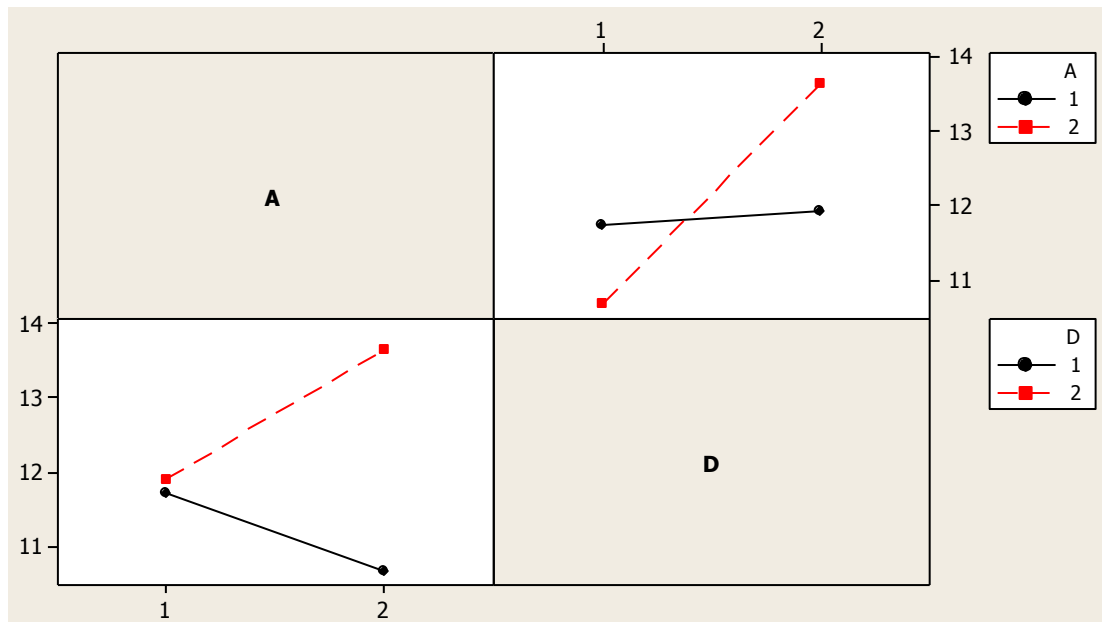
Figura 3. Efectos principales para medias de IP



5.1.5 Análisis de la interacción de los factores AD para la media IP.

En la figura 4 se observa que la interacción de los factores AD es significativa, además el comportamiento de la interacción señala que para alcanzar el mayor valor promedio de IP, los factores A y D deben estar cada uno en el nivel 2.

Figura 4. Interacción de los factores AD para IP



5.1.6 Valor predicho para la media de Incremento de Peso.

De acuerdo con los resultados anteriores, los niveles de los factores de control que maximizan el incremento de peso, son:

- Factor A (Densidad de siembra) nivel 2 (interacción)
- Factor B (Tasa de alimentación) nivel 1 o 2
- Factor C (Frecuencia alimentaria) nivel 1 o 2
- Factor D (Porcentaje de proteína) nivel 2

Los valores de ganancia de peso que se obtendrían en cada una de las combinaciones de los niveles de los factores de control evaluadas se indican en la tabla 10, se observa que la combinación T5 A2, B1, C1, D2 es con la cual se lograría maximizar la media de IP.

Tabla 10. Resultados predichos para cada combinación de los niveles de los factores de control que optimizan el IP

Tanque	Factores de control				Media
	A	B	C	D	
T1	1	1	1	1	4,10
T2	1	1	2	2	3,98
T3	1	2	1	2	4,21
T4	1	2	2	1	3,91
T5	2	1	1	2	5,04
T6	2	1	2	1	3,41
T7	2	2	1	1	3,63
T8	2	2	2	2	4,86

5.1.7 Resultados que permiten una mejora a la variable Incremento de peso

De acuerdo con los resultados obtenidos para el cociente señal/ruido y para la media de la variable incremento de peso, se encontró que para lograr una mejora

de esta variable, es necesario modificar el nivel actual de los factores A (densidad de siembra) y D (Nivel de proteína), así mismo se deben conservar el nivel de los factores B (tasa de alimentación) y C (frecuencia alimentaria). Finalmente la combinación de los factores que maximizan la media y al cociente S/N haciendo más robusta la variable respuesta incremento de peso es A2, B1, C1, D2 como se indican en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados que maximizan el cociente S/N y optimizan la media de la variable IP.

Tanque	Factores de control				S/N	MEDIA
	A	B	C	D		
T1	1	1	1	1	11,80	4,10
T2	1	1	2	2	11,81	3,98
T3	1	2	1	2	12,18	4,21
T4	1	2	2	1	11,73	3,91
T5	2	1	1	2	13,73	5,04
T6	2	1	2	1	10,53	3,41
T7	2	2	1	1	10,89	3,63
T8	2	2	2	2	13,66	4,86

5.2 Variable Conversión Alimenticia (CA).

Esta variable respuesta, corresponde a la capacidad que tuvieron los peces de convertir el alimento suministrado en biomasa íctica para cada uno de los dos niveles del factor de ruido periodo, los resultados promedios se indican en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados para la variable CA en cada nivel del factor de ruido.

Tanque	Factores de control				Factor de Ruido		Resultados		
	A	B	C	D	1° periodo	2° Periodo	Media	S	S/N
T1	1	1	1	1	0,71	1,07	0,89	0,25	0,84
T2	1	1	2	2	0,73	1,10	0,92	0,26	0,60
T3	1	2	1	2	0,91	1,22	1,07	0,22	-0,64
T4	1	2	2	1	0,94	1,30	1,12	0,25	-1,10
T5	2	1	1	2	0,49	0,70	0,60	0,15	4,38
T6	2	1	2	1	0,76	0,93	0,85	0,12	1,42
T7	2	2	1	1	1,21	1,87	1,54	0,47	-3,95
T8	2	2	2	2	0,99	1,35	1,17	0,25	-1,47

5.2.1 Análisis del cociente S/N para CA.

El análisis del cociente S/N de la variable CA con el estadístico de desempeño menor es mejor, (ecuación 4), permitió determinar los niveles de los factores controlables que minimizan la variabilidad ocasionada por el factor de ruido estudiado y que a su vez maximizan el cociente S/N.

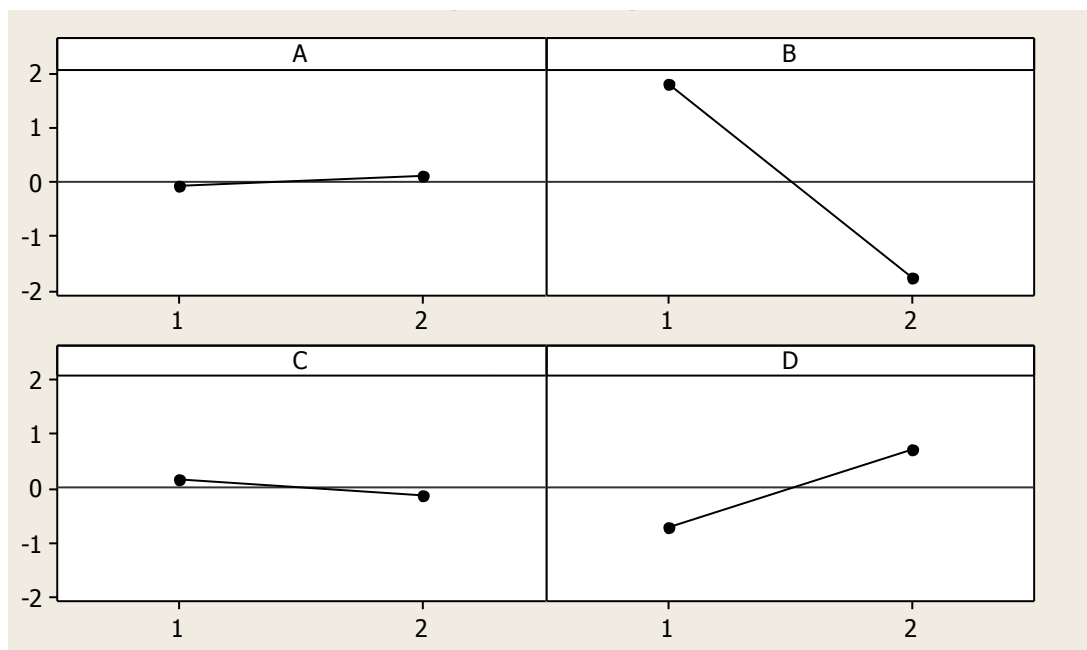
La tabla 13, muestra los promedios obtenidos para el cociente (S/N) cuando cada factor de control se encuentra en sus niveles 1 y 2. El valor de Delta indica que el factor B es el de mayor incidencia sobre la S/N seguidos por los factores D, C y A en menor medida.

Tabla 13. Resultados para S/N menor es mejor para CA

Nivel	A	B	C	D
1	-0,07437	1,80782	0,15779	-0,69582
2	0,09623	-1,78596	-0,13593	0,71768
Delta	0,17059	3,59378	0,29371	1,4135
Posición	4	1	3	2

En la figura 5 de efectos principales de los factores de control sobre el consciente S/N, se observa que el factor B es el de mayor efecto sobre la variación del incremento de peso, por lo tanto para maximizar la razón S/N de la variable CA, es necesario utilizar el factor B en su nivel bajo (1) y en cuanto a los factores D, C y A no se observa una alta influencia sobre la variabilidad.

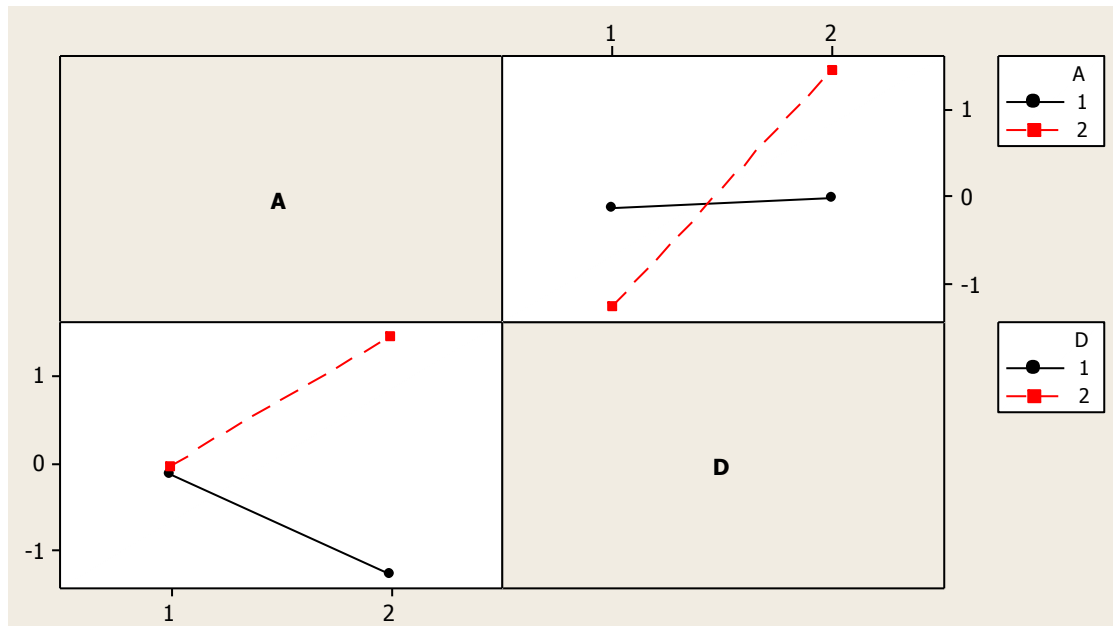
Figura 5. Efectos principales para S/N menor es mejor para CA.



5.2.2 Análisis de la interacción de los factores AD para CA.

En la figura 6 se observa que la interacción de los factores AD es significativa, además el comportamiento de la interacción señala que para alcanzar el mayor valor para el cociente S/N los factores A y D deben estar cada uno en el nivel 2.

Figura 6. Interacción de los factores AD para S/N para CA



5.2.3 Valor predicho para el cociente S/N menor es mejor para CA.

De acuerdo con los resultados anteriores, los niveles de los factores de control que maximizan la razón S/N, son:

- Factor A (Densidad de siembra) nivel 2 (Interacción)
- Factor B (Tasa de alimentación) nivel 1
- Factor C (Frecuencia alimentaria) nivel 1 o 2
- Factor D (Porcentaje de proteína) nivel 2 (Interacción)

Los valores de S/N que se obtendrían en cada una de las combinaciones de los niveles de los factores de control evaluadas se indican en la tabla 14, se observa que la combinación T5 A2, B1, C1, D2 es con la cual se lograría maximizar el cociente señal/ruido.

Tabla 14. Resultados predichos de cada combinación de los niveles de los factores de control que maximizan el cociente S/N para CA

Tanque	Factores de control				S/N
	A	B	C	D	
T1	1	1	1	1	1,82
T2	1	1	2	2	1,63
T3	1	2	1	2	-1,67
T4	1	2	2	1	-2,07
T5	2	1	1	2	3,40
T6	2	1	2	1	0,39
T7	2	2	1	1	-2,91
T8	2	2	2	2	-0,49

5.2.4 Análisis de la media para la variable respuesta CA

El análisis de la media para la variable CA, permitió determinar los niveles de los factores controlables que minimizan el promedio de la respuesta conversión

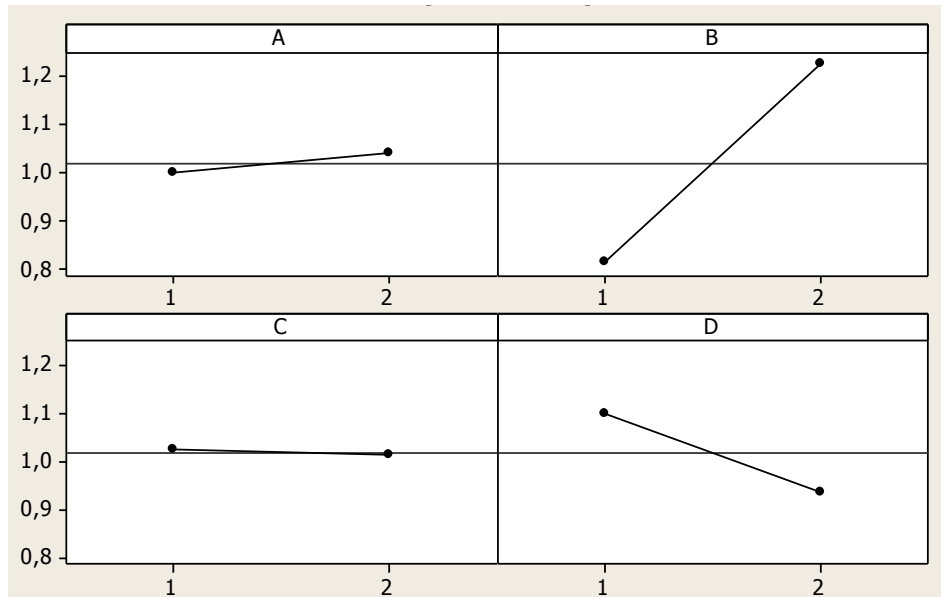
alimenticia; en la tabla 15 se indican los resultados obtenidos para la variable respuesta cuando cada factor de control se encuentra en sus niveles 1 y 2. El valor de Delta indica que el factor B es el de mayor incidencia sobre la media seguidos por los factores D, A y C en menor medida.

Tabla 15. Resultados medios para CA en cada nivel de cada factor controlable.

Nivel	A	B	C	D
1	0,9975	0,8113	1,0225	1,0988
2	1,0375	1,2238	1,0125	0,9363
Delta	0,04	0,4125	0,01	0,1625
Posición	3	1	4	2

En la figura 7 de efectos principales de los factores de control sobre la media, se observa que el factor B es el de mayor efecto sobre el promedio de conversión alimenticia, por lo tanto para minimizar la variable CA, es necesario utilizar el factor B en su nivel alto (2) y en cuanto a los factores D, A y C no se observa una alta influencia sobre la variable respuesta.

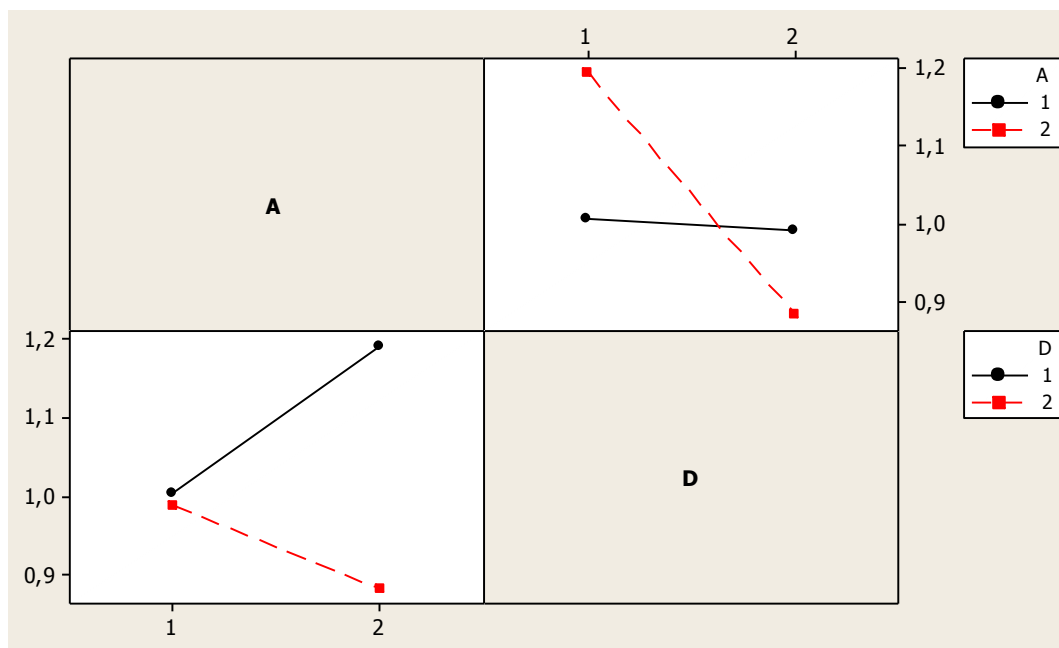
Figura 7. Efectos principales para medias de CA.



5.2.5 Análisis de la interacción de los factores AD para la media de CA.

En la figura 8 se observa que la interacción de los factores AD es significativa, además el comportamiento de la interacción señala que para alcanzar el menor valor promedio de CA, los factores A y D deben estar en el nivel 2.

Figura 8. Interacción de los factores AD para la media de CA.



5.2.6 Valor predicho para la media de Conversión Alimenticia

De acuerdo con los resultados anteriores, los niveles de los factores de control que minimizan la media de la variable CA son:

- Factor A (Densidad de siembra) nivel 2 (Interacción)
- Factor B (Tasa de alimentación) nivel 1
- Factor C (Frecuencia alimentaria) nivel 1 o 2
- Factor D (Porcentaje de proteína) nivel 2 (Interacción)

Los valores de conversión alimenticia que se obtendrían en cada una de las combinaciones de los niveles de los factores de control evaluadas se indican en la tabla 16, se observa que la combinación T5 A2, B1, C1, D2 es con la cual se lograría maximizar la media de CA.

Tabla 16. Resultados predichos para cada combinación de los niveles de los factores de control que optimizan la CA

Tanque	Factores de control				Media
	A	B	C	D	
T1	1	1	1	1	0,80
T2	1	1	2	2	0,78
T3	1	2	1	2	1,20
T4	1	2	2	1	1,21
T5	2	1	1	2	0,68
T6	2	1	2	1	0,98
T7	2	2	1	1	1,40
T8	2	2	2	2	1,08

5.2.7 Resultados que permiten una mejora a la variable Conversión Alimenticia

De acuerdo con los resultados obtenidos para el cociente señal/ruido y para la media de la variable conversión alimenticia, se encontró que para lograr una mejora de esta variable, es necesario modificar el nivel actual de los factores A (densidad de siembra) y D (Nivel de proteína), así mismo se deben conservar el nivel de los factores B (tasa de alimentación) y C (frecuencia alimentaria).

Finalmente la combinación de los factores que minimizan la media y maximizan al cociente S/N haciendo más robusta la variable respuesta conversión alimenticia es A2, B1, C1, D2 como se indican en la tabla 17.

Tabla 17. Resultado que maximizan el cociente S/N y optimizan la media de la variable CA

Tanque	Factores de control				S/N	Media
	A	B	C	D		
T1	1	1	1	1	1,82	0,80
T2	1	1	2	2	1,63	0,78
T3	1	2	1	2	-1,67	1,20
T4	1	2	2	1	-2,07	1,21
T5	2	1	1	2	3,40	0,68
T6	2	1	2	1	0,39	0,98
T7	2	2	1	1	-2,91	1,40
T8	2	2	2	2	-0,49	1,08

5.3 Variable Porcentaje de Supervivencia (%S).

Esta variable respuesta, corresponde a la supervivencia en porcentaje que los peces registraron para cada uno de los dos niveles del factor de ruido periodo, los resultados promedios se indican en la tabla 18.

Tabla 18. Resultados para la variable %S en cada nivel del factor de ruido

Tanque	Factores de control				Niveles Factor de Ruido		Resultados		
	A	B	C	D	1° periodo	2° Periodo	μ	S	S/N
T1	1	1	1	1	97,14	100,00	98,57	2,02	39,87
T2	1	1	2	2	97,14	91,43	94,29	4,04	39,48
T3	1	2	1	2	100,00	91,43	95,72	6,06	39,59
T4	1	2	2	1	97,14	94,29	95,72	2,02	39,62
T5	2	1	1	2	93,33	88,89	91,11	3,14	39,18
T6	2	1	2	1	95,56	91,11	93,34	3,15	39,39
T7	2	2	1	1	95,56	86,67	91,12	6,29	39,16
T8	2	2	2	2	97,78	88,89	93,34	6,29	39,37

5.3.1 Análisis del cociente S/N para %S.

El análisis del cociente S/N de la variable %S con el estadístico de desempeño mayor es mejor, (ecuación 5), permitió determinar los niveles de los factores controlables que minimizan la variabilidad ocasionada por el factor de ruido estudiado y que a su vez maximizan el cociente S/N.

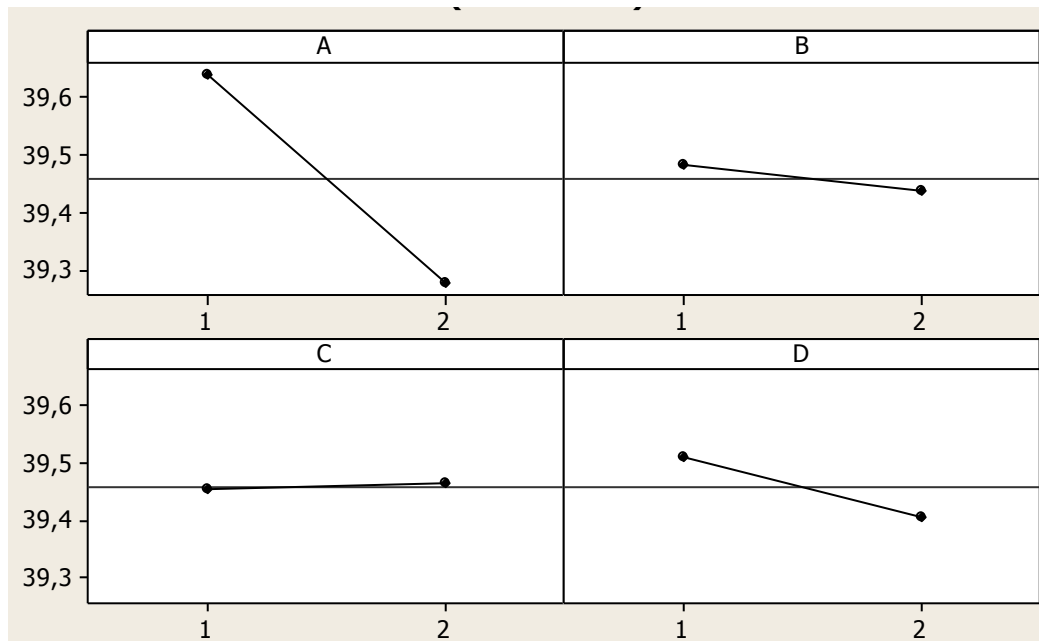
La tabla 19, muestra los promedios obtenidos para el cociente (S/N) cuando cada factor de control se encuentra en sus niveles 1 y 2. El valor de Delta indica que el factor A es el de mayor incidencia sobre la S/N seguidos por los factores D, B y C en menor medida.

Tabla 19. Resultados para S/N mayor es mejor para %S

Nivel	A	B	C	D
1	39,64	39,48	39,45	39,51
2	39,28	39,44	39,46	39,41
Delta	0,36	0,05	0,01	0,1
Posición	1	3	4	2

En la figura 9 de efectos principales de los factores de control sobre el consciente S/N, se observa que el factor A es el de mayor efecto sobre la variación del porcentaje de sobrevivencia; por lo tanto para maximizar la razón S/N de la variable %S, es necesario utilizar el factor A en su nivel bajo (1), en cuanto a los factores B, C y D no se observa una alta influencia sobre la variabilidad.

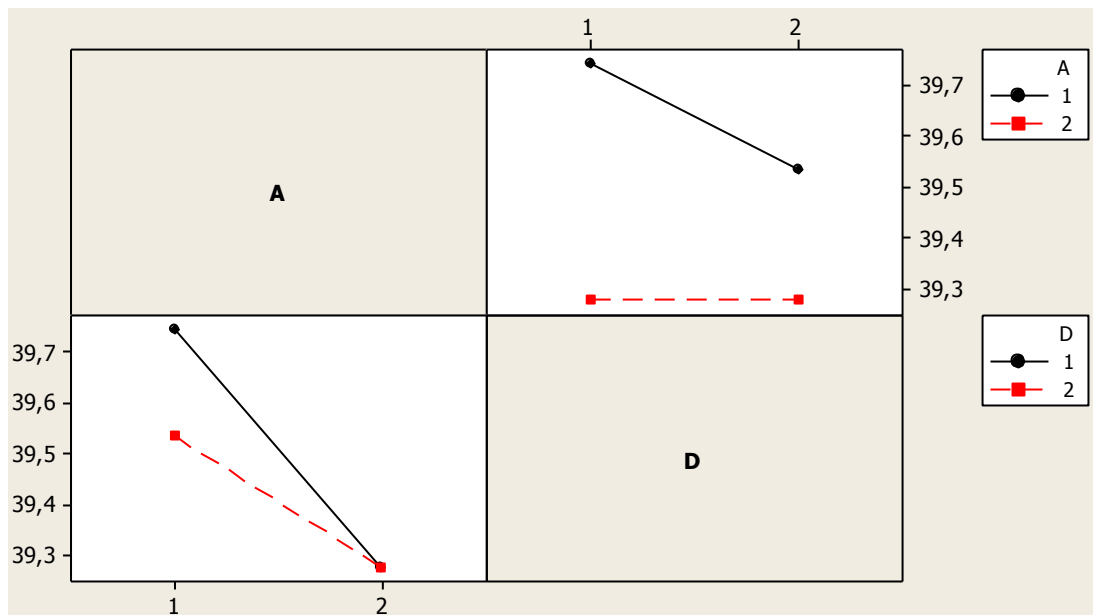
Figura 9. Efectos principales para S/N mayor es mejor para %S



5.3.2 Análisis de la interacción de los factores AD para %S.

En la figura 10 se observa que la interacción de los factores AD es significativa, además el comportamiento de la interacción señala que para alcanzar el mayor valor para el cociente S/N los factores A y D deben estar cada uno en el nivel 1.

Figura 10. Interacción de los factores AD para S/N para %S



5.3.3 Valor predicho para el cociente S/N del %S.

De acuerdo con los resultados anteriores, los niveles de los factores de control que maximizan la razón S/N, son:

- Factor A (Densidad de siembra) nivel 1 (Interacción)
- Factor B (Tasa de alimentación) nivel 1 o 2

- Factor C (Frecuencia alimentaria) nivel 1 o 2
- Factor D (Porcentaje de proteína) nivel 1 (Interacción)

Los valores de S/N que se obtendrían en cada una de las combinaciones de los niveles de los factores de control evaluadas se indican en la tabla 20; se observa que la combinación T1 (A1, B1, C1, D1) es con la cual se lograría maximizar el cociente señal/ruido.

Tabla 20. Resultados predichos para cada combinación de los niveles de los factores de control que maximizan el cociente S/N para %S

Tanque	Factores de control				S/N
	A	B	C	D	2°
T1	1	1	1	1	39,76
T2	1	1	2	2	39,56
T3	1	2	1	2	39,51
T4	1	2	2	1	39,73
T5	2	1	1	2	39,29
T6	2	1	2	1	39,31
T7	2	2	1	1	39,25
T8	2	2	2	2	39,26

5.3.4 Análisis de la media para la variable respuesta %S

El análisis de la media para la variable %S, permitió determinar los niveles de los factores controlables que maximizan el promedio de la respuesta porcentaje de sobrevivencia; en la tabla 21 se indican los resultados obtenidos para la variable respuesta cuando cada factor de control se encuentra en sus niveles 1 y 2. El

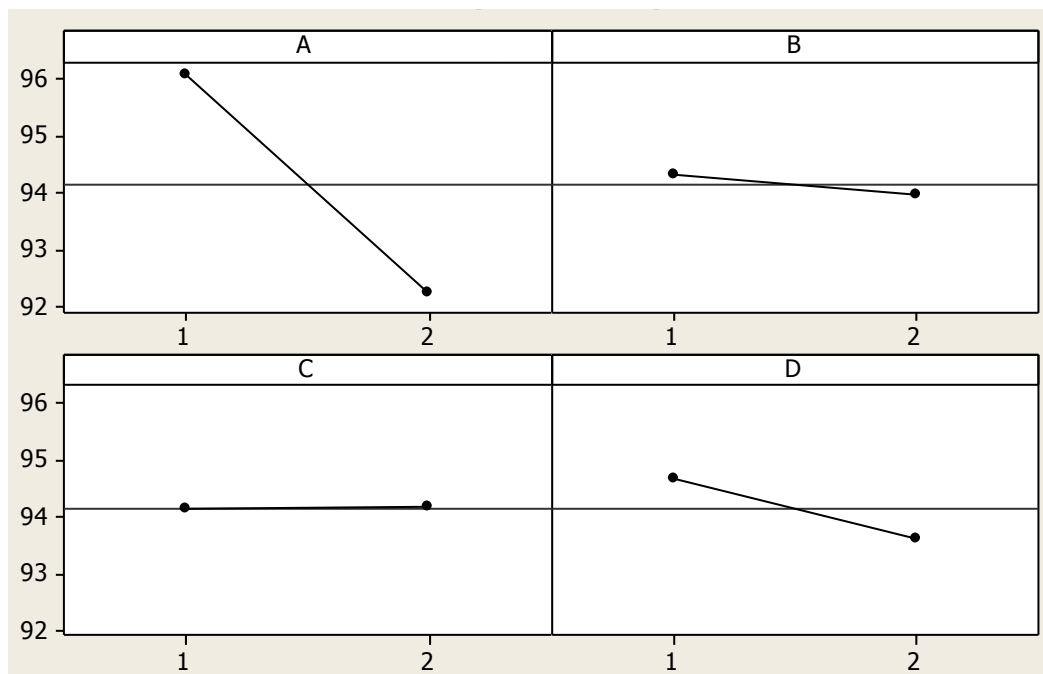
valor de Delta indica que el factor A es el de mayor incidencia sobre la media seguidos por los factores D, B y C en menor medida.

Tabla 21. Resultados medios para %S en cada nivel de cada factor controlable

Nivel	A	B	C	D
1	96,07	94,33	94,13	94,68
2	92,22	93,97	94,17	93,61
Delta	3,85	0,36	0,04	1,07
Posición	1	3	4	2

En la figura 11 de efectos principales de los factores de control sobre la media, se observa que el factor A es el de mayor efecto sobre el promedio de porcentaje de sobrevivencia, por lo tanto para maximizar la variable %S, es necesario utilizar el factor A en su nivel bajo (1) y en cuanto a los factores D, B y C no se observa una alta influencia sobre la variable respuesta.

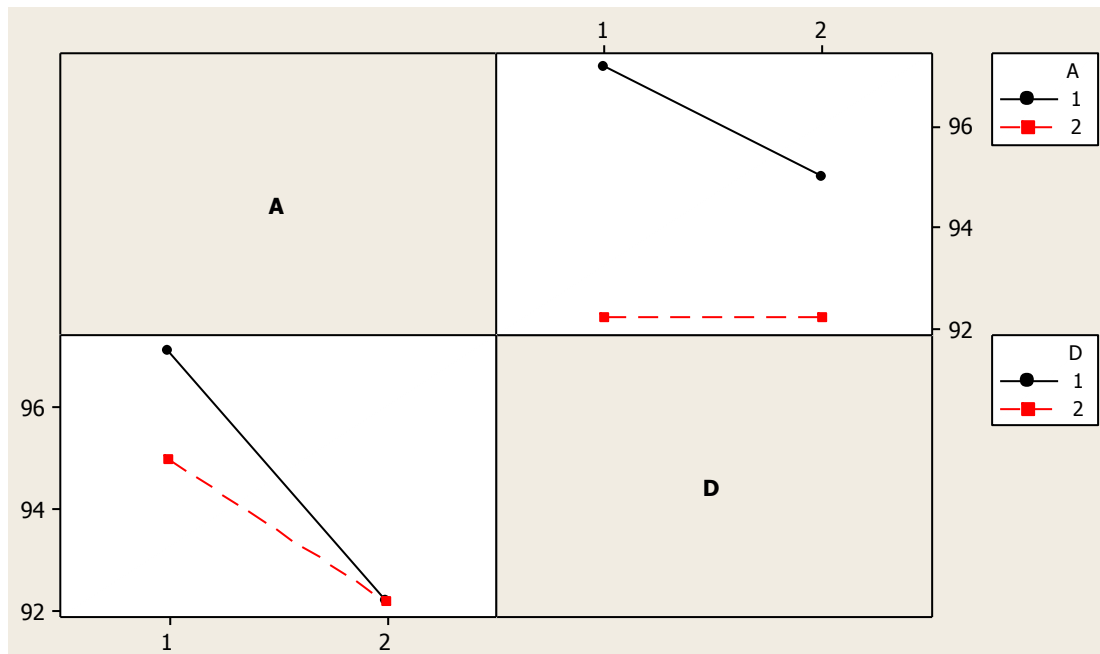
Figura 11. Efectos principales para medias de %S



5.3.5 Análisis de la interacción de los factores AD para la media de %S.

En la figura 12 se observa que la interacción de los factores AD es significativa, además el comportamiento de la interacción señala que para alcanzar el mayor valor promedio de %S, los factores A y D deben estar cada uno en el nivel 1.

Figura 12. Interacción de los factores AD para la media de %S en ambos periodos.



5.3.6 Valor predicho para la media del Porcentaje de Supervivencia

De acuerdo con los resultados anteriores, los niveles de los factores de control que maximizan la media de la variable %S son:

- Factor A (Densidad de siembra) nivel 1 (Interacción)
- Factor B (Tasa de alimentación) nivel 1 o 2
- Factor C (Frecuencia alimentaria) nivel 1 o 2
- Factor D (Porcentaje de proteína) nivel 1 (Interacción)

Los valores de porcentaje de sobrevivencia que se obtendrían en cada una de las combinaciones de los niveles de los factores de control evaluadas se indican en la tabla 22, se observa que la combinación T1 (A1, B1, C1, D1) es con la cual se lograría maximizar la media de %S.

Tabla 22. Resultados predichos para cada combinación de los niveles de los factores de control que optimizan el %S

Tanque	Factores de control				Media
	A	B	C	D	
T1	1	1	1	1	97,30
T2	1	1	2	2	95,20
T3	1	2	1	2	94,80
T4	1	2	2	1	96,99
T5	2	1	1	2	92,38
T6	2	1	2	1	92,42
T7	2	2	1	1	92,03
T8	2	2	2	2	92,07

5.3.7 Resultados que permiten una mejora a la variable Porcentaje de Sobrevivencia

De acuerdo con los resultados obtenidos para el cociente señal/ruido y para la media de la variable porcentaje de sobrevivencia, se encontró que para lograr una mejora de esta variable, no es necesario modificar ninguno de los niveles de los factores A (densidad de siembra), B (tasa de alimentación), C (frecuencia alimentaria) y D (Nivel de proteína). Finalmente la combinación de los factores que maximizan la media y al cociente S/N haciendo más robusta la variable respuesta porcentaje de sobrevivencia es A1, B1, C1, D1 como se indican en la tabla 23.

Tabla 23. Resultado que maximizan el cociente S/N y optimizan la media de la variable %S

Tanque	Factores de control				S/N	Media
	A	B	C	D		
T1	1	1	1	1	39,76	97,30
T2	1	1	2	2	39,56	95,20
T3	1	2	1	2	39,51	94,80
T4	1	2	2	1	39,73	96,99
T5	2	1	1	2	39,29	92,38
T6	2	1	2	1	39,31	92,42
T7	2	2	1	1	39,25	92,03
T8	2	2	2	2	39,26	92,07

5.4 Combinación de factores de control para lograr mejoras en la calidad de las variables Incremento de Peso, Conversión Alimenticia y Porcentaje de Supervivencia.

De acuerdo con los resultados obtenidos del primer y segundo periodo incluido el factor ruido estudiado para las variables evaluadas Incremento de Peso, Conversión Alimenticia y Porcentaje de Supervivencia, se logró establecer los niveles de los factores de control que maximizan la S/N para cada variable respuesta, así mismo se encontró el nivel de los factores que maximizan las medias de las variables IP y %S y que minimizan la media de CA; tal como se indica en la tabla 24.

Tabla 24. Nivel de los factores de control que permiten una mejora en las variables respuestas evaluadas.

VARIABLE DE RESPUESTA					IP		CA		%S	
Tanque	Factores de control				S/N	MEDIA	S/N	MEDIA	S/N	MEDIA
	A	B	C	D						
T1	1	1	1	1	11,8	4,1	1,82	0,8	39,76	97,30
T2	1	1	2	2	11,81	3,98	1,63	0,78	39,56	95,20
T3	1	2	1	2	12,18	4,21	-1,67	1,2	39,51	94,80
T4	1	2	2	1	11,73	3,91	-2,07	1,21	39,73	96,99
T5	2	1	1	2	13,73	5,04	3,4	0,68	39,29	92,38
T6	2	1	2	1	10,53	3,41	0,39	0,98	39,31	92,42
T7	2	2	1	1	10,89	3,63	-2,91	1,4	39,25	92,03
T8	2	2	2	2	13,66	4,86	-0,49	1,08	39,26	92,07

En la anterior tabla, se puede observar que para las tres variables respuesta los factores de control B y C deben permanecer en su nivel bajo (1) en cambio para las variables IP y CA es necesario que los factores A y D se encuentren en su nivel alto (2) a diferencia de la variable %S que debe asumir su nivel bajo (1).

5.5 Corrida de Comprobación en un periodo de prueba (PC)

El diseño L8 se corrió nuevamente en un periodo de comprobación (PC) para confirmar si las combinaciones de los factores controlables optimizan las variables de respuestas de estudio (IP, CA, %S) y minimizan la variabilidad ocasionada por el factor de ruido (P). Los resultados se muestran a continuación:

5.5.1 Variable Incremento de peso (IP) para el periodo de comprobación (PC)

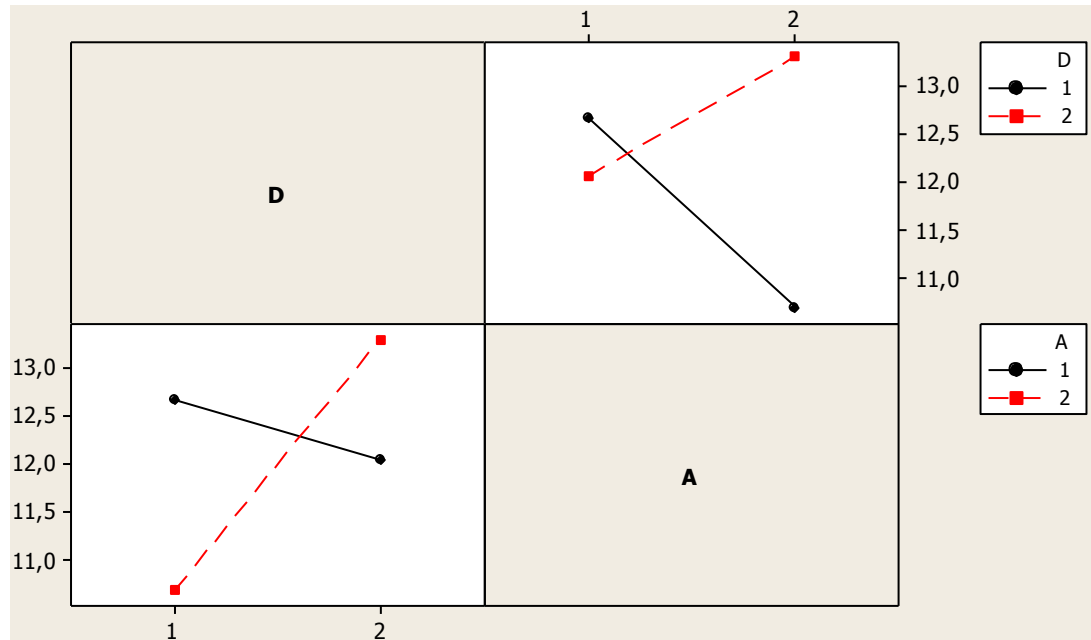
Los resultados obtenidos de la variable IP durante el periodo de comprobación confirmaron que cuando los factores de control se encuentran en sus niveles A2, B1, C1, D2 correspondientes al diseño T5 se logra maximizar la S/N con un valor de 13,31 y la media con un incremento de 4,63 g; como se indica en la tabla 25.

Tabla 25. Resultados de media y S/N para la variable IP obtenidos en el diseño L8 durante el periodo de comprobación.

Tanque	Factores de control				Resultados	
	A	B	C	D	μ	S/N
T1	1	1	1	1	4,54	13,14
T2	1	1	2	2	3,72	11,41
T3	1	2	1	2	4,31	12,69
T4	1	2	2	1	4,07	12,19
T5	2	1	1	2	4,63	13,31
T6	2	1	2	1	3,45	10,76
T7	2	2	1	1	3,40	10,63
T8	2	2	2	2	4,61	13,27

En la figura 13 de interacción de los factores densidad de siembra y nivel de proteína, se verificó que cuando los dos factores de control están en su nivel 2 se maximiza el cociente S/N y la media.

Figura 13. Interacción de los factores AD para S/N y media de la variable IP, durante el periodo de comprobación.



5.5.2 Variable conversión alimenticia (CA) para el periodo de comprobación (PC)

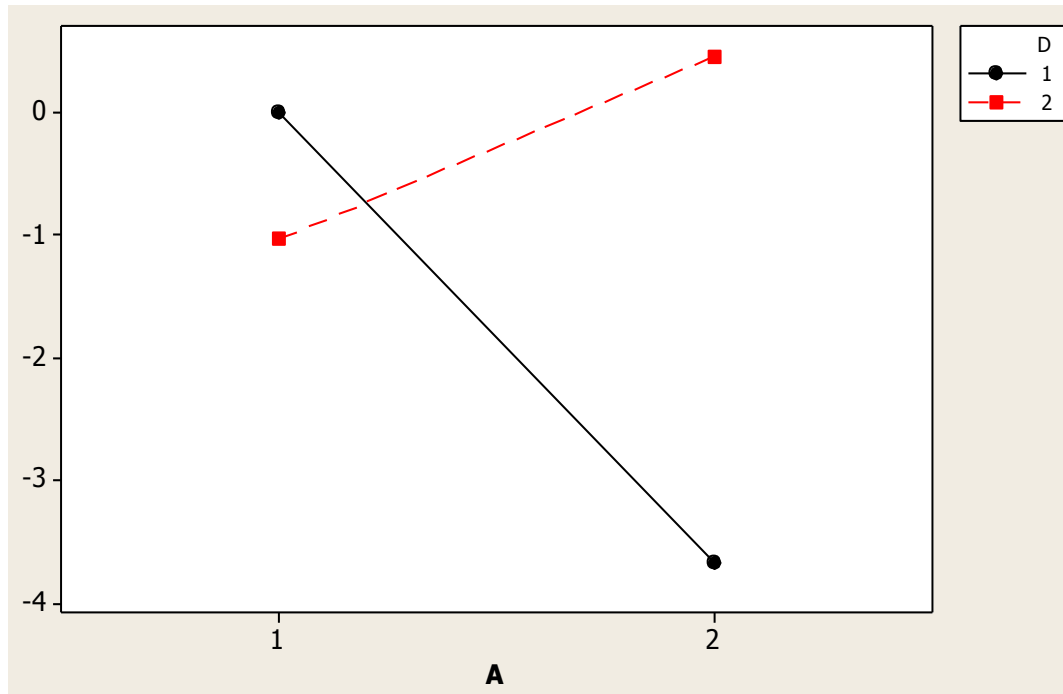
Los resultados obtenidos de la variable CA durante el periodo de comprobación confirmaron que cuando los factores de control se encuentran en sus niveles A2, B1, C1, D2 correspondientes al diseño T5 se logra maximizar la S/N con un valor de 2,5 y minimizar la media con un valor de 0,75; como se indica en la tabla 26.

Tabla 26. Resultados de media y S/N para la variable CA obtenidos en el diseño L8 durante el periodo de comprobación.

Tanque	Factores de control				RESULTADOS	
	A	B	C	D	SNR μ	μ
T1	1	1	1	1	2,27	0,77
T2	1	1	2	2	0,72	0,92
T3	1	2	1	2	-2,80	1,38
T4	1	2	2	1	-2,28	1,30
T5	2	1	1	2	2,50	0,75
T6	2	1	2	1	-1,51	1,19
T7	2	2	1	1	-5,85	1,96
T8	2	2	2	2	-1,58	1,20

En la figura 14 de interacción de los factores densidad de siembra y nivel de proteína, se verificó que cuando los dos factores de control están en su nivel 2 se minimiza la media de CA.

Figura 14. Interacción de los factores AD para la media de la variable CA, durante el periodo de comprobación.



5.5.3 Variable Porcentaje de Supervivencia (%S), para el periodo de comprobación.

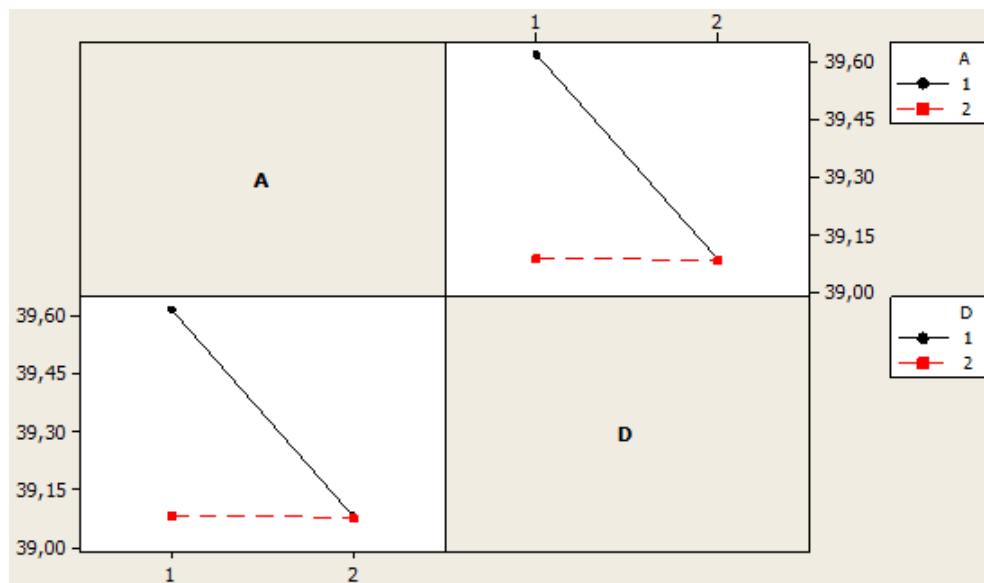
Los resultados obtenidos de la variable %S durante el periodo de comprobación confirmaron que cuando los factores de control se encuentran en sus niveles A1, B1, C1, D1 correspondientes al diseño T1 se logra maximizar la S/N con un valor de 39,74 y la media con una supervivencia del 97,14%; como se indica en la tabla 27; y se confirma que con el diseño T5 cuando los factores de control están en sus niveles A2, B1, C1 y D2, se obtiene una supervivencia del 93,33%, indicador que se encuentra dentro de los valores estándares de Aqumazonía, a nivel nacional e internacional.

Tabla 27. Resultados de media y S/N para la variable %S obtenidos en el diseño L8 durante el periodo de comprobación.

Tanque	Factores de control				%S	
	A	B	C	D	Media	S/N
T1	1	1	1	1	97,14	39,748
T2	1	1	2	2	91,43	39,2218
T3	1	2	1	2	88,57	38,9457
T4	1	2	2	1	94,29	39,4893
T5	2	1	1	2	93,33	39,4004
T6	2	1	2	1	88,89	38,9771
T7	2	2	1	1	91,11	39,1913
T8	2	2	2	2	86,67	38,7574

En la figura 15 de interacción de los factores densidad de siembra y nivel de proteína, se verificó que cuando los dos factores de control están en su nivel 1 se maximiza la media y el cociente S/N para la variable respuesta.

Figura 15. Interacción de los factores AD para S/N para %S, periodo de comprobación



5.6 Resultados finales que mejoran la calidad de las variables Incremento de Peso, Conversión Alimenticia y Porcentaje de Supervivencia.

De acuerdo con los resultados obtenidos durante el periodo de comprobación para las variables evaluadas Incremento de Peso, Conversión Alimenticia y Porcentaje de Supervivencia, se logró corroborar los niveles de los factores de control que maximizan la S/N para todas las variables respuesta, así mismo se encontró el nivel de los factores que maximizan las medias de las variables IP y %S y que minimizan la media de CA; según lo pronosticado anteriormente, tal como se indica en la tabla 28.

Tabla 28. Comprobación de los niveles de los factores de control que permiten una mejora en las variables respuestas evaluadas.

VARIABLE DE RESPUESTA					IP		CA		%S	
Tanque	Factores de control				S/N	MEDIA	S/N	MEDIA	S/N	MEDIA
	A	B	C	D						
T1	1	1	1	1	13,14	4,54	2,27	0,77	39,75	97,14
T2	1	1	2	2	11,41	3,72	0,72	0,92	39,22	91,43
T3	1	2	1	2	12,69	4,31	-2,80	1,38	38,95	88,57
T4	1	2	2	1	12,19	4,07	-2,28	1,30	39,49	94,29
T5	2	1	1	2	13,31	4,63	2,50	0,75	39,40	93,33
T6	2	1	2	1	10,76	3,45	-1,51	1,19	38,98	88,89
T7	2	2	1	1	10,63	3,40	-5,85	1,96	39,19	91,11
T8	2	2	2	2	13,27	4,61	-1,58	1,22	38,76	86,67

En la anterior tabla, se comprueba que para las tres variables respuestas los factores de control B y C deben permanecer en su nivel bajo (1) en cambio para

las variables IP y CA es necesario que los factores A y D se encuentren en su nivel alto (2) a diferencia de la variable %S que debe asumir su nivel bajo (1).

Los resultados obtenidos durante el periodo de comprobación, son similares a los predichos, de igual forma se verificó que el mejor diseño de los factores de control obtenido es el mismo que lo pronosticado anteriormente, como se indica en la tabla 29.

Tabla 29. Comparación de los resultados obtenidos de cada variable estudiada en el periodo de comprobación v/s valores predichos.

VARIABLE DE RESPUESTA					IP		CA		%S	
Tanque	Factores de control				MEDIA	Predicho	MEDIA	Predicho	MEDIA	Predicho
	A	B	C	D						
T1	1	1	1	1	4,54	4,1	0,77	0,8	97,14	97,3
T2	1	1	2	2	3,72	3,98	0,92	0,78	91,43	95,2
T3	1	2	1	2	4,31	4,21	1,38	1,2	88,57	94,8
T4	1	2	2	1	4,07	3,91	1,30	1,21	94,29	96,99
T5	2	1	1	2	4,63	5,04	0,75	0,68	93,33	92,38
T6	2	1	2	1	3,45	3,41	1,19	0,98	88,89	92,42
T7	2	2	1	1	3,40	3,63	1,96	1,4	91,11	92,03
T8	2	2	2	2	4,61	4,86	1,22	1,08	86,67	92,07

En la tabla 30, se observa el cuadro comparativo de los valores de las variables estudiadas y los resultados obtenidos por diseño T5 y los estándares referenciados a nivel internacional, nacional y por Aquamazonía. El diseño A2, B1, C1 y D2 generó durante el periodo de comprobación un IP de 4,63 siendo superior a los estándares establecidos por Aquamazonía, a nivel general e internacional,

con respecto para la variable CA el resultado obtenido e 0,75:1 es superior a los valores de Aquamazonía, generales y similares a los resultados internacionales, finalmente para %S el diseño T5 durante el periodo de comprobación fue de 93,33%, el cual es superior al estándar de Aquamazonía y se encuentra dentro del rango establecido a nivel general e internacional.

Tabla 30. Tabla comparativa de los resultados generados por el diseño T5 y los estándares internacionales, generales y de Aquamazonía.

Variable	Internacional⁸⁹	Generales⁹⁰	Aquamazonía⁹¹	Diseño T5
IP g/periodo	0,18 – 11,25	1,93 ⁹²	3,6	4,63
CA	0,8 – 1,0	1,67	1,5	0,75
%S	75 - 85%	90%	90%	92,38%

Teniendo en cuenta que es necesario unificar la permanencia o el cambio de nivel de cualquiera de los factores de control y que existe diferencias en cuanto al nivel de los factores A y D para la variable %S respecto a las otras dos variables, es necesario definir cuál será el nivel de estos dos factores evaluando los aspectos económicos del sistema de producción.

⁸⁹ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (2010) Op. cit., p. 50

⁹⁰ PLAN NACIONAL DE DESARROLLO DE LA ACUICULTURA SOSTENIBLE EN COLOMBIA FAO – INCODER Op. cit., p. 73

⁹¹ Informe Aquamazonía 2012.

⁹² MORILLO, Marielba, et al., Alimentación de alevines de *Colossoma macropomum* con dietas a base de *Erythrina edulis* y soya. Interciencia. 2013. 121 – 127 p. Disponible en Internet: URL: http://www.interciencia.org/v38_02/121.pdf

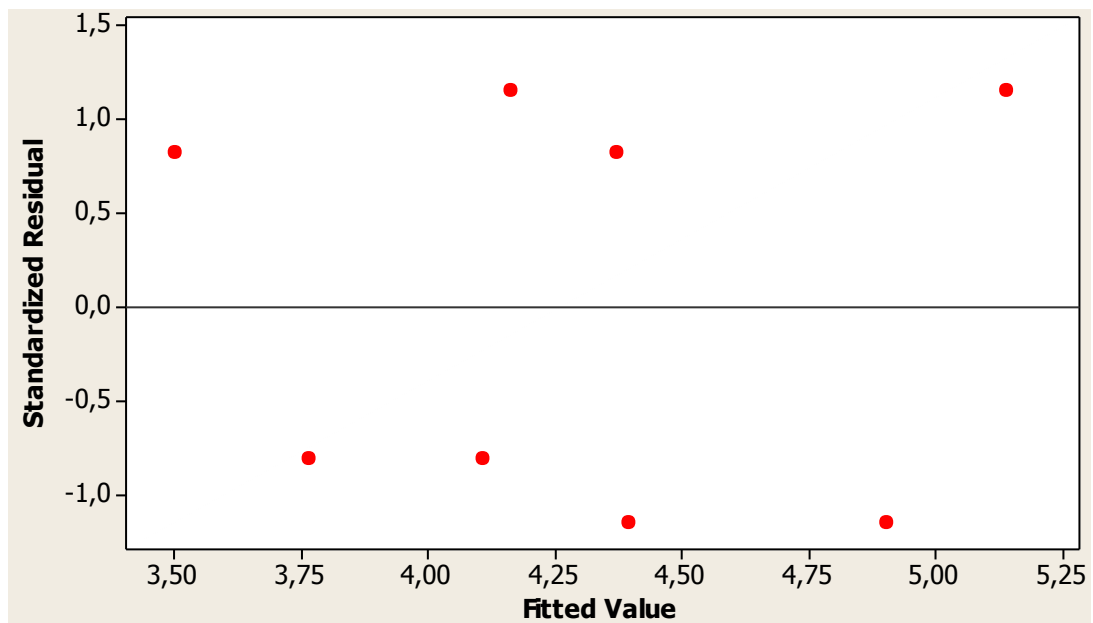
5.7 Validación del modelo matemático

5.7.1 Validación del modelo matemático para la variable Incremento de Peso (IP)

➤ Prueba de homocedasticidad para la variable IP

En la figura 16 correspondiente a la prueba de residuos vs predichos, no se observa un patrón de regularidad en la ubicación de los datos, con lo cual se comprueba el principio de homocedasticidad.

Figura 16. Residuos vs predichos para la variable respuesta IP



➤ **Prueba de Normalidad para la variable IP**

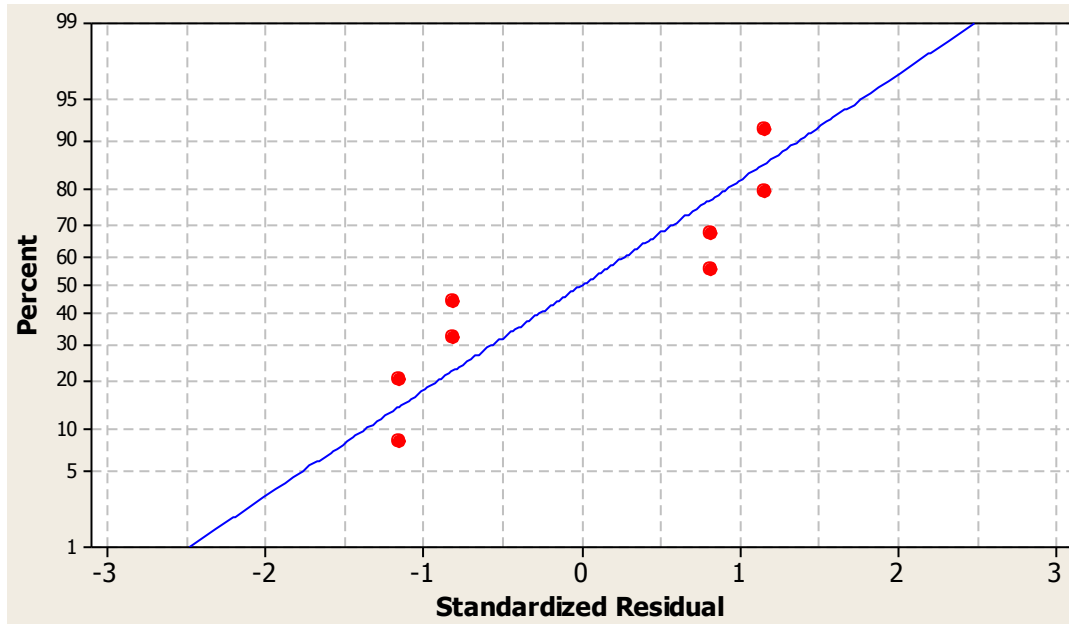
La prueba de normalidad, permitió demostrar que datos de la variable respuesta incremento de peso IP, siguen una distribución normal de acuerdo a los resultados de Shapiro-Wilk, como se indica en la tabla 31.

Tabla 31. Resultados de normalidad para la variable IP

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,949137	0,464818

El *valor-P* mas bajo que se obtuvo fue de 0,46, debido a que es mayor a 0.05, no se puede rechazar que los datos residuales provienen de una distribución normal con un 95% de confianza; además en la figura 17 se evidencia que los puntos se ubican cercanos a la línea recta; en consecuencia el modelo matemático establecido para IP cumple con el principio de normalidad.

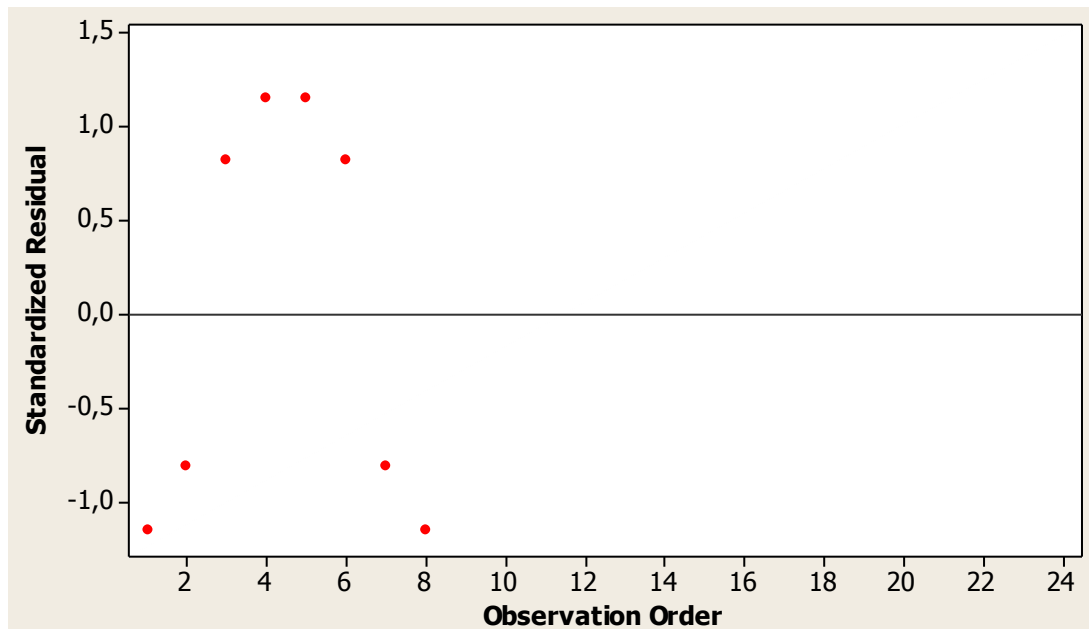
Figura 17. Porcentaje vs Residuos para la variable respuesta IP



➤ **Prueba de independencia para la variable IP.**

En la figura 18 de residuos frente al orden de los datos no revela un patrón regular de forma “tipo corneta” con lo cual se evidencia el cumplimiento de la independencia de los datos.

Figura 18. Residuos vs orden de datos para la variable respuesta IP



➤ **Ajuste del modelo para la variable IP**

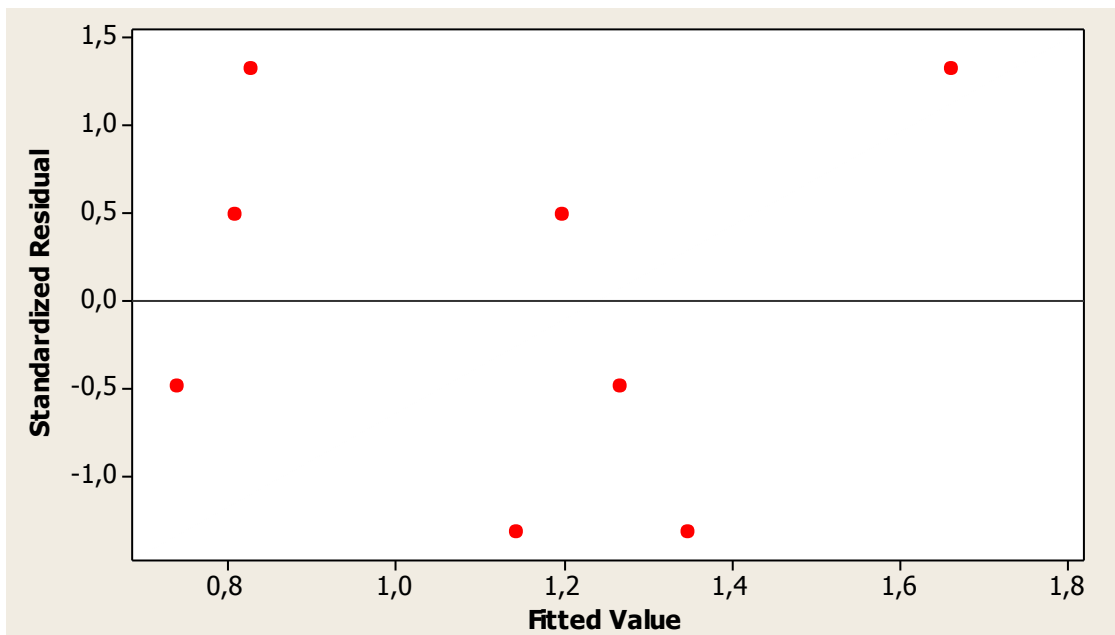
Para la variable de respuesta incremento de peso (IP), el ANOVA (Anexo S) revela que los factores que tienen mayor *f - valor* son D y AD siendo los de mayor influencia sobre IP. Además, el estadístico R^2 es de 79%, con lo cual el modelo resulta satisfactorio.

5.7.2 Validación del modelo matemático para la variable conversión alimenticia (CA)

➤ Prueba de homocedasticidad para CA

En la figura 19 correspondiente a la prueba de residuos vs predichos, no se observa un patrón de regularidad en la ubicación de los datos, con lo cual se comprueba el principio de homocedasticidad.

Figura 19. Residuos vs predichos para la variable respuesta CA



➤ **Prueba de Normalidad para la variable CA**

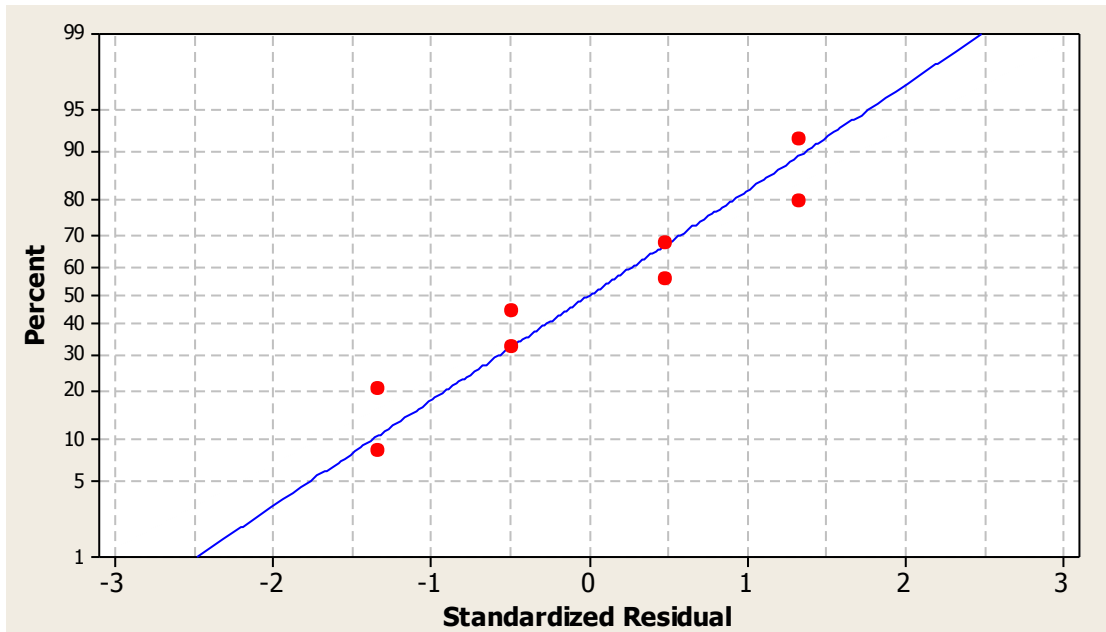
La prueba de normalidad, permitió demostrar que datos de la variable respuesta incremento de peso IP, siguen una distribución normal de acuerdo a los resultados de Shapiro-Wilk, como se indica en la tabla 32.

Tabla 32. Resultados de normalidad para la variable CA

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,943434	0,386855

El *valor-P* más bajo que se obtuvo fue de 0,38 debido a que es mayor a 0.05, no se puede rechazar que los datos residuales provienen de una distribución normal con un 95% de confianza; además en la figura 20 se evidencia que los puntos se ubican cercanos a la línea recta; en consecuencia el modelo matemático establecido para IP cumple con el principio de normalidad.

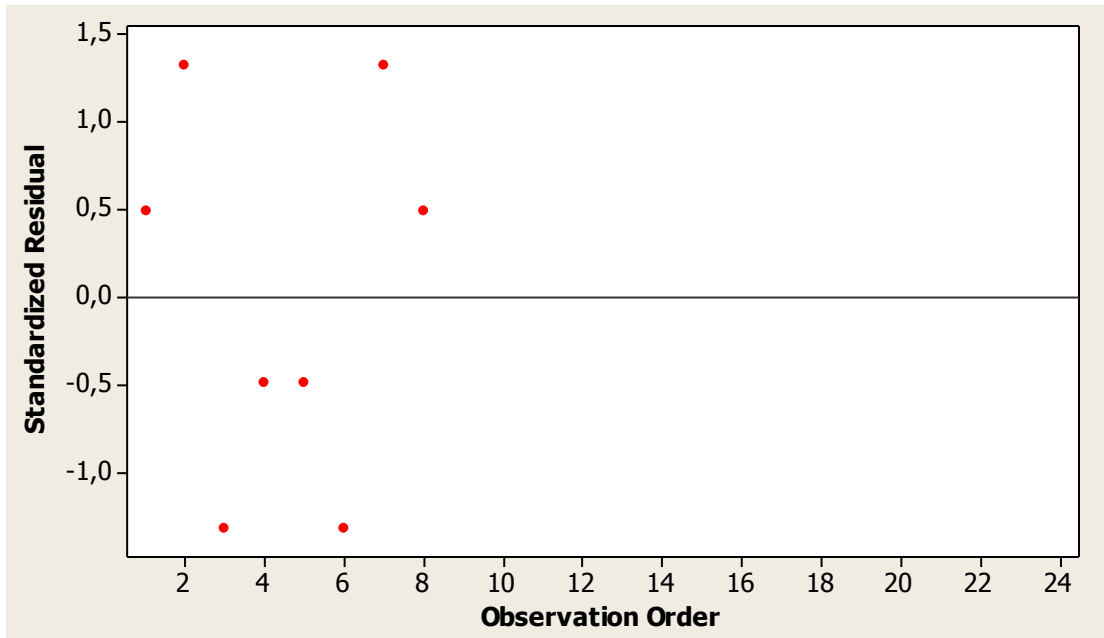
Figura 20. Porcentaje vs Residuos para la variable respuesta CA



➤ **Prueba de independencia para la variable CA.**

La figura 21 de residuos frente al orden de los datos no revela un patrón regular de forma “tipo corneta” con lo cual se evidencia el cumplimiento de la independencia de los datos.

Figura 21. Residuos vs orden de datos para la variable respuesta CA



➤ **Ajuste del modelo para la variable CA.**

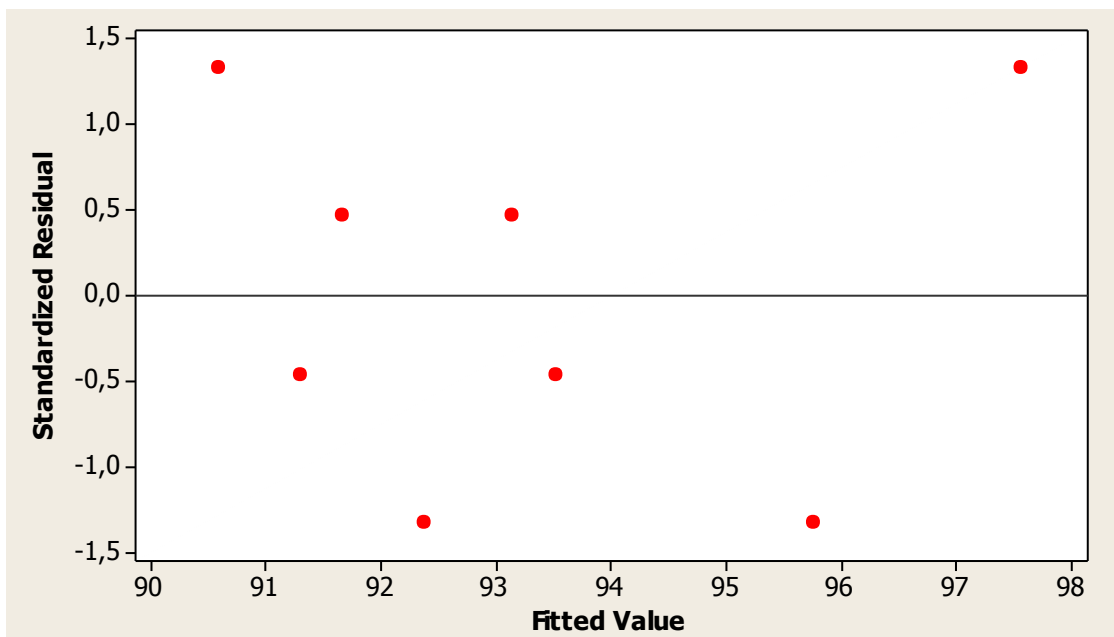
Para la variable de respuesta conversión alimenticia (IP), el ANOVA (Anexo T) revela que el factor que tiene mayor *f - valor* es B siendo los de mayor influencia sobre CA. Además, el estadístico R^2 es de 89,1%, con lo cual el modelo resulta satisfactorio.

5.7.3 Validación del modelo matemático para la variable porcentaje de sobrevivencia (%S)

➤ Prueba de homocedasticidad para %S

En la figura 22 correspondiente a la prueba de residuos vs predichos, no se observa un patrón de regularidad en la ubicación de los datos, con lo cual se comprueba el principio de homocedasticidad.

Figura 22. Residuos vs predichos para la variable respuesta %S



➤ **Prueba de Normalidad para la variable %S**

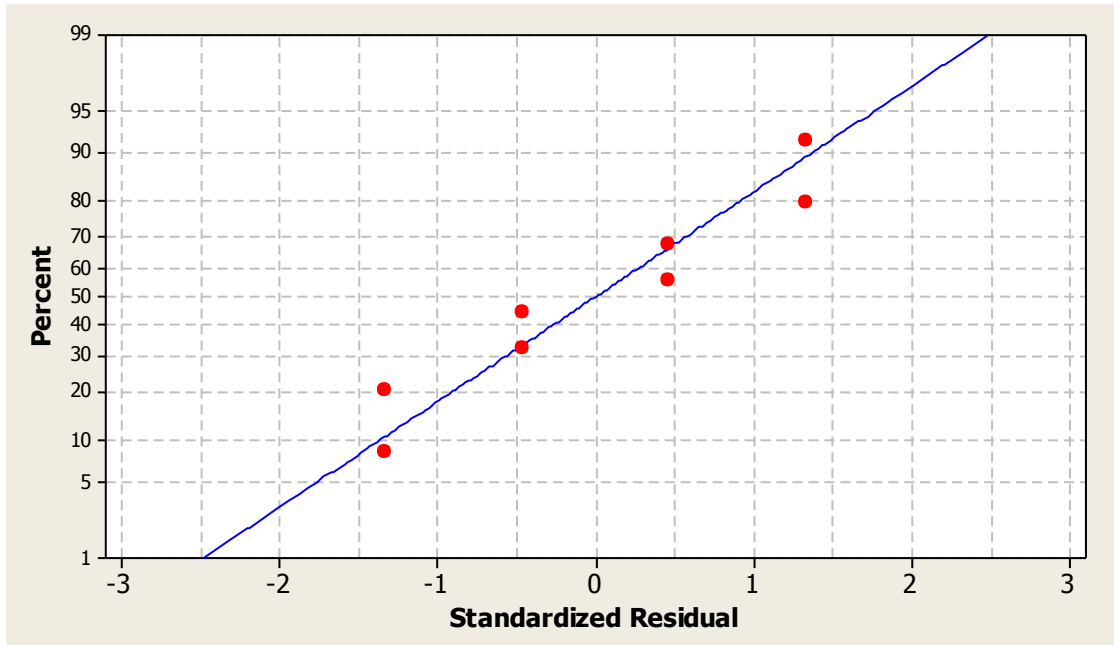
La prueba de normalidad, permitió demostrar que datos de la variable respuesta porcentaje de sobrevivencia %S, siguen una distribución normal de acuerdo a los resultados de Shapiro-Wilk, como se indica en la tabla 33.

Tabla 33. Resultados de normalidad para la variable CA

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,948332	0,453202

El *valor-P* mas bajo que se obtuvo fue de 0,45, debido a que es mayor a 0.05, no se puede rechazar que los datos residuales provienen de una distribución normal con un 95% de confianza; además en la figura 23 se evidencia que los puntos se ubican cercanos a la línea recta; en consecuencia el modelo matemático establecido para %S cumple con el principio de normalidad.

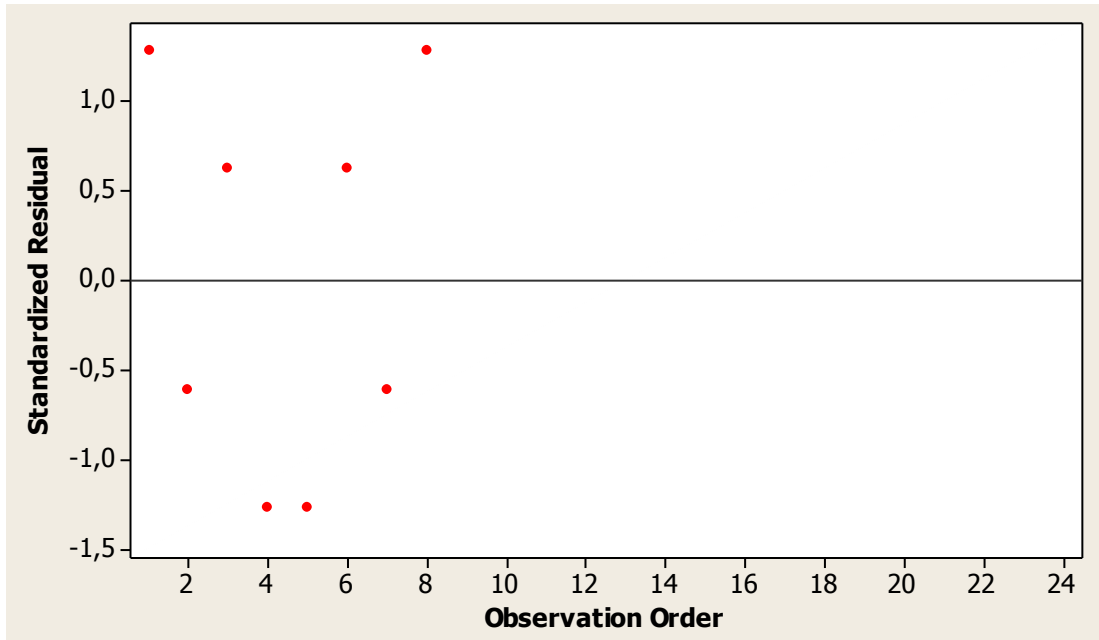
Figura 23. Porcentaje vs Residuos para la variable respuesta IP



➤ **Prueba de independencia para la variable %S.**

En la figura 24 de residuos frente al orden de los datos no revela un patrón regular de forma “tipo corneta” con lo cual se evidencia el cumplimiento de la independencia de los datos.

Figura 24. Residuos vs orden de datos para la variable respuesta %S



➤ **Ajuste del modelo para la variable %S.**

Para la variable de respuesta porcentaje de sobrevivencia (%S), el ANOVA (Anexo U) revela que los factores que tienen mayor *f – valor* son A, D y AD siendo los de mayor influencia sobre %S. Además, el estadístico R^2 es de 96,9%, con lo cual el modelo resulta satisfactorio.

5.8 Análisis económico para los niveles de los factores de control medidos en el periodo de comprobación.

El análisis económico se realizó a cada una de las combinaciones de los niveles de los factores de control evaluados y se asumió los resultados obtenidos en el periodo de comprobación para cada una de las variables respuestas IP, CA y %S; se proyectó una producción de peces para un estanque con un área de 1 Ha calculando las utilidades y la relación Beneficio/Costo (B/C) para un ciclo productivo y se obtuvieron los resultados indicados en la tabla 34.

Tabla 34. Resultados de utilidad y relación B/C para cada combinación de los niveles de los factores de control evaluados.

VARIABLE DE RESPUESTA					IP	
Tanque	Factores de control				B/C	Utilidad \$
	A	B	C	D	P.C	P.C
T1	1	1	1	1	1,56	\$ 18.300.422
T2	1	1	2	2	1,40	\$ 13.173.606
T3	1	2	1	2	1,38	\$ 12.591.183
T4	1	2	2	1	1,47	\$ 15.379.186
T5	2	1	1	2	1,50	\$ 21.267.659
T6	2	1	2	1	1,36	\$ 14.855.396
T7	2	2	1	1	1,49	\$ 14.914.419
T8	2	2	2	2	1,37	\$ 15.845.151

De acuerdo con los indicadores económicos, se observa que el diseño T5 logra las mayores utilidades en comparación al diseño T1 el cual representa el nivel de los factores de control que actualmente se maneja en el sistema de producción de Cachama blanca; por otro lado la relación B/C para T5 es de 1,50 lo cual indica que por cada peso invertido se genera \$0,5 de utilidad, siendo esto un resultado

adecuado para la empresa. Por lo tanto la mejor propuesta, desde el punto de vista técnico y económico, es cuando los factores de control asumen los niveles A2, B1, C1 y D2.

5.9 Análisis de calidad de agua para cada nivel del factor de ruido y el periodo de comprobación

Los parámetros de calidad de agua temperatura, oxígeno disuelto, pH y nitritos, fueron medidos en cada uno de los 8 diseños (tanques) de los factores de control establecidos por el arreglo ortogonal L8 y en cada nivel del factor de ruido (periodo), generando valores para cada parámetro como se indica a continuación.

5.9.1 Temperatura.

La temperatura promedio del agua registrada (anexos G y K) para cada tanque de cultivo en los niveles 1 y 2 de factor de ruido y en el periodo de comprobación, se indican en la tabla 35; el análisis de varianza (anexo G y K) demostró con un 95% de confianza que no hubieron diferencias significativas entre los 8 tanques dentro del periodo 1, de igual forma para el periodo 2 y de la misma manera para el periodo de comprobación (anexo O). Estos resultados indican que las condiciones del parámetro temperatura de agua fueron homogéneas para los 8 tanques de cultivo dentro de cada periodo.

Tabla 35. Resultados promedios de temperatura para periodo 1, periodo 2 y periodo de comprobación.

T°C			
Tanque	1 Periodo	2 Periodo	Periodo C
T1	24,55	24,12	24,37
T2	24,59	24,20	24,30
T3	24,49	24,15	24,40
T4	24,48	24,26	24,31
T5	24,56	24,13	24,30
T6	24,63	24,08	24,27
T7	24,44	24,02	24,27
T8	24,64	24,22	24,27
Media	24,55	24,15	24,31

Al comparar los resultados de temperatura entre el periodo 1, 2 y el de comprobación, el análisis de varianza (anexos V) determinó que existen diferencias significativas con un 95% de confianza, así mismo la prueba de Tukey (anexo V) demostró con un 95% de confianza que los resultados medios de temperatura de cada periodo son diferentes.

Los resultados de temperatura promedio para cada tanque dentro de los periodos 1, 2 y el de comprobación estuvieron dentro de los valores requeridos para un adecuado cultivo de la especie Cachama blanca en la fase de pre-cría.

5.9.2 Oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto promedio presente en el agua (anexos H y L) registrado para cada tanque de cultivo en los niveles 1 y 2 del factor de ruido y en el periodo de

comprobación, se indican en la tabla 36; el análisis de varianza (anexos H y L) demostró con un 95% de confianza que no hubieron diferencias significativas entre los 8 tanques dentro del periodo 1, de igual forma para el periodo 2 y de la misma manera para el periodo de comprobación (anexo P). Estos resultados indican que las condiciones del parámetro oxígeno disuelto en el agua fueron homogéneas para los 8 tanques de cultivo dentro de cada periodo.

Tabla 36. Resultados promedios de oxígeno disuelto para periodo 1, periodo 2 y periodo de comprobación.

O ₂ mg/l			
Tanque	1 Periodo	2 Periodo	Periodo C
T1	7,843	8,151	7,945
T2	7,771	8,163	7,938
T3	8,004	8,153	7,937
T4	7,880	8,149	7,945
T5	7,861	8,152	7,957
T6	7,935	8,151	7,945
T7	7,834	8,148	7,925
T8	7,788	8,157	7,933
Media	7,864	8,153	7,941

Al comparar los resultados de oxígeno disuelto entre el periodo 1, 2 y el de comprobación, el análisis de varianza (anexo W) determinó que existen diferencias significativas con un 95% de confianza, así mismo la prueba de Tukey (anexo W) demostró con un 95% de confianza que los resultados medios de oxígeno disuelto de cada periodo son diferentes.

Los resultados de oxígeno disuelto promedio para cada tanque dentro de los periodos 1, 2 y el de comprobación estuvieron dentro de los valores requeridos para un adecuado cultivo de la especie Cachama blanca en la fase de pre-cría.

5.9.3 Potencial de hidrogenación pH.

El pH promedio presente en el agua registrado (anexos I y M) para cada tanque de cultivo en los niveles 1 y 2 de factor de ruido y en el periodo de comprobación, se indican en la tabla 37; el análisis de varianza (anexos I y M) demostró con un 95% de confianza que no hubieron diferencias significativas entre los 8 tanques dentro del periodo 1, de igual forma para el periodo 2 y de la misma manera para el periodo de comprobación (anexo Q). Estos resultados indican que las condiciones del parámetro pH en el agua fueron homogéneas para los 8 tanques de cultivo dentro de cada periodo.

Tabla 37. Resultados promedios de pH para periodo 1, periodo 2 y periodo de comprobación.

pH			
Tanque	1 Periodo	2 Periodo	Periodo C
T1	6,243	7,123	6,929
T2	6,177	7,127	6,959
T3	6,289	7,113	6,980
T4	6,128	7,112	6,920
T5	6,296	7,127	6,972
T6	6,113	7,119	6,925
T7	6,053	7,117	6,905
T8	6,110	7,143	6,949
Media	6,176	7,123	6,942

Al comparar los resultados de pH entre el periodo 1, 2 y el de comprobación, el análisis de varianza (anexo X) determinó que existen diferencias significativas con un 95% de confianza, así mismo la prueba de Tukey (anexo X) demostró con un 95% de confianza que los resultados medios de pH de cada periodo son diferentes.

Los resultados de pH promedio para cada tanque dentro de los periodos 1, 2 y el de comprobación estuvieron dentro de los valores requeridos para un adecuado cultivo de la especie Cachama blanca en la fase de pre-cría.

5.9.4 Nitritos NO₂

Los NO₂ promedio presente en el agua registrado (anexos J y N) para cada tanque de cultivo en los niveles 1 y 2 de factor de ruido y en el periodo de comprobación, se indican en la tabla 38; el análisis de varianza (anexos J y N) demostró con un 95% de confianza que no hubieron diferencias significativas entre los 8 tanques dentro del periodo 1, de igual forma para el periodo 2 y de la misma manera para el periodo de comprobación (anexo R). Estos resultados indican que las condiciones del parámetro NO₂ en el agua fueron homogéneas para los 8 tanques de cultivo dentro de cada periodo.

Tabla 38. Resultados promedios de NO₂ para periodo 1, periodo 2 y periodo de comprobación.

NO ₂			
Tanque	1 Periodo	2 Periodo	Periodo C
T1	0,323	1,153	0,680
T2	0,327	1,123	0,630
T3	0,710	1,107	0,627
T4	0,637	1,157	0,683
T5	0,730	1,173	0,613
T6	0,873	1,163	0,597
T7	0,397	1,143	0,620
T8	0,340	1,140	0,620
Media	0,542	1,145	0,634

Al comparar los resultados de NO₂ entre el periodo 1, 2 y el de comprobación, el análisis de varianza (anexo Y) determinó que existen diferencias significativas con un 95% de confianza, así mismo la prueba de Tukey (anexo Y) demostró con un 95% de confianza que solo los resultados medios de NO₂ del periodo 2 son diferentes a los del periodo 1 y de comprobación.

Los resultados de NO₂ promedio para cada tanque dentro de los periodos 1, 2 y el de comprobación estuvieron dentro de los valores requeridos para un adecuado cultivo de la especie Cachama blanca en la fase de pre-cría.

6 CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación de mejora de los estándares productivos del proceso de cultivo de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en la fase de pre-cría en el departamento del Putumayo – Colombia a partir de la ingeniería de calidad utilizando el diseño de parámetros L8 permitió obtener las siguientes conclusiones:

1. Se maximizó la variable respuesta incremento de peso (IP), alcanzando un valor de 4,63 g cuando los factores de control asumen los niveles A2, B1, C1 y D2, siendo este valor superior al reportado por Aquamazonía con un IP de 3,6 g cuando todos los factores de control asumen el nivel 1; de igual forma el valor obtenido fue superior al reportado a nivel nacional de 4 g y estuvo dentro del rango internacional de 3,8 – 5,0 g
2. La variable respuesta conversión alimenticia (CA) fue minimizada alcanzando un valor de 0,75 cuando los factores de control asumen los niveles A2, B1, C1 y D2, siendo este valor inferior al reportado por Aquamazonía con un CA de 1,5 cuando todos los factores de control asumen el nivel 1; de igual forma el valor obtenido fue mejor al reportado a nivel nacional de 1,4 y a nivel internacional de 0,8.
3. El porcentaje de sobrevivencia (%S) máximo alcanzado fue de 92,38 % cuando los factores de control asumen los niveles A2, B1, C1 y D2, siendo

este valor superior al reportado por Aquamazonía con un 90% de sobrevivencia; de igual forma el valor obtenido estuvo dentro del rango nacional e internacional de 90 al 95%.

4. Cuando los factores de control asumen los niveles A2, B1, C1 y D2, el cociente S/N se maximiza para las variables respuestas IP y CA indicando con ello que se minimiza la variabilidad ocasionada por el factor de ruido incorporado al diseño ortogonal L8.
5. La interacción de los factores de control densidad de siembra (A) y nivel de proteína (D) tiene influencia conjunta sobre las variables de respuesta estudiadas, mostrando con ello que cuando el nivel de siembra se encuentra en su nivel 2 (1,8 peces/litro), el nivel de proteína que optimizan las respuestas es también el nivel 2 (38%).
6. Para el caso de la variable %S, el análisis del efecto medio de los factores de control, demostró que la densidad de siembra, tasa de alimentación, frecuencia alimentaria y nivel de proteína, tiene efecto sobre la media y la variabilidad de la sobrevivencia en el proceso productivo, lográndose valor máximo del %S de 97,3% con una señal ruido de 39,76 cuando todos los factores están en su nivel alto 1.

7. Los modelos matemáticos establecidos para las variables respuesta IP, CA y %S, cumplieron con los supuestos de homocedasticidad, Normalidad, Independencia, linealidad y aditividad con un R^2 de 79% para IP, 89,1% para CA y 96.9% para sobrevivencia, con lo cual se logra validar el modelo con un nivel de confianza del 95%.
8. El análisis económico realizado durante el periodo de comprobación con los resultados arrojados por las variables respuestas IP, CA y %S con el diseño de los factores de control A2, B1, C1 y D2 reportaron que se obtendrían utilidades por \$21.267.659 por cada ciclo de producción de Cachama blanca en la fase de pre-cría, siendo mayor a las utilidades que se generaría por \$ 18.300.422 cuando todos los factores de control estén en su nivel alto 1.
9. Los parámetros de calidad de agua estuvieron dentro de un rango medio entre 24,15 – 24,55 °C temperatura, oxígeno disuelto entre 7,86 – 8,15 mg/l, pH entre 6,17 – 7,12 y los nitritos entre 0,54 – 1,14 mg/l durante el periodo 1, periodo 2 y el periodo de comprobación, lo cual garantizó un medio acuático adecuado según los requerimientos de la especie Cachama blanca para la fase de pre-cría.
10. Los resultados arrojados en esta investigación, sugieren que el proceso productivo de Cachama blanca es más robusto al factor de ruido Periodo

cuando los niveles de los factores controlables son A2, B1, C1, y D2 obteniéndose mejoras considerables a partir del estudio de las variables respuesta IP, CA y %S, y en los indicadores económicos. Es decir, se debe manejar una densidad de siembra de 1,8 peces por litro, una tasa de alimentación del 4%, una frecuencia alimenticia de 2 comidas diarias y un alimento balanceado del 38% de proteína.

7 RECOMENDACIONES

1. Al validar los modelos matemáticos para las variables IP, CA y %S se encontraron valores para R^2 de 79%, 89.1% y 96.9% respectivamente, se sugiere incluir otros factores de control o reemplazar los factores no significativos para la mejora de calidad del proceso de cultivo de Cachama al igual que considerar otros tipos de diseños ortogonales.
2. Realizar investigaciones de mejora de la calidad utilizando el diseño de parámetros de Taguchi para hacer robusto los procesos restantes dentro del cultivo de Cachama blanca tales como el de reproducción, larvicultura, alevinaje y ceba y así mejorar la calidad global del proceso productivo.
3. Evaluar el modelo L8 propuesto en la fase de pre-cría del cultivo de Cachama blanca en otros periodos donde existan diferencias extremas en cuanto a los parámetros de calidad de agua y determinar los niveles de los factores de control que hacen robusto y mejoran la calidad de las variables respuestas del proceso productivo.
4. Mejorar la calidad de los proceso de producción acuícola de otras especies ícticas utilizando los diseños de parámetros propuesto por Taguchi y así optimizar su producción y maximizar o minimizar las variables respuestas de interés dentro del proceso.

5. Evaluar otros factores de ruido, que afecten la calidad de las variables respuestas y la robustez del proceso productivo en sus diferentes fases, tales como la calidad de los insumos, métodos de preparación, tipos de recintos acuícolas y técnicas de cultivo .

6. Crear una línea de investigación en calidad de procesos acuícolas para optimizar la producción de diferentes especies ícticas, aplicando la metodología de calidad propuesta por Taguchi.

8 RECURSOS Y PRESUPUESTO

Item	Unidad	Cantidad	V. Unt \$	V. Total \$	Recursos Propios	Aquamazonia
Alimento peces 32%	Kilos	30	1.600	48.000		48.000
Alimento peces 38%	Kilos	30	1.800	54.000		54.000
Balanza	Unidad	1	120.000	120.000		120.000
Baldes de 12 litros	Unidad	4	12.000	48.000		48.000
Baldes de 20 litros	Unidad	2	20.000	40.000		40.000
Blower 2 HP	Unidad	1	450.000	450.000		450.000
Bolsas plásticas de 2 kg paquete x 100	Unidad	2	8.000	16.000		16.000
Cámara digital	Unidad	1	300.000	300.000	300.000	
Cloro	Litros	10	5.000	50.000		50.000
Computador	Unidad	1	1.000.000	1.000.000	1.000.000	
Cronometro	Unidad	1	35.000	35.000		35.000
Electrobomba	Unidad	1	400.000	400.000		400.000
Hiposulfito de sodio	kilos	5	5.000	25.000		25.000
Juveniles Cachama	Unidad	960	200	192.000		192.000
Material bibliográfico	Unidad	1	1.500.000	1.500.000	400.000	1.100.000
Nasas	Unidad	2	60.000	120.000		120.000
Oxímetro	Unidad	1	1.800.000	1.800.000		1.800.000
Papelería resmas	Unidad	1	50.000	50.000		50.000
pH-metro	Unidad	1	150.000	150.000		150.000
Probeta x 100ml	Unidad	2	20.000	40.000		40.000
Quinaldina	Litro	1	700.000	700.000		700.000
Recipientes plasticos	Unidad	16	5.000	80.000		80.000
Sal marina	Kilos	20	1.200	24.000		24.000
Tanques de 25 litros	Unidad	8	50.000	400.000		400.000
Transporte terrestre	Unidad	6	120.000	720.000		720.000
			Total	8.362.000	1.700.000	6.662.000
			Porcentaje	100%	20,33%	79,67%

9 BIBLIOGRAFÍA

1. ABDEL-TAWWAB, Mohsen; AHMAD, Mohammad; KHATTAB, Yassir y SHALABY, Adel. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). Elsevier, Aquaculture. 2010. 267 - 274 p. Disponible en Internet: URL:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848609008849>
2. ABDO, María; RODRÍGUEZ, Estela; HERNÁNDEZ, Crisantema; HERNÁNDEZ, Karina; GONZÁLEZ, Blanca; MARTÍNEZ, Irma y GARCÍA, Armando. Efecto de diferentes niveles de proteína y lípidos totales en la dieta sobre el crecimiento y supervivencia de juveniles de pargo lunarejo *Lutjanus guttatus*. [online]. 2010, vol.45, n.3, pp. 433-439. Disponible en Internet: URL: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-19572010000300008&script=sci_arttext&lng=pt
3. AGUILAR, Fredy. Modelos matemáticos no lineales como herramienta para evaluar el crecimiento de Tilapia roja (*Oreochromis* spp.) y Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* var. chitralada) alimentadas con dietas peletizadas o extruidas. Tesis para optar al título de Magíster en Producción Animal Línea de investigación – Nutrición animal. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Bogotá, 2010. 135 p. Disponible en Internet: URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2813/1/780183.2010.pdf>
4. ANDRADE DE PASQUIER, Glenys; MÉNDEZ, Yaracelis y PERDOMO, Daniel. Engorde experimental de cachama (*Colossoma macropomum*) en la Estación Local El Lago, estado Zulia, Venezuela. *Zootecnia Trop.* [online]. 2011, vol.29, n.2 pp. 213 - 218. Disponible en Internet. URL: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692011000200008&lng=es&nrm=iso. ISSN 0798-7269.
5. ANGUAS, Benjamín; CIVERA, Roberto; GOYTORTUA, Ernesto; ROCHA, Sonia. Efecto de la temperatura y la densidad de cultivo sobre el crecimiento de juveniles de la cabrilla arenera, *Paralabrax maculatofasciatus*. México, 2003. 309 – 315 p. Disponible en Internet: URL: <http://investigacion.izt.uam.mx/rehb/publicaciones/13-4PDF/309-316%20Anguas.pdf>

6. ARGUMEDO, Eric y ROJAS, Hector. Manual de piscicultura con especies nativas. Asociación de acuicultores del Caquetá ACUICA. Bogotá, Colombia: Produmedios, 2000. 151 p.

7. BRITZ, Peter y HECHT, Thomas. Effect of dietary protein and energy level on growth and body composition of South African abalone, *Haliotis midae*. Elsevier, Aquaculture. 1997. 195-210 p. Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848697000902>

8. CORPORACIÓN COLOMBIANA INTERNACIONAL – CCI, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL – MADR. Encuesta Nacional Piscícola 2012, Informe de Resultados. Colombia. 20 p. Disponible en Internet: URL: <http://acac.org.co/ADMINISTRATIVA/2012/notic/INFORME%20ENCUESTA%20PISCICOLA%202012.pdf>

9. GUO, Zhiqiang; ZHU, Xiaoming; LIU, Jiashou; HAN, Dong; YANG, Yunxia; LAN, Zeqiao y XIE, Shouqi. Effects of dietary protein level on growth performance, nitrogen and energy budget of juvenile hybrid sturgeon, *Acipenserbaerii* x *A. gueldenstaendtii*. Elsevier, Aquaculture. 2012.89 - 95 p. Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848612000099>

10. GUTIÉRREZ, H, De la Vara, R. Análisis y Diseño de experimentos. México: Mc Graw-Hill Interamericana. 2008. 264 p.

11. IGUCHI, Kei'ichiro; OGAWA, Kogi; NAGAE, Masaki y ITO, Fuminari. The influence of rearing density on stress response and disease susceptibility of ayu (*Plecoglossus altivelis*). Elsevier, Aquaculture. 2003. 515 – 523 p. Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848602006269>

12. ISLA, Mercedes. Water quality recirculating aquaculture systems for artic charr (*Salvelinus alpinus* L.) culture. Fisheries Training Programme, The United Nations University. Ciudad de la Habana, Cuba. 2007. 54 p. Disponible en Internet: URL: <http://www.unuftp.is/static/fellows/document/mercedes07prf.pdf>

13. LAN, Wei; WONG, Ming; CHEN, Ni y SIN, Yoke. Effect of combined copper, zinc, chromium and selenium by orthogonal array design on alkaline phosphatase activity in liver of the red sea bream, *Chrysophrys major*.

- Elsevier, Aquaculture. 1995. 219 – 230 p. Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004484869400326J>
14. LEKANG, Odd-Ivar. Aquaculture Engineering. Oxford, Reino Unido: Blackwell Publishing Ltd, 2007. 340 p.
 15. LI, Xiang-fei; LIU, Wen-bin; JIANG, Yang-yang; ZHU, Hao y GE, Xian-ping. Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings. Elsevier, Aquaculture. 2010. 65 – 70 p. Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848610001869>
 16. MERINO, German; PIEDRAHITA, Raul y DOUGLAS, Conklin. The effect of fish stocking density on the growth of California halibut (*Paralichthys californicus*) juveniles. Elsevier, Aquaculture. 2007. 176 – 186 p. Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848607001020>
 17. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Anuario estadístico del sector agropecuario y pesquero 2010. Bogotá, Colombia: Yerimpresos. 262 p. Disponible en Internet: URL: <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/Anuario/anuarioEstadistico2010.pdf>
 18. MORA, José. Rendimiento de la canal en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y el híbrido *Colossoma macropomun* x *P. brachypomus*. Procesamiento primario y productos con valor agregado. *Bioagro* [online]. 2005, vol.17, n.3, pp. 161-169. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612005000300006&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1316-3361.
 19. MORILLO, Marielba; VISBAL, Tomas; RIAL, Leandra; OVALLES, Fernando; AGUIRRE, Pierre y MEDINA, Ana. Alimentación de alevines de *Colossoma macropomum* con dietas a base de *Erythrina edulis* y soya. Interciencia. 2013. 121 – 127 p. Disponible en Internet: URL: http://www.interciencia.org/v38_02/121.pdf
 20. MUNIEZA, Lino. Gerente Aquamazonía. Comunicado personal. Putumayo, 3 de Mayo de 2013.

21. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS ONU. Objetivos de desarrollo del milenio. Informe 2010. Nueva York, Estados Unidos. 80 p. Disponible en Internet: URL: http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/MDG_Report_2010_SP.pdf
22. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (2001). Aquaculture topics and activities. Acuicultura. In: *Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO* [en línea]. Roma. Actualizado 27 September 2001. Disponible en Internet: URL: <http://www.fao.org/fishery/topic/13530/es>
23. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (2010). Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: Una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo. Roma, Italia: Serie Acuicultura en Latinoamérica N° 1. 204 p. Disponible en Internet: URL: ftp://ftp.fao.org/Fi/DOCUMENT/aquaculture/aq2010_11/root/2010/i1773s.pdf
24. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (2010). Revisión Regional sobre la situación y tendencias en el desarrollo de la acuicultura en América latina y el Caribe – 2010. Fisheries and Aquaculture N° 1061. Roma, 2011. 231 p. Disponible en Internet: URL: <http://www.fao.org/docrep/014/i2142b/i2142b.pdf>
25. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). El estado mundial de la Pesca y Acuicultura 2012. Roma, Italia. FAO. 2012. 231 p. Disponible en Internet: URL: <http://www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf>
26. PLAN NACIONAL DE DESARROLLO DE LA ACUICULTURA SOSTENIBLE EN COLOMBIA FAO – INCODER. Diagnostico del Estado de la Acuicultura en Colombia. 2011. 131 p. Disponible en Internet: URL: http://www.ceniagua.org/archivos/Diagnostico_para_revision_Dic_5_2011_v1.pdf
27. POLEO, Germán; ARANBARRIO, José; MENDOZA, Lismen; ROMERO, Oneida. Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. Brasília, Brasil: Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2011. 429 – 437 p. Disponible en Internet: URL: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2011000400013

28. RODRÍGUEZ, Liliana. Efecto de la restricción alimenticia sobre el metabolismo energético y el crecimiento en juveniles de cachama *Piaractus brachypomus*. Tesis para optar al título de Magíster en Salud y Producción Animal. Línea de investigación – Fisiología de la Reproducción. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Bogotá, 2012. 82 p. Disponible en Internet: URL:<http://www.bdigital.unal.edu.co/6398/1/780170.2012.pdf>
29. TIDWELL, James. Aquaculture Production Systems. Iowa, Estados Unidos: Wiley – Blackwell. 2012. 434 p. Disponible en Internet: URL: http://www.amazon.com/Aquaculture-Production-Systems-James-Tidwell/dp/0813801265#reader_0813801265
30. TORSTEN, Wik; BJORN, Lindén y PER, Wramner. Integrated dynamic aquaculture and wastewater treatment modelling for recirculating aquaculture systems. Elsevier, Aquaculture. 2008. 361 – 370 p. Disponible en Internet: URL:www.elsevier.com/locate/aqua-online
31. TURNBULL, James; BELL, Alisdair; ADAMS, Colin; BRON, James y HUNTINGFORD, Felicity. Stocking density and welfare of cage farmed Atlantic salmon: application of a multivariate analysis. Elsevier, Aquaculture. 2005. 121 -132 p. Disponible en Internet: URL:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848604005538>
32. VÁSQUEZ, Wálter; HERNÁNDEZ, Gilma; GUTIÉRREZ, Mariana y YOSSA, Martha. Effects of dietary protein level on growth and serum parameters in cachama (*Piaractus brachypomus*). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 2012, vol. 25 n.3. 450 – 461 p. Disponible en Internet: URL: <http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/view/804/883#b0>
33. VICTORIANO, Pepe; SILVA, Alfonso; VEGA, Alonso; ARAYA, Miguel y CORNEJO, Lorena. Efecto del aumento de la temperatura, frecuencia de alimentación y ración de alimento en el crecimiento de juveniles de Turbot *Psetta máxima*. *Int. J. Morphol.*[online]. 2012, vol.30, n.3, pp. 902-907 .Disponible en Internet: URL: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-95022012000300023&script=sci_arttext
34. VISBAL, Tomas; MORILLO, Marielba; ALTUVE, Daisy; AGUIRRE. Pierre y MEDINA, Ana. Nivel óptimo de proteínas en la dieta para alevines de *Prochilodus mariae*. Revista Chilena de Nutrición – Scielo, 2013. vol.40, n.2, pp. 141-146. Disponible en Internet: URL:

http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182013000200008&script=sci_abstract

35. WICKI, Gustavo; LUCHINI, L; ROMANO, L. y HUIDOBRO, Panné. Stock densities, growth and survival for pacu (*Piaractus mesopotamicus*). World Aquaculture. 2009. p. 51 – 54. Disponible en Internet: URL:<https://www.was.org/magazine/Contents.aspx?Id=29>
36. WU, Yuin y WU, Alan. Diseño Robusto utilizando los Métodos Taguchi. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos S.A, 1997. 293 p.
37. YAN, Ling-lan; Zhang, Gen-fang; LIU, Qi-gen y LI, Jia-le. Optimization of culturing the freshwater pearl mussels, *Hyriopsis cumingii* with filter feeding Chinese carps (bighead carp and silver carp) by orthogonal array design. Elsevier, Aquaculture. 2009. 60 - 66 p. Disponible en Internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848609002713>
38. YANG, Kai y EL-HAIK, Basem. Design for Six Sigma. Madrid, España: Edición McGraw Hill, 2003. 641 p.
39. ZHOU, Wei; SUI, Zhenghong; WANG, Jinguo y CHANG Lianpeng. An orthogonal design for optimization of growth conditions for all life history stages of *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta). Elsevier, Aquaculture. 2013. 98 – 105 p. Disponible en Internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848613000616>

ANEXOS

ANEXO A. Datos de peso inicial en gramos para cada combinación de los factores de control, primer periodo.

	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4	Tanque 5	Tanque 6	Tanque 7	Tanque 8
N°	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g
1	4,4	4,3	3,8	4,2	4,4	3,9	4,0	4,3
2	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,5	4,4
3	4,4	4,5	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,4
4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6	4,4
5	4,5	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6	4,4
6	4,5	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,7	4,5
7	4,6	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,7	4,5
8	4,6	4,6	4,5	4,6	4,5	4,5	4,8	4,5
9	4,6	4,8	4,6	4,7	4,5	4,6	4,8	4,6
10	4,7	4,8	4,6	4,7	4,5	4,6	4,8	4,7
11	4,7	4,8	4,6	4,8	4,6	4,7	4,9	4,9
12	4,7	4,8	4,6	4,8	4,6	4,7	4,9	4,9
13	4,7	4,8	4,7	4,9	4,6	4,7	4,9	4,9
14	4,7	4,9	4,8	4,9	4,6	4,8	5,4	4,9
15	4,8	5,4	4,8	4,9	4,7	4,8	5,4	5,4
16	4,8	5,4	4,8	4,9	4,8	4,9	5,4	5,4
17	4,8	5,5	4,8	5,4	4,8	4,9	5,5	5,5
18	4,9	5,5	4,9	5,4	4,9	4,9	5,5	5,5
19	4,9	5,5	5,4	5,5	4,9	5,4	5,5	5,5
20	4,9	5,5	5,5	5,5	4,9	5,5	5,5	5,6
21	4,9	5,5	5,5	5,5	5,4	5,5	5,6	5,7
22	4,9	5,6	5,6	5,6	5,6	5,5	5,6	5,7
23	4,9	5,6	5,6	5,6	5,6	5,5	5,6	5,7
24	4,9	5,7	5,6	5,6	5,6	5,5	5,6	5,7
25	5,4	5,7	5,7	5,7	5,7	5,6	5,7	5,8
26	5,6	5,8	5,7	5,8	5,7	5,7	5,7	5,8
27	5,6	5,8	5,7	5,8	5,7	5,7	5,8	5,8
28	5,7	5,8	5,7	5,8	5,7	5,7	5,8	5,9
29	5,8	5,9	5,7	5,8	5,9	5,8	5,8	5,9
30	5,8	5,9	5,7	5,8	5,9	5,8	5,9	5,9
31	5,9	5,9	5,7	5,8	5,9	5,8	5,9	5,9
32	5,9	6,0	5,7	5,8	6,1	5,9	6,0	5,9

ANEXO B. Datos de peso final en gramos para cada combinación de los factores de control, primer periodo.

	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4	Tanque 5	Tanque 6	Tanque 7	Tanque 8
N°	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g
1	7,8	7,8	9,1	9,2	10,2	8,1	8,2	8,2
2	7,8	8,0	9,2	9,2	10,2	8,2	8,2	8,5
3	8,0	8,0	9,2	9,2	10,6	8,3	8,2	9,1
4	8,2	8,2	9,2	9,3	10,6	8,5	8,2	9,2
5	8,2	8,6	9,3	9,3	10,6	8,5	8,4	9,2
6	8,4	9,0	9,4	9,3	10,6	8,5	8,4	9,2
7	8,4	9,0	9,4	9,5	10,8	8,5	8,4	9,4
8	8,6	9,1	9,5	9,5	10,8	8,5	8,5	9,5
9	8,6	9,1	9,5	9,7	11,0	8,6	8,5	9,7
10	8,8	9,1	9,6	9,7	11,0	8,6	8,7	9,7
11	8,8	9,2	9,6	9,9	11,0	9,1	8,7	9,9
12	8,8	9,2	9,6	9,9	11,1	9,1	8,9	9,9
13	8,9	9,2	10,1	9,9	11,1	9,1	9,1	9,9
14	8,9	9,4	10,1	9,9	11,1	9,2	9,1	10,1
15	9,1	9,4	10,2	9,9	11,1	9,2	9,2	10,1
16	9,2	9,5	10,2	10,0	11,1	9,2	9,2	10,1
17	9,2	9,5	10,2	10,0	11,1	9,2	9,4	10,1
18	9,3	9,6	10,2	10,2	11,2	9,3	9,4	10,1
19	9,4	9,6	10,3	10,2	11,2	9,3	9,4	10,2
20	9,4	9,6	10,3	10,2	11,2	9,3	9,5	10,2
21	9,5	9,6	10,3	10,2	11,2	9,3	9,5	10,2
22	9,6	10,1	10,4	10,3	11,2	9,3	9,7	10,2
23	9,6	10,1	10,4	10,3	11,4	9,4	9,7	10,2
24	9,6	10,2	10,4	10,3	11,4	9,4	9,7	10,4
25	9,6	10,2	10,4	10,5	11,6	9,4	9,7	10,4
26	9,7	10,3	10,4	10,7	11,8	9,5	9,7	10,5
27	9,8	10,3	10,5	10,7	11,8	9,5	9,9	10,5
28	9,8	10,4	10,5	10,9	11,8	9,5	9,9	10,5
29	9,8	10,4	10,5	10,9	12,0	9,5	9,9	10,9
30	10,1	10,5	10,5	11,0	12,0	9,5	9,9	10,9
31	10,2	10,6	10,5	11,0	12,0	9,5	10,1	10,9
32	10,3	10,6	10,6	11,0	12,1	9,6	10,1	11,1

ANEXO C. Datos de peso inicial en gramos para cada combinación de los factores de control, segundo periodo.

	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4	Tanque 5	Tanque 6	Tanque 7	Tanque 8
N°	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g
1	4,4	4,9	4,2	4,7	5,1	4,1	4,6	5,1
2	4,5	5,0	4,8	4,9	5,1	4,6	5,1	5,2
3	4,6	5,1	4,8	4,9	5,2	4,7	5,2	5,2
4	4,9	5,1	4,9	5,0	5,2	4,7	5,2	5,2
5	4,9	5,2	4,9	5,0	5,2	4,7	5,2	5,2
6	5,0	5,2	4,9	5,0	5,2	4,7	5,3	5,3
7	5,0	5,2	4,9	5,0	5,2	4,7	5,3	5,3
8	5,0	5,2	4,9	5,1	5,2	4,7	5,4	5,3
9	5,0	5,4	5,0	5,2	5,2	4,8	5,4	5,4
10	5,1	5,4	5,0	5,2	5,2	4,8	5,4	5,5
11	5,1	5,4	5,0	5,3	5,3	4,9	5,5	5,7
12	5,2	5,4	5,0	5,3	5,3	4,9	5,5	5,7
13	5,2	5,4	5,1	5,4	5,3	4,9	5,5	5,7
14	5,3	5,5	5,2	5,4	5,3	5,0	6,0	5,7
15	5,3	6,0	5,2	5,4	5,4	5,0	6,0	6,2
16	5,5	6,0	5,2	5,4	5,5	5,1	6,0	6,2
17	5,5	6,1	5,2	5,9	5,5	5,1	6,1	6,3
18	5,6	6,1	5,3	5,9	5,6	5,1	6,1	6,3
19	5,7	6,1	5,8	6,0	5,6	5,6	6,1	6,3
20	5,7	6,1	5,9	6,0	5,6	5,7	6,1	6,4
21	5,7	6,1	5,9	6,0	6,1	5,7	6,2	6,5
22	5,7	6,2	6,0	6,1	6,3	5,7	6,2	6,5
23	5,8	6,2	6,0	6,1	6,3	5,7	6,2	6,5
24	5,9	6,3	6,0	6,1	6,3	5,7	6,2	6,5
25	5,9	6,3	6,1	6,2	6,4	5,8	6,3	6,6
26	5,9	6,4	6,1	6,3	6,4	5,9	6,3	6,6
27	5,9	6,4	6,1	6,3	6,4	5,9	6,4	6,6
28	5,9	6,4	6,1	6,3	6,4	5,9	6,4	6,7
29	6,0	6,5	6,1	6,3	6,6	6,0	6,4	6,7
30	6,4	6,5	6,1	6,3	6,6	6,0	6,5	6,7
31	6,6	6,5	6,1	6,3	6,6	6,0	6,5	6,7
32	6,6	6,6	6,1	6,3	6,8	6,1	6,6	6,7

ANEXO D. Datos de peso final en gramos para cada combinación de los factores de control, segundo periodo.

	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4	Tanque 5	Tanque 6	Tanque 7	Tanque 8
N°	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g
1	7,1	7,2	8,2	8,2	9,2	7,4	7,7	8,2
2	7,4	7,3	8,4	8,2	9,5	7,7	7,7	8,5
3	7,5	7,6	8,5	8,7	9,9	7,8	7,8	9,1
4	7,6	8,1	8,6	8,8	10,0	7,8	7,9	9,2
5	7,8	8,3	8,6	8,8	10,1	8,0	7,9	9,2
6	7,8	8,3	8,8	8,9	10,1	8,2	8,0	9,2
7	7,9	8,4	8,8	9,0	10,2	8,2	8,0	9,4
8	7,9	8,5	8,9	9,0	10,3	8,3	8,1	9,5
9	7,9	8,6	9,1	9,1	10,3	8,3	8,1	9,7
10	8,1	8,7	9,1	9,2	10,4	8,4	8,2	9,7
11	8,2	8,7	9,2	9,2	10,4	8,4	8,3	9,9
12	8,2	8,7	9,2	9,3	10,4	8,4	8,5	9,9
13	8,3	8,8	9,2	9,3	10,5	8,5	8,8	9,9
14	8,3	8,9	9,5	9,3	10,6	8,5	8,9	10,1
15	8,4	9,0	9,5	9,4	10,6	8,6	8,9	10,1
16	8,5	9,1	9,6	9,4	10,6	8,6	8,9	10,1
17	8,7	9,1	9,6	9,4	10,7	8,6	8,9	10,1
18	8,8	9,2	9,6	9,6	10,8	8,7	8,9	10,1
19	8,9	9,2	9,7	9,6	10,9	8,7	9,0	10,2
20	8,9	9,3	9,7	9,7	11,0	8,7	9,0	10,2
21	8,9	9,3	9,7	9,9	11,0	8,8	9,0	10,2
22	8,9	9,3	9,7	9,9	11,0	8,8	9,0	10,2
23	8,9	9,4	9,7	10,0	11,1	8,8	9,1	10,2
24	9,0	9,6	9,8	10,0	11,1	8,9	9,1	10,4
25	9,1	9,6	9,9	10,1	11,1	8,9	9,1	10,4
26	9,2	9,6	10,0	10,1	11,2	8,9	9,2	10,5
27	9,2	9,6	10,1	10,2	11,3	9,1	9,3	10,5
28	9,4	9,8	10,1	10,2	11,3	9,1	9,3	10,5
29	9,4	10,0	10,3	10,3	11,3	9,1	9,3	10,9
30	9,5	10,0	10,3	10,3	11,4	9,2	9,4	10,9
31	9,6	10,1	10,4	10,3	11,4	9,4	9,4	10,9
32	9,4	10,2	10,5	10,8	11,6	9,5	10,0	11,1

ANEXO E. Datos de peso inicial en gramos para cada combinación de los factores de control, periodo comprobación.

	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4	Tanque 5	Tanque 6	Tanque 7	Tanque 8
N°	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g	P.l g
1	2,5	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4	2,3	2,3
2	2,6	2,5	2,7	2,5	2,5	2,5	2,7	2,4
3	2,7	2,5	2,7	2,5	2,5	2,6	2,8	2,4
4	2,7	2,6	2,8	2,5	2,7	2,6	2,8	2,5
5	2,8	2,7	2,8	2,9	2,8	2,6	3,1	2,5
6	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	2,8	3,1	2,9
7	3,1	3,0	3,0	3,3	2,9	3,0	3,3	3,0
8	3,2	3,1	3,1	3,3	3,0	3,1	3,4	3,1
9	3,2	3,3	3,2	3,4	3,0	3,2	3,4	3,3
10	3,3	3,4	3,2	3,5	3,1	3,2	3,5	3,4
11	3,3	3,5	3,2	3,5	3,2	3,3	3,7	3,4
12	3,4	3,6	3,5	3,5	3,4	3,3	4,0	3,4
13	3,6	3,6	3,5	3,8	3,4	3,3	4,0	3,5
14	3,6	3,7	3,6	3,9	3,5	3,4	4,0	3,5
15	3,7	3,7	3,6	3,9	3,7	3,4	4,0	3,7
16	3,9	3,7	3,9	3,9	3,8	3,4	4,0	3,8
17	3,9	3,8	3,9	4,0	3,9	3,6	4,1	3,9
18	4,1	3,8	4,2	4,0	3,9	3,8	4,1	4,0
19	4,1	3,9	4,2	4,2	4,0	3,8	4,1	4,1
20	4,2	4,0	4,4	4,3	4,1	4,1	4,2	4,2

ANEXO F. Datos de peso final en gramos para cada combinación de los factores de control, periodo de comprobación.

	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4	Tanque 5	Tanque 6	Tanque 7	Tanque 8
N°	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g	P.F g
1	5,9	5,9	5,8	6,1	6,0	5,6	5,3	5,3
2	5,9	6,0	6,1	6,3	6,4	5,7	5,5	5,5
3	6,0	6,3	6,1	6,3	6,8	5,7	5,7	5,6
4	6,0	6,8	6,2	7,1	6,8	5,8	5,8	5,7
5	6,1	7,1	7,0	7,2	7,0	5,9	5,8	5,9
6	6,6	7,1	7,0	7,3	7,0	6,2	5,9	6,3
7	6,6	7,3	7,0	7,3	7,4	6,3	6,0	6,4
8	6,7	7,5	7,1	7,3	7,5	6,4	6,2	6,8
9	6,7	7,5	7,2	7,5	7,6	6,4	6,3	6,8
10	6,8	7,6	7,4	7,7	7,7	6,5	6,4	7,0
11	6,8	7,9	7,8	7,8	7,7	6,6	6,5	7,1
12	6,8	7,9	8,0	7,9	7,7	6,9	6,6	7,6
13	6,8	8,4	8,1	8,2	7,8	7,0	6,6	7,6
14	6,9	8,6	8,2	8,5	8,1	7,1	6,7	8,0
15	6,9	8,7	8,2	8,6	8,2	7,3	7,2	8,6
16	7,0	9,0	8,5	8,8	8,4	7,6	7,5	8,9
17	7,1	9,1	8,6	8,9	8,6	7,8	7,6	9,2
18	7,1	9,2	8,7	9,5	9,5	8,1	7,9	9,3
19	7,2	9,6	9,1	9,8	9,6	6,5	8,3	9,4
20	7,5	9,9	11,0	10,3	9,6	7,0	9,2	9,7

ANEXO G. Registro y Análisis de Varianza para Temperatura 1º Periodo

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)
24,95	24,31	24,9	24,11	24,36	24,19	24,58	24,68
24,33	24,61	24,51	24,22	24,76	24,82	24,14	24,61
24,38	24,95	24,5	24,62	24,7	24,83	24,39	24,93
24,32	24,69	24,7	24,86	24,26	24,19	24,7	24,79
24,71	24,69	24,54	24,94	24,76	24,9	24,83	24,15
24,77	24,82	24,31	24,79	24,76	24,74	24,72	24,83
24,48	24,16	24,95	24,15	24,58	24,85	24,58	24,57
24,8	24,7	24,71	24,27	24,25	24,91	24,19	24,4
24,13	24,34	24,41	24,57	24,64	24,49	24,13	24,44
24,39	24,17	24,31	24,53	24,23	24,6	24,46	24,47
24,23	24,88	24,22	24,45	24,27	24,92	24,13	24,88
24,77	24,72	24,32	24,15	24,66	24,34	24,41	24,57
24,91	24,55	24,23	24,58	24,95	24,24	24,16	24,87
24,79	24,97	24,15	24,19	24,46	24,75	24,34	24,92
24,26	24,34	24,54	24,7	24,7	24,73	24,84	24,44

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,56913	7	0,0813043	1,22	0,2999
Intra grupos	7,48931	112	0,0668688		
Total (Corr.)	8,05844	119			

ANEXO H. Registro y Análisis de Varianza para Oxígeno 1º Periodo

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)
8,12	7,82	8,09	7,80	8,04	8,27	7,54	7,92
8,17	7,50	8,27	7,58	8,16	8,06	8,26	7,59
7,81	7,72	7,92	8,06	7,97	7,66	7,50	8,24
7,50	7,85	7,50	7,46	7,83	8,00	8,20	7,47
7,70	8,21	8,09	7,52	7,94	7,75	7,50	8,03
7,72	7,74	8,23	8,19	8,31	8,30	8,11	7,83
7,85	7,50	7,85	8,06	7,54	7,71	7,58	7,71
7,64	7,64	8,17	7,86	7,49	7,54	7,93	8,11
7,56	8,19	8,15	8,01	7,95	7,93	7,75	7,76
7,99	7,70	7,94	7,53	7,59	7,65	7,87	7,81
8,12	7,49	7,71	8,21	7,73	8,06	7,50	7,42
7,95	8,27	8,30	8,09	7,87	7,99	8,02	7,75
8,00	7,41	7,58	8,23	7,87	7,97	7,92	7,81
7,45	7,47	8,03	7,99	7,92	8,30	8,20	7,62
8,06	8,06	8,23	7,61	7,70	7,83	7,63	7,75

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,608666	7	0,0869523	1,34	0,2385
Intra grupos	7,27169	112	0,0649258		
Total (Corr.)	7,88036	119			

ANEXO I. Registro y Análisis de Varianza para pH 1º Periodo

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH
5,84	6,57	6,24	6,59	6,09	6,26	5,91	5,75
5,84	6,13	6,12	6,15	6,2	5,96	5,76	6,1
5,88	6,08	6,38	5,96	6,11	5,89	6,23	5,74
6,44	6,33	6,52	5,78	6,48	6,02	5,7	5,81
6,34	6,47	6,15	6,18	6,51	5,81	6,25	6,09
6,48	5,91	6,06	6,35	6,13	5,86	6,35	6,43
6,09	5,77	6,51	5,94	6,57	6,41	5,74	6,12
6,15	6,37	6,33	6	6,58	6,56	5,9	5,8
6,6	5,73	6,09	6,2	6,22	5,99	6,05	6,05
6,47	6,47	6,38	6,18	5,99	5,96	6,16	6,18
6,57	5,98	6,3	6,12	6,53	6,06	5,88	6,1
6,08	6,28	6,4	6,11	5,75	5,89	6,11	6,45
6,59	6,21	6,26	5,93	6,5	6,51	6,33	6,11
6,22	6,22	6,3	5,83	6,21	6,41	5,83	6,48
6,05	6,14	6,3	6,6	6,57	6,11	6,6	6,44

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,859866	7	0,122838	2,03	0,0571
Intra grupos	6,77115	112	0,0604567		
Total (Corr.)	7,63101	119			

ANEXO J. Registro y Análisis de Varianza para Nitritos 1º Periodo

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)
0,22	0,48	1,02	0,65	0,29	0,98	0,2	0,24
0,47	0,35	0,84	0,43	0,97	0,96	0,83	0,18
0,28	0,15	0,27	0,83	0,93	0,68	0,16	0,6

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,01526	7	0,145038	1,92	0,1328
Intra grupos	1,20933	16	0,0755833		
Total (Corr.)	2,2246	23			

ANEXO K. Registro y Análisis de Varianza para Temperatura 2º Periodo

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)
23,9	24,33	24,44	24,51	23,98	24,11	24,12	24,26
24,41	24,34	24,57	24,5	24,06	24,26	24,23	23,97
24,16	24,26	24,26	24,5	24,27	24,07	23,98	24,3
23,75	24,14	24,35	23,7	23,83	24,13	23,95	23,98
23,73	24,49	23,89	24,58	24,05	24,6	23,82	24,34
24,47	24,04	24,5	24,6	24,55	24,41	24,21	24,57
23,81	24,18	24,11	24,15	23,84	23,89	23,74	23,78
24,57	23,83	24,19	24,6	24,12	24,12	24,01	24,58
24,54	23,78	23,74	24,14	24,44	23,93	24,26	24,28
23,93	24,24	23,76	24,32	24,06	24,43	23,96	24,49
24,41	24,25	24,05	23,94	24,58	23,75	24,25	24,44
23,88	24,17	24,21	23,97	23,93	24,22	23,79	24,34
23,98	24,43	23,82	24,09	23,92	23,73	24,23	24,1
23,79	24,26	24,51	24,5	24,12	23,77	23,93	23,93
24,46	24,28	23,88	23,85	24,17	23,79	23,84	23,87

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,637427	7	0,091061	1,33	0,2422
Intra grupos	7,66172	112	0,0684082		
Total (Corr.)	8,29915	119			

ANEXO L. Registro y Análisis de Varianza para Oxígeno 2º Periodo

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)
8,20	8,12	8,08	8,17	8,11	8,18	8,10	8,10
8,19	8,17	8,09	8,09	8,08	8,14	8,14	8,16
8,08	8,19	8,23	8,10	8,18	8,11	8,19	8,23
8,17	8,11	8,11	8,22	8,20	8,12	8,23	8,22
8,21	8,23	8,12	8,09	8,18	8,17	8,14	8,12
8,13	8,13	8,17	8,14	8,21	8,11	8,23	8,10
8,13	8,20	8,19	8,10	8,18	8,21	8,11	8,15
8,15	8,20	8,21	8,12	8,12	8,09	8,14	8,17
8,16	8,18	8,13	8,16	8,11	8,19	8,17	8,14
8,09	8,14	8,22	8,14	8,11	8,17	8,18	8,11
8,13	8,19	8,10	8,12	8,15	8,20	8,08	8,11
8,08	8,14	8,18	8,22	8,19	8,10	8,10	8,23
8,22	8,09	8,19	8,22	8,10	8,10	8,08	8,16
8,16	8,18	8,18	8,16	8,13	8,16	8,21	8,22
8,16	8,18	8,09	8,19	8,23	8,21	8,12	8,14

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00264	7	0,000377143	0,17	0,9901
Intra grupos	0,24308	112	0,00217036		
Total (Corr.)	0,24572	119			

ANEXO M. Registro y Análisis de Varianza para pH 2º Periodo

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH
7,07	7,15	7,19	7,08	7,12	7,08	7,11	7,14
7,16	7,16	7,09	7,05	7,1	7,09	7,06	7,08
7,14	7,13	7,06	7,08	7,17	7,07	7,15	7,14
7,13	7,18	7,05	7,17	7,14	7,19	7,11	7,14
7,16	7,06	7,05	7,09	7,14	7,1	7,17	7,19
7,2	7,14	7,12	7,13	7,16	7,05	7,06	7,19
7,12	7,06	7,07	7,1	7,1	7,14	7,14	7,17
7,19	7,14	7,17	7,19	7,08	7,13	7,1	7,08
7,08	7,1	7,2	7,19	7,08	7,14	7,16	7,08
7,1	7,17	7,07	7,09	7,07	7,18	7,18	7,2
7,09	7,12	7,08	7,05	7,16	7,13	7,06	7,14
7,08	7,19	7,09	7,16	7,19	7,15	7,11	7,2
7,07	7,06	7,2	7,08	7,2	7,09	7,05	7,06
7,07	7,08	7,13	7,13	7,07	7,08	7,2	7,2
7,19	7,16	7,12	7,09	7,12	7,17	7,1	7,14

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0106933	7	0,00152762	0,69	0,6842
Intra grupos	0,249653	112	0,00222905		
Total (Corr.)	0,260347	119			

ANEXO N. Registro y Análisis de Varianza para Nitritos 2º Periodo

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitritos (mg/L)
1,2	1,11	1,09	1,15	1,19	1,13	1,2	1,2
1,12	1,13	1,1	1,16	1,16	1,21	1,1	1,09
1,14	1,13	1,13	1,16	1,17	1,15	1,13	1,13

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00335556	2	0,00167778	2,19	0,1933
Intra grupos	0,0046	6	0,000766667		
Total (Corr.)	0,00795556	8			

ANEXO O. Registro y Análisis de Varianza para Temperatura Periodo de Comprobación

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)
24,8	24,7	24,8	24,8	24,8	24,9	24,8	24,7
24,5	24,2	24,4	24,4	24,1	24,2	24,7	24,2
24,3	24,1	24,3	24,2	24,2	24,3	24,3	24,1
24,4	24,3	24,4	24,3	24,2	24,2	24,1	24,2
24,3	24,31	24,4	24,2	24,22	24,3	24,1	24,2
24,31	24,4	24,4	24,3	24,3	24,3	24,2	24,3
24,2	24,3	24,3	24,2	24,2	24,1	24,2	24,3
24,25	24,3	24,3	24,2	24,8	24	24,1	24,3
24,3	24,2	24,3	24,3	24,1	24,2	24,1	24,2
24,3	24,2	24,4	24,2	24,1	24,2	24,1	24,2

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,161709	7	0,0231012	0,54	0,7983
Intra grupos	3,05749	72	0,0424651		
Total (Corr.)	3,2192	79			

ANEXO P. Registro y Análisis de Varianza para Oxígeno Periodo de Comprobación

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (mg/L)
8	7,93	7,96	7,94	7,96	7,91	7,92	7,97
7,89	8,02	7,94	8,02	7,94	7,9	7,92	7,89
7,9	7,87	7,88	7,87	7,94	7,93	7,91	7,88
7,94	7,87	8,01	7,95	7,87	7,91	7,94	8,01
7,96	7,87	7,94	7,94	7,87	7,98	7,98	7,94
7,89	7,99	7,9	7,97	8,02	7,91	7,94	7,95
7,99	7,96	7,91	7,93	7,95	7,95	7,89	7,95
8,02	8,02	7,93	7,91	8,02	7,9	7,91	7,87
8,01	7,99	7,91	7,98	7,9	7,99	7,87	7,9
7,9	7,92	7,94	7,96	7,95	7,93	7,99	7,99
7,9	7,87	8	8	7,96	7,99	7,89	7,94
7,94	8	8	7,98	8,02	8	7,87	7,94
7,93	7,87	7,91	7,93	7,98	7,99	7,88	7,87
7,88	7,97	7,9	7,91	7,99	8,01	7,99	7,91
8,02	7,92	7,92	7,88	7,99	7,88	7,98	7,98

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0098058	7	0,0014008	0,64	0,7256
Intra grupos	0,246853	112	0,0022041		
Total (Corr.)	0,256659	119			

ANEXO Q. Registro y Análisis de Varianza para pH Periodo de Comprobación

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH
7,05	7,01	7,05	7,02	6,79	6,82	6,8	7,08
6,97	6,93	6,88	6,75	7,11	6,93	6,92	6,78
6,84	6,83	6,91	6,91	6,85	7,09	6,78	7,14
6,95	7,11	7,03	7,13	7,06	6,82	7,06	7,01
6,74	6,95	6,98	7,02	6,95	6,8	6,91	6,93
6,9	7,1	7,1	7,01	7,06	7,13	6,93	7,02
6,95	6,88	6,9	6,95	6,94	6,78	6,91	6,83
7,14	6,93	6,99	6,8	6,9	6,94	6,97	6,78
7,01	6,75	6,93	6,81	7,07	7,04	6,89	7,01
6,74	7,07	6,92	6,9	6,76	7,12	7,06	6,91
6,96	7,05	6,9	7,11	7,06	6,77	6,89	6,75
6,76	7,06	7,1	6,74	6,93	6,8	6,88	7,05
7,12	7,12	7,14	6,85	6,91	7,08	6,78	7,12
6,82	6,74	6,9	6,99	7,13	6,95	6,85	6,8
6,99	6,85	6,97	6,81	7,06	6,8	6,94	7,02

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0750658	7	0,0107237	0,76	0,6207
Intra grupos	1,57743	112	0,0140842		
Total (Corr.)	1,65249	119			

ANEXO R. Registro y Análisis de Varianza para Nitritos Periodo de Comprobación

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Nitritos	Nitritos	Nitritos	Nitritos	Nitritos	Nitritos	Nitritos	Nitritos
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
0,67	0,72	0,63	0,61	0,64	0,57	0,72	0,64
0,67	0,57	0,63	0,72	0,62	0,57	0,57	0,57
0,7	0,6	0,62	0,72	0,58	0,65	0,57	0,65

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0204958	7	0,002928	1,01	0,4587
Intra grupos	0,0462667	16	0,0028917		
Total (Corr.)	0,0667625	23			

ANEXO S. Análisis de varianza para la variable incremento de peso (IP)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
A	1	0,01502	0,015022	0,015022	0,06
B	1	0,00125	0,00125	0,00125	0
C	1	0,09102	0,091022	0,091022	0,35
D	1	0,88445	0,88445	0,88445	3,37
A*D	1	0,98	0,98	0,98	3,74
Residual	Error	2	0,52425	0,52425	0,262125
Total	7	2,49599			

ANEXO T. Análisis de varianza para la variable conversión alimenticia (CA)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
A	1	0,030422	0,030422	0,030422	0,71
B	1	0,476939	0,476939	0,476939	11,1
C	1	0,0018	0,0018	0,0018	0,04
D	1	0,073472	0,073472	0,073472	1,71
A*D	1	0,116806	0,116806	0,116806	2,72
Residual	Error	2	0,085961	0,085961	0,042981
Total	7	0,7854			

ANEXO U. Análisis de varianza para la variable porcentaje de sobrevivencia (%S)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
A	1	24,746	24,746	24,7456	39,37
B	1	2,344	2,344	2,3436	3,73
C	1	1,015	1,015	1,0153	1,62
D	1	5,561	5,561	5,5611	8,85
A*D	1	5,55	5,55	5,55	8,83
Residual	Error	2	1,257	1,257	0,6285
Total	7	40,473			

ANEXO V. Análisis de varianza entre periodos y prueba de Tukey para Temperatura

Significancia al 95%

Fuente	suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,647008	2	0,323504	70,78	0
Intra grupos	0,0959875	21	0,00457083		
Total (Corr.)	0,742996	23			

Confianza al 95%

Periodos	Casos	Media	Grupos Homogenios
P2	8	24,1475	X
PC	8	24,3113	X
P1	8	24,5475	X

ANEXO W. Análisis de varianza entre periodos y prueba de Tukey para Oxígeno disuelto

Significancia al 95%

Fuente	suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,359808	2	0,179904	94,48	0
Intra grupos	0,0399875	21	0,00190417		
Total (Corr.)	0,399796	23			

Confianza al 95%

Periodos	Casos	Media	Grupos Homogenios
P1	8	7,8625	X
P2	8	7,94125	X
P3	8	8,1525	X

ANEXO X. Análisis de varianza entre periodos y prueba de Tukey para pH

Significancia al 95%

Fuente	suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4,03591	2	2,01795	647,72	0
Intra grupos	0,065425	21	0,00311548		
Total (Corr.)	4,10133	23			

Confianza al 95%

Periodos	Casos	Media	Grupos Homogenios
P1	8	6,17625	X
P2	8	6,94125	X
P3	8	7,1225	X

ANEXO Y. Análisis de varianza entre periodos y prueba de Tukey para Nitritos

Significancia al 95%

Fuente	suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,67981	2	0,839904	51,08	0
Intra grupos	0,345325	21	0,016444		
Total (Corr.)	2,02513	23			

Confianza al 95%

Periodos	Casos	Media	Grupos Homogenios
P1	8	0,5425	X
P3	8	0,63375	X
P2	8	1,14375	X