

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas



**“MODELO BIOECONÓMICO PARA LA DETERMINACIÓN
ÓPTIMA DE COSECHA PARA LA INDUSTRIA ACUÍCOLA
CAMARONERA”**

TESIS DE POSTGRADO

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN CIENCIAS ECONÓMICAS

Presentada por:

JOFFRE EDISON CEDEÑO TEJADA

Guayaquil – Ecuador

Año: 2018

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado con mucho cariño a mis padres, Joofre Cedeño y Ketty Tejada, quienes me han dado su apoyo y amor durante toda mi vida.

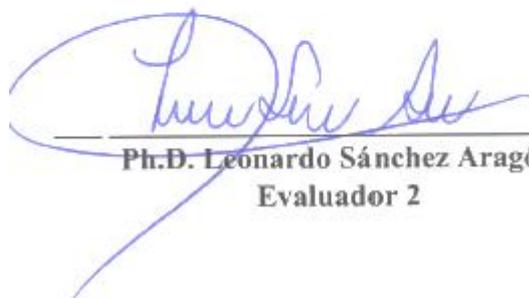
TRIBUNAL DE TITULACIÓN



Ph.D. Santiago Bucaram
Tutor del Proyecto



Ph.D. Liliana Alencastro
Evaluador 1



Ph.D. Leonardo Sánchez Aragón
Evaluador 2

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Trabajo de Titulación, corresponde exclusivamente al autor, y al patrimonio intelectual de la misma
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”



Joffre Edison Cedeño Tejada

ÍNDICE GENERAL

Contenido

TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iii
DECLARACIÓN EXPRESA.....	iv
ÍNDICE GENERAL	v
RESUMEN	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS	xi
<i>CAPÍTULO I.....</i>	<i>12</i>
<i>1. INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>12</i>
<i>1.1 La Acuicultura en el Ecuador.....</i>	<i>12</i>
1.1.1 Antecedentes.....	12
1.1.2 Prácticas acuícolas en Ecuador.....	13
1.1.3 Panorama del Sector Acuícola.....	14
<i>1.2 Ciclo Productivo</i>	<i>17</i>
<i>1.3 Características del Mercado del Camarón.....</i>	<i>17</i>
<i>1.4 Objetivos</i>	<i>19</i>
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos	19
<i>1.5 Justificación</i>	<i>19</i>
<i>1.6 Importancia</i>	<i>20</i>
<i>CAPÍTULO II</i>	<i>21</i>
<i>2. MARCO TEÓRICO.....</i>	<i>21</i>
<i>2.1 Revisión de Literatura</i>	<i>21</i>
2.1.1 Antecedentes.....	21
<i>CAPÍTULO 3.....</i>	<i>26</i>
<i>3. METODOLOGÍA y DATOS</i>	<i>26</i>
<i>3.1 Modelos de Redes Operacionales.....</i>	<i>26</i>

3.1.1	Importancia.....	26
3.1.2	Ventajas	27
3.2	<i>Diseño de una Red Operacional.....</i>	28
3.2.1	Tiempo de Planeación	28
3.2.2	Planeación de un ciclo productivo.....	28
3.2.3	Planeación Productiva Multi-cíclico	28
3.2.4	Estructura de redes para una piscina representativa	29
3.3	<i>Formulación Matemática.....</i>	30
3.3.1	Función de Ganancia de Peso del Camarón	30
3.3.2	Función de Supervivencia	31
3.3.3	Biomasa	32
3.3.4	Distribución por tipo y calidad del producto	32
3.3.5	Precios	33
3.3.6	Descuentos.....	33
3.3.7	Libras Procesadas	33
3.3.8	Función de Ingresos.....	34
3.3.9	Restricciones para Ciclos Productivos	35
3.3.10	El Problema de Planeación Óptimo.....	36
3.4	<i>Representación de Redes Operacionales.....</i>	37
3.4.1	Representación en forma de árbol de decisión	37
3.4.2	Supuestos	38
3.4.3	Diagrama de Flujo del Proceso del Producto Cola.....	40
3.4.4	Diagrama de Flujo del Proceso del Producto Entero.....	41
3.4.5	Modelo de Programación Lineal	42
3.5	<i>Datos.....</i>	43
3.5.1	Ganancia de Peso.....	43
3.5.2	Supervivencia	43
3.5.3	Precios	44
3.5.4	Descuentos.....	44
3.5.5	Caracterización de las Piscinas Productivas	44
3.6	<i>Técnicas de Análisis de Datos</i>	47
CAPÍTULO 4.....		48

4. PROCEDIMIENTO	48
4.1 Determinación de la Talla y el Tipo de Producto a Cosechar	48
4.2 Estimación Variables Relevantes	49
4.2.1 Peso.....	49
4.2.2 Sobrevivencia	51
4.2.3 Precios	52
4.3 Determinación de las Fechas Tentativas de Cosecha	53
4.4 Ciclos Productivos	54
4.5 Maximización de Ingresos – Planeación Óptima	55
CAPÍTULO 5	57
5. RESULTADOS	57
5.1 Función Ganancia de Peso	57
5.1.1 Ganancia de Peso - Piscina 4.....	57
5.1.2 Ganancia de Peso - Piscina 30.....	58
5.2 Función de Supervivencia	59
5.3 Precios	60
5.4 Fechas Tentativas de Cosecha	66
5.5 Esquema de Planeación Óptima – Redes Operacionales	69
5.5.1 Planeación Óptima Piscina Productiva 4.....	71
5.5.2 Planeación Óptima Piscina Productiva 30.....	80
5.6 Esquema Alternativo de Planeación - Maximización de la Biomasa	91
5.7 Análisis	93
CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES	98
REFERENCIAS	99
ANEXOS	101

RESUMEN

La industria acuícola camaronera es el principal producto de exportación no petrolero que genera divisas siendo una fuente importante de riqueza y empleo para el Ecuador. Sin embargo, la planificación de mecanismos de decisión de siembra y cosecha del camarón se produce de manera empírica lo que conlleva a una ineficiente forma de obtener resultados para las compañías camaroneras ecuatorianas. En esta investigación se emplea la metodología de Redes Operacionales propuesta por Run Yu y P. Leung (2005) a la cual se le realiza pequeños cambios a su estructura para adaptarla al mercado camaronero ecuatoriano y así determinar la planificación de momentos de siembra y cosecha con el fin de maximizar los ingresos de las granjas productivas.

Se toma en consideración variables como el crecimiento del camarón, la sobrevivencia, la biomasa cosechada, las libras procesadas y los precios locales para los diferentes tipos de producto, talla, y calidad. La información del presente estudio se obtuvo de una compañía camaronera ubicada en la Isla Puna de un total de dos estanques productivos durante el ejercicio del año 2016.

Se propone un modelo de ingresos el cual podrá determinar el esquema óptimo de planeación y el número de cosechas máximas para cada estanque productivo a lo largo del periodo de planeación, considerando diferentes escenarios de decisión de los administradores como el tipo de producto a cosechar, la talla objetivo y la posibilidad de dar o no mantenimiento al suelo lo que puede limitar el número de ciclos factibles dentro de un año y a su vez afectar el monto máximo de ingresos a generar.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Exportaciones Productos No Tradicionales	14
Gráfico 2– Porcentaje Respecto al Total de Ingresos No Petroleros 2007-2016	15
Gráfico 3- Producción y Exportación de Camarón (Toneladas) 1994-2016	15
Gráfico 4 - Destino de las Exportaciones de Camarón 2016.....	16
Gráfico 5 - Ciclo Productivo del Camarón.....	17
Gráfico 6 - Estructura de redes para una piscina.....	29
Gráfico 7- Representación de la estructura de redes en forma de árbol	38
Gráfico 8- Evaluación de los Ingresos mediante el uso de tablas de información	42
Gráfico 9- Organización de la información por ciclo productivo	50
Gráfico 10 - Estandarización de la semana de cosecha	50
Gráfico 11- Cálculo del Promedio Entre Ciclos.....	51
Gráfico 12 - Clasificación de Tallas Producto Cola según el Peso	53
Gráfico 13 - Peso Promedio Real vs Peso Estimado Von Bertalanffy - Piscina 4.....	58
Gráfico 14 – Peso Promedio Real vs Peso Estimado Von Bertalanffy Piscina 30	59
Gráfico 15 - Serie de Precios Entero Talla 40_50	63
Gráfico 16 - Serie de Precios Entero Talla 50_60	63
Gráfico 17 - Serie de Precios Entero Talla 60_70	64
Gráfico 18 - Serie de Precios Cola Talla 31_35	64
Gráfico 19 - Serie de Precios Cola Talla 36_40	65
Gráfico 20 - Serie de Precios Cola Talla 41_50	65
Gráfico 21 Piscina 4 – Talla 60_70 – Sin Mantenimiento	71
Gráfico 22 Piscina 4 – Talla 60_70 – Una Semana de Mantenimiento	72
Gráfico 23 Piscina 4 – Talla 50_60 – Sin Mantenimiento	72
Gráfico 24 Piscina 4 – Talla 50_60 – Una Semana de Mantenimiento	73
Gráfico 25 Piscina 4 – Talla 40_50 – Sin Mantenimiento	74
Gráfico 26 Piscina 4 – Talla 40_50 – Una Semana de Mantenimiento	74
Gráfico 27 Piscina 4 – Talla 41_50 – Sin Mantenimiento	75
Gráfico 28 Piscina 4 – Talla 41_50 – Una Semana de Mantenimiento	76
Gráfico 29 Piscina 4 – Talla 36_40 – Sin Mantenimiento	76

Gráfico 30 Piscina 4 – Talla 36_40 – Una Semana de Mantenimiento	77
Gráfico 31 Piscina 4 – Talla 31_35 – Sin Mantenimiento	78
Gráfico 32 Piscina 4 – Talla 31_35 – Una Semana de Mantenimiento	78
Gráfico 33 Piscina 30 – Talla 60_70 – Sin Mantenimiento	80
Gráfico 34 Piscina 30 – Talla 60_70 – Una Semana de Mantenimiento	81
Gráfico 35 Piscina 30 – Talla 50_60 – Sin Mantenimiento	82
Gráfico 36 Piscina 30 – Talla 50_60 – Una Semana de Mantenimiento	82
Gráfico 37 Piscina 30 – Talla 40_50 – Sin Mantenimiento	83
Gráfico 38 Piscina 30 – Talla 40_50 – Una Semana de Mantenimiento	84
Gráfico 39 Piscina 30 – Talla 41_50 – Sin Mantenimiento	84
Gráfico 40 Piscina 30 – Talla 41_50 – Una Semana de Mantenimiento	85
Gráfico 41 Piscina 30 – Talla 36_40 – Sin Mantenimiento	86
Gráfico 42 Piscina 30 – Talla 36_40 – Una Semana de Mantenimiento	86
Gráfico 43 Piscina 30 – Talla 31_35 – Sin Mantenimiento	87
Gráfico 44 Piscina 30 – Talla 31_35 – Una Semana de Mantenimiento	88

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 - Talla para Conversión de Camarón en Cola	18
Cuadro 2 - Talla para Conversión de Camarón en Entero	18
Cuadro 3 - Descripción de las Piscinas Productivas.....	45
Cuadro 4 - Distribución de Clases Piscina 4	46
Cuadro 5- Distribución de Clases Piscina 30	46
Cuadro 6 - Parámetros de Ganancia de Peso para Piscina 4	57
Cuadro 7- Parámetros de Ganancia de Peso para Piscina 30	58
Cuadro 8 - Parámetros de Supervivencia por Estanque.....	60
Cuadro 9 - Resultados de la Regresión Precios Locales Cola.....	61
Cuadro 10 - Resultados de la Regresión Precios Locales Entero.....	62
Cuadro 11 - Clasificación Tallas Entero y Cola para el Estanque 4.....	66
Cuadro 12 - Semanas Tentativas de Cosecha para el Estanque 4.....	67
Cuadro 13 - Clasificación Tallas Entero y Cola para el Estanque 30.....	68
Cuadro 14 - Semanas Tentativas de Cosecha para el Estanque 30.....	69
Cuadro 15 – Resumen Fechas Óptimas – Piscina 4.....	79
Cuadro 16 – Resumen Ingresos Máximos - Redes Operacionales – Piscina 4.....	80
Cuadro 17 – Resumen – Fechas Óptimas – Piscina 30.....	88
Cuadro 18 – Resumen – Ingresos Máximos – Redes Operacionales – Piscina 30	89
Cuadro 19 – Resumen – Ingresos Máximos – Redes Operacionales – Ambas Piscinas.	90
Cuadro 20 - Ingresos Máximos por Estanque – Maximización Biomasa.....	92
Cuadro 21 - Ingresos Máximos Ambos Estanques – Maximización Biomasa	92

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 La Acuicultura en el Ecuador

1.1.1 Antecedentes

El cultivo del camarón tiene sus orígenes en la Costa Sur del país, ya que las condiciones naturales que se presentan son las idóneas para el desarrollo de esta industria.

La especie de camarón mayormente cultivada en el país es el *Litopenaeus Vannamei* que representa aproximadamente el 95% del total producido; aunque también se cultiva *L. stylirostris* y en menor escala *L. Occidentalis* y *L. Californiensis* (Marriot, 2003)

Esta actividad surge a finales de los años 60, específicamente en el año 1968, en Santa Rosa, provincia de El Oro, cuando un grupo de personas visionarias notaron que durante altamar, el agua de los esteros ingresaba de forma fluida debido a la corriente llevando consigo semillas de camarón que luego quedaban atrapadas en lagunas una vez que la marea retrocedía (Rúales Carpio, 2012) y (Chávez, 2000). Así de esta forma, pequeños y grandes inversionistas dedicados a la agricultura optaron por este negocio como una oportunidad para generar riqueza. (FAO).

Posteriormente la industria camaronera comenzó su expansión y para comienzos de la década de los 70 ya se había extendido hacia la provincia de Guayas y luego hacia Manabí y Esmeraldas, logrando que la actividad se vuelva rentable (FAO) y (Vera, 2009).

El total de hectáreas dedicadas a la producción de camarón se expandió hasta mediados de la década de los 90 e incluso se crearon nuevas *empacadoras*¹ dedicadas a la exportación del crustáceo, además de laboratorios de larvas, fábricas de alimento balanceado y empresas abastecedoras de insumos acuícolas. (FAO)

¹ Empacadora es una compañía que se dedica a empaquetar y exportar el camarón. Las empresas camaroneras venden su producción a las empacadoras a precios nacionales establecidos por talla, tipo de producto y calidad.

A pesar del gran crecimiento del sector camaronero, han existido episodios nefastos para la producción del camarón, el más recordado fue el que ocurrió a partir del 28 de mayo de 1999, donde el crustáceo fue afectado por el virus de la mancha blanca, enfermedad que comenzó en Esmeraldas propagándose hacia el resto de provincias productoras; lo cual provocó una disminución considerable de las toneladas enviadas hacia el exterior y por ende mermando el número de divisas que ingresaron al país en ese entonces, generando un gran impacto económico y junto con un alto nivel de desempleo dejando sin sustento a aproximadamente 100000 personas. (FAO)

1.1.2 Prácticas acuícolas en Ecuador

Para la producción del camarón existen diversos métodos de producción los cuales son; extensivo, semi-intensivo e intensivo, sin embargo localmente predomina el cultivo semi-intensivo (FAO), (Rosenberry, 1998). Este tipo de cultivo se caracteriza por intervenir en el proceso de producción controlando variables como alimentación, recambio de agua, oxigenación, condiciones medio ambientales con el fin de asegurar la mejor rentabilidad por hectárea. (Fast, 1992).

La densidad de siembra o el número de post larvas generalmente sembrados en sistemas semi-intensivos varían entre 12 a 30 ejemplares por metro cuadrado; el hábitat en el que estarán confinados durante su crianza es en estanques de tierra cuya superficie varía entre 1 a 30 hectáreas con una profundidad de entre 0.6 a 1.5 metros.

Los estanques de tierra son construidos mediante el uso de maquinaria pesada para remover el suelo y usar el material removido como muros de contención. Además, existen canales que permiten el paso del agua anexos a las piscinas llamados compuertas que permiten el flujo de agua hacia el estanque a medida que la marea sube y baja; y de esta forma permitir los recambios de agua.

El tiempo que toma desde que la post larva es sembrada, criada y cosechada se denomina *Ciclo Productivo* y puede variar acorde a las decisiones de la administración desde los 80 días hasta un poco más de los 200 días de cultivo. (Córdova J., 2005). Al momento de la cosecha aquellos camarones con un peso o talla más grande obtienen precios más altos. (Run Yu, PingSun Leung, Paul Bienfang, 2007)

En los últimos años las técnicas de producción han ido desarrollándose gracias a los avances científicos y tecnológicos permitiendo mejorar las condiciones medio

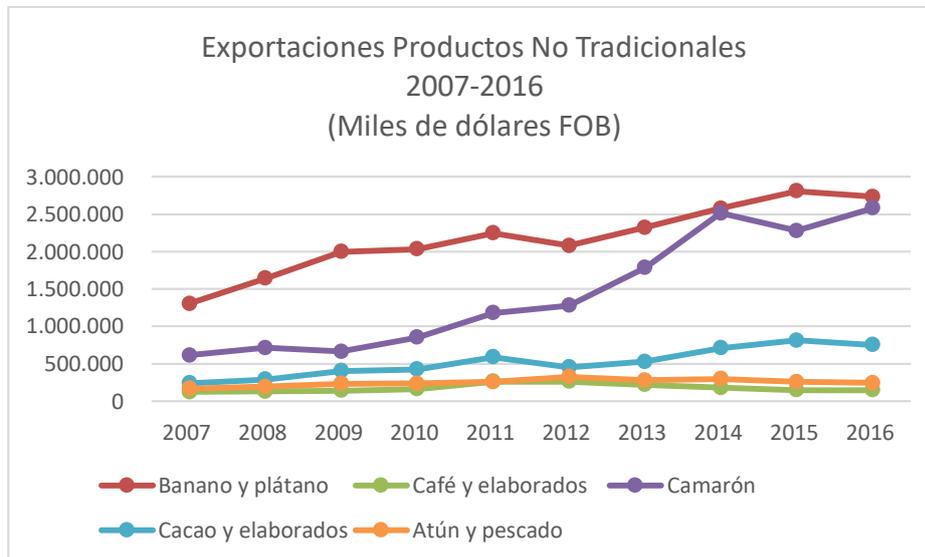
ambientales y biológicas gracias a la variedad de insumos acuícolas que mejoran la calidad del alimento, prevención de enfermedades, desarrollo de nuevos fertilizantes que fomentan el crecimiento de algas y del fitoplancton. La introducción de maquinaria como aireadores de paletas, como complemento a las estaciones de bombeo que efectúan los recambios de agua a las piscinas, incrementan los niveles de oxígeno disminuyendo la mortalidad y provocando un aumento en la biomasa cosechada. (Rúales Carpio, 2012)

1.1.3 Panorama del Sector Acuícola

El sector camaronero está compuesto por 39 exportadoras o empacadoras, 1315 productores de camarón, intermediarios o comerciantes que son un puente entre los productores y las empresas exportadoras. En el 2016 existen aproximadamente más de 210000 ha que producen camarón. (CNA, 2016)

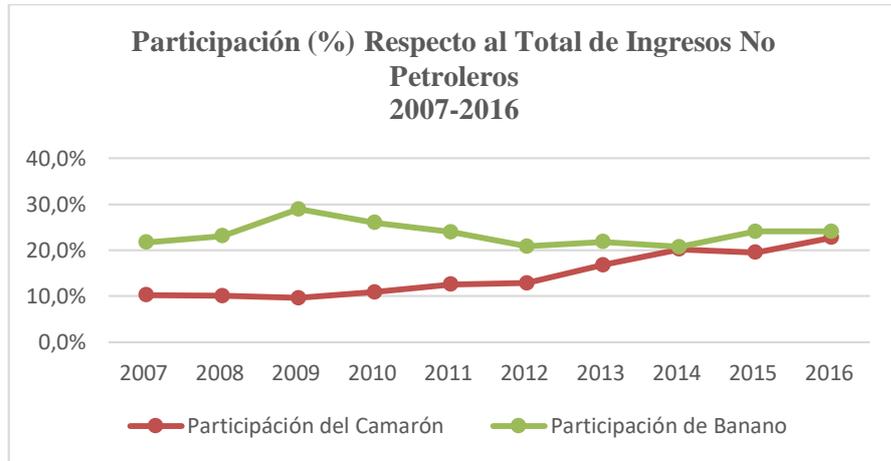
La industria acuícola camaronera es considerada como uno de los ejes productivos más importantes del país, convirtiéndose en la actividad no petrolera más significativa después del banano.

Gráfico 1– Exportaciones Productos No Tradicionales



Fuente: Banco Central del Ecuador
Elaborado por el autor

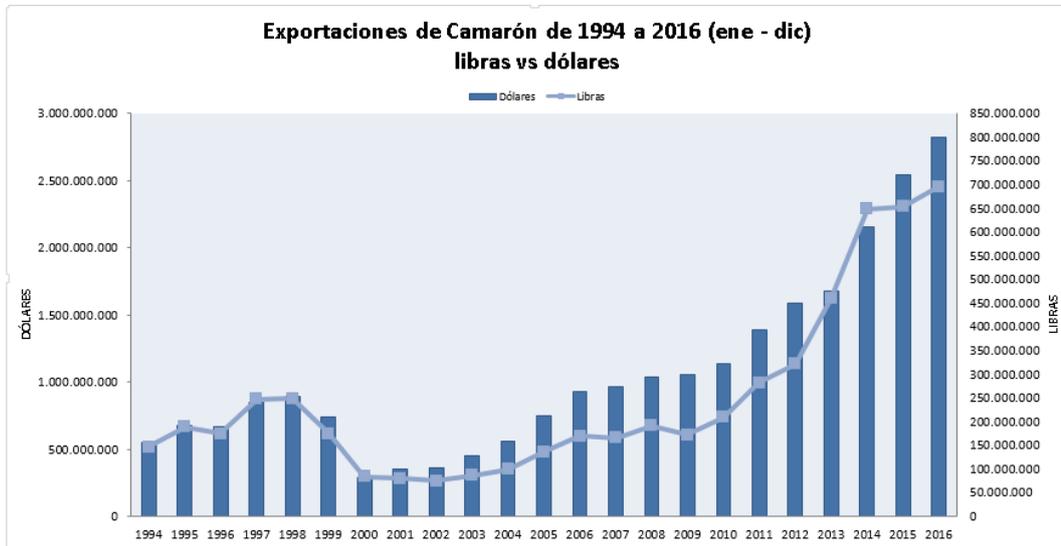
Gráfico 2– Porcentaje Respecto al Total de Ingresos No Petroleros 2007-2016



Fuente: Banco Central del Ecuador
Elaborado por el autor

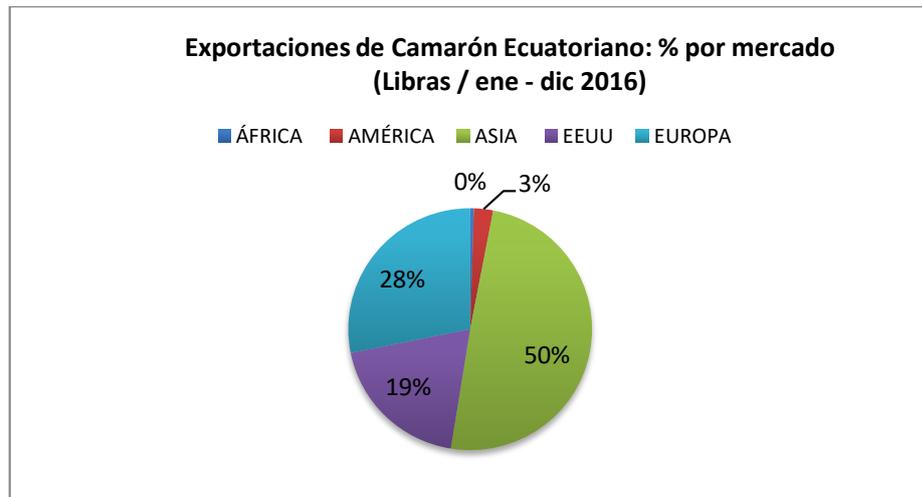
La producción camaronera ha mantenido una senda de crecimiento sostenible en el tiempo luego de que Ecuador sufriera los efectos de la mancha blanca en 1999 llegando a exportar en el año 2016 un total de 800 millones de libras de las cuales el 50% tuvieron como destino Asia, generando rentas para el país de aproximadamente 2500 millones de dólares (CNA, 2016)

Gráfico 3- Producción y Exportación de Camarón (Toneladas) 1994-2016



Fuente: CNA – Estadísticas 2016

Gráfico 4 - Destino de las Exportaciones de Camarón 2016



Fuente: CNA – Estadísticas 2016

De enero a junio del 2017, las exportaciones de camarón han aumentado un 7% en comparación al 2016, sin embargo; las ventas hacia la UE Unión Europea crecieron un 65% gracias al acuerdo firmado con la UE (CNA, 2017). En el año 2017 el gobierno ecuatoriano inició negociaciones con el gobierno brasileño para que el camarón ecuatoriano vuelva a ingresar al mercado brasileño, abriendo la puerta para que el país exporte unas 20000 toneladas de camarón a Brasil. (El Telégrafo, marzo 25 del 2017).

La evolución del camarón como una de las principales fuentes de ingresos para el país luego del petróleo y el banano indica claramente una vía de desarrollo potencial la cual podría experimentar un salto no solo cuantitativo sino también cualitativo, motivando a que se propongan nuevas políticas gubernamentales que aceleren este crecimiento, mejorando los procesos de tecnificación e innovación a los sistemas de cultivo y considerando un punto crucial que aún no logra despegar sobretodo en nuestro entorno ya que los administradores toman decisiones de siembra y cosecha de forma empírica sin mecanismos de optimización que estén a la vanguardia (Carlos Campoverde, entrevista personal, enero del 2017); los cuales podrían mejorar su rentabilidad al considerar modelos bio-económicos, tema que se abordará en este estudio.

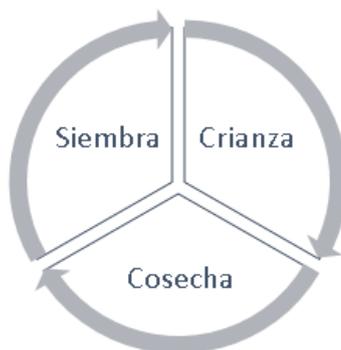
1.2 Ciclo Productivo

El ciclo productivo del camarón en estanques de tierra para granjas que se dedican a la producción y comercialización comienza cuando el ejemplar es sembrado en su periodo de postlarva, luego es alimentado, cuidado y controlado de tal forma que se asegura de obtener el mayor rendimiento al momento de la cosecha.

Run Yu y P. Leung (2005) define a un ciclo productivo como el periodo comprendido entre la fecha de siembra hasta la fecha de cosecha.

Jorge Córdova (2015, p.14) cita a Villalón (1994) donde indica que los ciclos productivos pueden variar de 80, 100, 120 o superar los 200 días, según sea la política de la compañía camaronera.

Gráfico 5 - Ciclo Productivo del Camarón



Elaborado por el Autor

1.3 Características del Mercado del Camarón

- Los productores venden el camarón a empresas exportadoras (empacadoras) locales, las cuales clasifican el producto como producto entero o cola.
- El tipo entero representa el 100% el peso del camarón.
- El tipo cola representa el 66,6% del peso del camarón una vez extraída su cabeza.
- El tipo cola puede ser clasificado de acuerdo a la calidad como primera, segunda y mercado local. La calidad primera es aquella que cumple todos los estándares de calidad para exportación, mientras que la calidad segunda es aquella que consigue cumplir a medias los parámetros requeridos para exportación y la calidad mercado local es aquella que no cumple los requisitos para exportación y por tanto solo puede ser comercializada a nivel local.
- Para que el camarón sea clasificado como tipo entero, la calidad debe cumplir con requisitos más estrictos que la calidad primera del producto cola.

- La clase segunda y mercado local son pagadas a un precio de clase primera más un descuento monetario.
- Camarones son vendidos mediante un criterio “número de camarones que caben en una libra para el tipo cola y número de camarones enteros que caben en un kilo”; por ejemplo: la talla 41-50 del tipo cola indica que caben entre 41 a 50 colas de camarón de ese tamaño en una libra.
- La clasificación de tallas según el tipo cola son:

Cuadro 1 - Talla para Conversión de Camarón en Cola

Tallas Tipo Cola	Peso en gramos
Juvenil	Menor a 6
111-130	Mayor a 6 - Menor a 7
91-110	Mayor a 7 - Menor a 9
71-90	Mayor a 9 - Menor a 10
61-70	Mayor a 10 - Menor a 12
51-60	Mayor a 12 - Menor a 14
41-50	Mayor a 14 - Menor a 18
36-40	Mayor a 18 - Menor a 20
31-35	Mayor a 20 - Menor a 24
26-30	Mayor a 24 - Menor a 29
21-25	Mayor a 29 - Menor a 36

Fuente: Frigopesca C. A.

Elaborado por el Autor

- La clasificación de tallas según el tipo entero son:

Cuadro 2 - Talla para Conversión de Camarón en Entero

Tallas Tipo Entero	Peso en gramos
Juvenil	Menor a 5
140-200	Mayor a 5 - Menor a 7
120-140	Mayor a 7 - Menor a 8
100-120	Mayor a 8 - Menor a 10
80-100	Mayor a 10 - Menor a 12
70-80	Mayor a 12 - Menor a 14
60-70	Mayor a 14 - Menor a 17
50-60	Mayor a 17 - Menor a 21
40-50	Mayor a 21 - Menor a 26
30-40	Mayor a 26 - Menor a 32
20-30	Mayor a 32 - Menor a 40

Fuente: Frigopesca C. A.

Elaborado por el Autor

- El precio de venta (precio nacional) es por unidad de libra según su talla.

- El precio de los camarones de talla más grande es superior al de las tallas más pequeñas.
- El precio entero por libra es inferior al precio cola por libra.
- El administrador obtiene mayores ingresos cuando su producto es clasificado como entero, lo cual le genera una ganancia adicional por el peso completo del camarón al incluir la cabeza del mismo. La disminución en libras por producto cola es del 33,3%; mientras que el precio entero es inferior al precio cola, según la talla, en menos del 33,3%.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar la aplicabilidad de un modelo óptimo de cosecha existente en la literatura basada en una estructura de redes operacionales adaptándolo al mercado ecuatoriano para un grupo de piscinas productivas de una empresa camaronera, ubicada en la Isla Puna, que opera con múltiples piscinas productivas y múltiples ciclos productivos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Estructurar una Representación de Redes Operacionales para cada estanque productivo dentro de un horizonte de planeación de un año.
- Determinar el esquema de planeación óptimo para cada piscina mediante un Modelo de Programación Lineal que sirva de base para decisiones administrativas.
- Evaluar diferentes alternativas de administración que puedan variar el esquema de planeación óptimo.

1.5 Justificación

A pesar de que la industria camaronera ha experimentado pasos agigantados en el ámbito productivo al introducir nuevas tecnologías de producción y complementos orgánicos que mejoran el rendimiento, queda aún mucho camino por recorrer hasta que este sector alcance su verdadero potencial.

Aunque el enfoque de esta investigación no se centra en medir los efectos de las mejoras técnicas en producción, si considera que un mejor esquema de planeación óptima de siembra y cosecha puede ayudar a mejorar los ingresos de una empresa camaronera al

considerar aspectos tanto económicos y biológicos subyacentes, ya que los actuales mecanismos de decisión de siembra y cosecha están basados más en la experiencia que en algún criterio técnico.

Las estrategias de producción empleadas en gran parte de este sector en cuanto a decisiones de cultivo, crianza, alimentación y cosecha del camarón no están a la vanguardia de los nuevos mecanismos de optimización para la industria acuícola camaronera, lo que conlleva a un manejo ineficiente de insumos y tecnología obteniendo como resultado una producción que no es óptima y por ende a la no maximización de los ingresos.

Resulta oportuno acotar que el propósito de este estudio no es retratar de forma estricta las condiciones medio ambientales, biológicas, económicas y administrativas en las que opera la granja camaronera de este estudio con el fin de comparar los resultados del modelo de planeación a desarrollar con los resultados reales que la compañía obtuvo durante el periodo 2016 debido a la limitada información con la que cuenta la granja camaronera; sino, más bien de demostrar que el modelo propuesto de maximización de ingresos puede servir como una herramienta útil de planeación y de base para futuros modelos que involucren en el análisis todos los aspectos ambientales, económicos, biológicos y de conducta de las granjas camaroneras.

1.6 Importancia

A medida que una camaronera crece y la industria se vuelve más competitiva, una administración eficiente y una planeación de producción óptima llegan a ser factores elementales para la rentabilidad.

Por tanto, el planteamiento de un modelo bio-económico usando un mecanismo de Redes Operacionales a un caso de una compañía camaronera en Ecuador puede fomentar la generación de conocimiento e investigación en mecanismos de optimización ya que temas de estudio de este tipo no se han encontrado en el país. Proveer a los productores de camarón un mecanismo que permita hallar un modelo óptimo de cosecha que conjugue periodos de cultivo, volatilidad de los precios, crecimiento, tasas de mortalidad, biomasa, ingresos, factores medio ambientales, etc., permitiría un mejor acoplamiento entre un criterio técnico y la experiencia empírica.

Así, investigaciones como esta se podrían convertir en herramientas poderosas para que los dueños de granjas camaroneras evalúen diferentes alternativas de administración mediante la simulación de escenarios.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen los estudios llevados a cabo en la literatura concernientes a modelos de planeación de siembra y cosecha en diferentes actividades acuícolas.

2.1 Revisión de Literatura

2.1.1 Antecedentes

La ciencia y su empinado crecimiento permiten que se puedan usar sus frutos al aplicarlos a casos reales en la acuicultura. A medida que la industria acuícola se desarrolla y se vuelve más competitiva, la necesidad de implementar sistemas de planeación de producción y de disponer de prácticas de administración más eficientes por parte de los administradores se vuelve más relevante para el sector, convirtiendo a ambas estrategias en piezas claves para la rentabilidad. (Guttormsen, 2008)

La decisión de planeación de la producción es la herramienta más importante de administración que permite encontrar la mejor ruta para saber cuándo sembrar y cuándo cosechar, impactando de forma sustancial en los flujos de efectivo y en la redistribución de los insumos para la producción como; alimentación, espacio, recursos ambientales. (Cacho, 1997). Ante este análisis, varios modelos de planeación de producción óptima se han desarrollado en la literatura a partir de finales de los años 70, los cuales tratan de abarcar este aspecto fundamental para la maricultura. Entre aquellos autores inmersos en este campo cabe mencionar la investigación propuesta por Bjørndal, T. (1988), quien analiza el tiempo óptimo de cosecha para peces criados en granjas. Su investigación se centra en determinar un modelo bio-económico que pueda ser adaptado a cualquier recurso renovable incluyendo los costos variables subyacentes y usando como insumo la teoría de administración óptima disponible en ese entonces, ya que Bjørndal (1988, p. 139) sostuvo que “Conceptualmente, la acuicultura es más similar a la silvicultura y a la crianza de animales que a la pesca tradicional en el océano”.

Como resultado de su investigación encontró que los costos de cosechar son un determinante para postergar la decisión de extracción de los ejemplares y que las diferencias

en crecimiento pueden influir en la decisión de cosecha. Ambos resultados son aplicables a la silvicultura. La investigación de Bjørndal, T. (1988), es considerada como un trabajo pionero de la cual muchas investigaciones realizadas por otros autores surgieron como consecuencia.

Cabe considerar que previo a la investigación de Bjørndal, T. (1988), (Karp, Sadeh y Griffin, 1986) ya habían establecido la relación entre el problema de planeación óptimo de las granjas acuícolas y la silvicultura.

Arnason (1992) amplió el modelo propuesto por Bjørndal, T. (1988), al considerar la planeación de alimentación y la decisión de cuando cosechar en actividades acuícolas. Ambos problemas de planeación son evaluados mediante diferentes especificaciones de una función de crecimiento de la biomasa, encontrando como conclusión que siempre que la tasa de descuento sea positiva, el ingreso marginal de alimentar debe exceder el costo marginal hasta el punto en que ambos se igualen, que es el tiempo en el cual se debe cosechar.

Hean (1994) desarrolló un modelo aplicado a sistemas intensivos en acuicultura, específicamente al caso del salmón atlántico en Australia. Su investigación se enfoca en encontrar el número óptimo de ejemplares a sembrar, así como el de determinar el tiempo de óptimo de cosecha. A diferencia del modelo de Bjørndal, T. (1988) que incluía costos de cosecha y de alimentación, este adicionalmente incluye el costo de siembra y analiza cómo este influye en el número óptimo de individuos a sembrar.

Autores siguiendo el mismo esquema desarrollaron modelos que han sido aplicados para distintos tipos de especies para producción acuícola, entre ellos destacan; Cacho et al. (1991), quién aplicó una estructura similar para identificar las estrategias de alimentación para la producción del bagre, Springborn et al. (1992) analizó el tiempo óptimo de cosecha para la tilapia del Nilo, Leung et al. (1994) identificó el tiempo óptimo de cosecha para la producción de la almeja gigante, Pascoe et al. (2002) usó el mismo enfoque para encontrar el tiempo óptimo de cosecha para el besugo y el langostino tigre.

El avance de la tecnología a finales de la década de los 80 ha permitido que muchos autores pongan su mira en la creación de modelos computacionales cada vez más sofisticados y mejor adaptados a las realidades de los sistemas de producción agrícolas como acuícolas, gracias a esto, a continuación se detalla algunos autores que implementaron modelos de programación en sus investigaciones.

Karp, Sadeh y Griffin (1986) han aplicado un problema de programación dinámica para determinar el momento y los niveles óptimos tanto de siembra y cosecha para el camarón de la especie *P. stylirostris* en el sureste de los Estados Unidos. Los autores consideran al modelo como un problema de control determinístico de tiempo continuo para estudiar el caso cuando la producción es manipulada en un ambiente controlado.

Leung, y Shang, (1989), desarrollan un modelo computacional operacional bio-económico para evaluar las alternativas de administración de la producción en cuanto a siembra y cosecha para langostinos usando información de una camaronera ubicada en Oahu, Hawái.

Forsberg (1999), elaboró una nueva metodología para resolver los problemas de planeación de la producción de peces, a través de un *modelo de programación lineal multi-periodo*, el cual optimiza tanto el número de ejemplares a sembrar como el número de individuos a cosechar acorde a una clasificación por clases de tamaño usando *Cadenas de Markov*. Este aporte de Forsberg (1999) produce un enfoque más realista a las operaciones acuícolas y emplean un modelamiento utilizando programación lineal para maximizar el valor presente neto del stock de peces.

Purwanto (1997) como parte de su tesis para obtener el título de Doctor (PhD.) y con el fin de optimizar los beneficios económicos de empresas camaronera en Australia y West Java, Indonesia, ha desarrollado un set de modelos de programación lineal y no lineal.

Run Yu y P. Leung (2005) realizan una observación muy importante ya que las investigaciones previas solo han sido encauzadas desde un punto de vista teórico y no son aplicables a las características reales de las operaciones comerciales de las granjas camaroneras que cuentan con múltiples estanques de tierra y realizan varios periodos de siembra y cosecha para cada piscina productiva. Entre sus argumentos que evidencian la imperiosa necesidad de crear un modelo que se adapte a las situaciones comunes de la producción acuícola se mencionan los siguientes:

- Los modelos previos han sido desarrollados utilizando data experimental, los cuales distan de las verdaderas operaciones comerciales acuícolas.
- El enfoque ha sido exclusivo para responder alguna pregunta de investigación más que desarrollar una herramienta de administración de las operaciones productivas para una granja camaronera en marcha.

- Casi todos los modelos previos han sido cimentados para optimizar la planeación de los ciclos productivos para una piscina.
- La variabilidad de precios, restricciones productivas y la demanda formarían parte fundamental de un modelo más cercano a la realidad.

Para solucionar un problema mucho más complejo pero mucho más realista Run Yu y P. Leung (2005) utilizan el enfoque conocido como “*Modelo de Redes Operacionales*” que es ampliamente usado en optimización tanto en distribución eléctrica, reemplazo de equipos, biología y planeación de proyectos, (Winston et al, 2000). Los autores usaron como soporte la información provista por una compañía camaronera ubicada en Hawái y así considerar los aspectos biológicos y económicos subyacentes para maximizar la producción usando la metodología antes mencionada logrando una planeación de producción óptima para cada estanque, lo que convirtió a la investigación en un herramienta poderosa para que los planeadores puedan tomar diferentes decisiones de administración.

Una investigación anexa por Run Yu, P. Leung y P. Bienfang (2005) evaluó los impactos en la planeación óptima de producción, usando la metodología de Redes Operacionales, al variar las tasas de sobrevivencia, las tasas de crecimiento, estacionalidad en los precios y restricciones productivas aplicados a la misma camaronera en Hawái.

Run Yu, P. Leung, P. Bienfang (2007), han propuesto un modelo para resolver los problemas de planeación óptima de producción a un caso que no es muy común en la industria acuícola en donde se emplean la táctica de Cosecha Parcial o Raleo². Esta estrategia de planeación es aplicada cuando el crecimiento de los individuos es dependiente de la densidad³ de ejemplares; y únicamente si es manejado de forma eficiente puede mejorar la rentabilidad. Para explicar cómo mejorar la planeación productiva en este caso en particular, los autores hacen uso del Modelo de Redes Operacionales para encontrar la ruta óptima de planeación productiva, tomando en cuenta un solo estanque productivo.

² Cosecha Parcial o Raleo es una cosecha que se efectúa previo a la cosecha final donde se extrae una porción de la biomasa, pueden ser más de una. Raleo podría ser una forma de aligerar la biomasa, ya que cuando el estanque productivo sobrepasa su capacidad máxima sostenible, el crecimiento de los ejemplares se ve mermado y un raleo permitiría que la población restante acelere su crecimiento y se dé un salto en la biomasa.

³ Densidad hace referencia al número de individuos por unidad de superficie.

Finalmente, la base del presente estudio toma como pilar a la metodología propuesta por Run Yu y P. Leung (2005) que será descrita en el capítulo 3 y que posteriormente será adaptada por primera vez a un caso ecuatoriano de una granja camaronera ubicada en la Isla Puna, Guayas, con el objetivo de maximizar los ingresos de la empresa y elegir la planeación óptima de producción en un horizonte tiempo de un año.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA y DATOS

En este capítulo se expone la importancia de la metodología de redes operacionales para la ciencia y las ventajas que ofrecen como alternativa de resolución de problemas complejos. A demás, se detalla la formulación matemática referente al modelo de planeación, las funciones biológicas y económicas subyacentes. Adicionalmente, se describen supuestos a emplear y el respectivo diagrama del proceso. Por último, se presenta la procedencia de los datos y la manera en que se usarán para estimar las funciones del modelo.

3.1 Modelos de Redes Operacionales

3.1.1 Importancia

Este enfoque se caracteriza por el uso de diagramas que permiten visualizar una imagen que sigue una secuencia lógica; su elaboración progresiva está basada en la teoría grafica lo que amplía las posibilidades para representar un problema de decisión difícil mediante el uso de diagramas de árbol. El componente visual de estos modelos posibilitan que tanto las industrias y los gobiernos puedan plantear y entender fácilmente sus formulación clásicas, convirtiendo al enfoque de redes operacionales en una herramienta muy poderosa. A demás, la formulación gráfica de los problemas de decisión propicia la elaboración de versiones matemáticas directamente desde la imagen detallada.

Los problemas que surgen en grandes organizaciones, industrias y en complejos sistemas que muchas disciplinas estudian no son susceptibles a resolución simplemente por sentido común o por experiencia práctica. Sin embargo, la facilidad de uso del enfoque de redes operacionales y su practicidad permiten que ciencias como las ciencias sociales, psicología, ciencias bilógicas, ciencias físicas entre otras adopten esta metodología, obteniendo réditos muy altos y adoptándola como un instrumento necesario para clarificar problemas de decisión.

Por último, en cuanto a la visualización gráfica de redes operacionales de un problema a optimizar, su forma y tamaño dependen de como este se constituya; es decir dependiendo del número de variables de decisión, restricciones, función objetivo a optimizar y según el área de la ciencia que se trate. Fred Glover, Darwin Klingman, Nancy V. Phillips. (1992).

3.1.2 Ventajas

- **Contenido Visual** → La representación de redes operacionales permite que un problema sea visualizado mediante diagramas haciendo posible capturar importantes interrelaciones en un marco gráfico comprensible.
- **Flexibilidad del Modelo** → Una gran diversidad de problemas pueden ser modelados y resueltos mediante esta aplicación. Por ejemplo: problemas de ingeniería, física, diseño de circuitos eléctricos, ciclos de siembra y cosecha, distribución óptima de recursos escasos, planeación financiera, metalúrgica, diseño de aviación, dinámica de fluidos, sociología, arqueología, proyectos, marketing, etc.
- **Facilidad de resolución** → Los avances computacionales y avances en métodos de resolución permiten modelar sistemas complejos.
- **Fidelidad del Modelo** → La visualización reduce las posibilidades de omitir interrelaciones.
- **Análisis de sensibilidad** → Permite proveer análisis que respondan preguntas del tipo “Que pasaría si...”.

3.2 Diseño de una Red Operacional

3.2.1 Tiempo de Planeación

El periodo de planeación finito es continuamente enumerado para determinar una unidad de decisión temporal, por ejemplo; un día o una semana, es decir; $t = 1, 2, 3, \dots, T$, donde T es el tiempo final de planeación. En consecuencia se puede definir al set $\mathbf{T} = \{t \mid t = 1, 2, 3, \dots, T\}$ como el conjunto de unidades de decisión temporales. Un periodo de planeación podría ser un año, es decir $\mathbf{T} = 52$ semanas.

3.2.2 Planeación de un ciclo productivo

Un ciclo productivo puede ser representado por un vector $h(i, j)$, donde i, j pertenecen al set \mathbf{T} . $h(i, j)$ indica un ciclo de producción que empieza en $t = i$ y termina en $t = j$. De esta forma se puede establecer el conjunto de ciclos productivos factibles mediante el set $\mathbf{h} = \{h(i, j) \mid i, j \in \mathbf{T}; i < j\}$, en donde a la condición $i < j$ se la puede llamar como la *condición de no conflicto temporal*. Un ejemplo de un ciclo de producción es $h(2, 18)$; en este ejemplo si asumimos que las unidades de decisión temporal son semanas indicaría que este ciclo productivo inicia en la semana número 2, en donde se siembran los ejemplares, y termina en la semana número 18, en donde todos los camarones son extraídos para la venta, lo que cumple con la condición de que la fecha de siembra es menor que la fecha de cosecha ($2 < 18$); además se puede notar que el periodo de duración de este ciclo productivo es de $18 - 2 = 16$ semanas (4 meses).

3.2.3 Planeación Productiva Multi-cíclico

Un set de planeación para una *piscina productiva* con múltiples ciclos productivos dentro del periodo de planeación finito \mathbf{T} puede ser definido como todas las combinaciones de los elementos del set \mathbf{h} que cumplan con la condición $i < j$. Sea H_1 un conjunto que consiste de m elementos $(h_1(i_1, j_1), h_2(i_2, j_2), \dots, h_m(i_m, j_m))$ provenientes del set \mathbf{h} requiere que la *condición de no conflicto temporal* sea $1 < i_1 < j_1 < i_2 < j_2 \dots < i_m < j_m \leq \mathbf{T}$.

Esta *condición de no conflicto temporal* asegura que cada ciclo productivo no se superponga sobre otro; por ejemplo, los ciclos $h(1, 15)$ y $h(10, 22)$ para una piscina se superponen; esto es, el ciclo $h(10, 22)$ no puede tomar lugar en la semana 10, ya que el ciclo $h(1, 15)$ indica que la piscina no será cosechada sino hasta la semana número 15. Por ende, el set de planeación factible multi-cíclico puede ser descrito como:

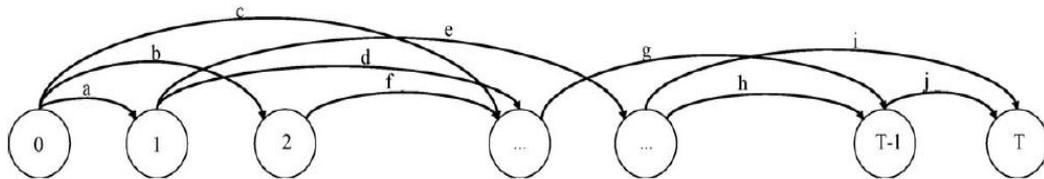
$$\mathbf{H} = \{H(h_1(i_1, j_1), h_2(i_2, j_2), \dots, h_m(i_m, j_m)) / h(i, j)) \in \mathbf{h}, 1 < i_1 < j_1 < i_2 < j_2 \dots < i_m < j_m \leq \mathbf{T}, m \in \mathbf{N}^+\}$$

Cada elemento en el set \mathbf{H} representa un plan multi-cíclico factible que cubre el periodo de planeación \mathbf{T} . Así, $H\{h(1, 12), h(14, 30), h(32, 52)\}$ expresa un set de planeación que consiste de tres ciclos productivos factibles que empiezan en las semanas 1, 12 y 32 y terminan en las semanas 12, 30 y 52, respectivamente, los cuales cumplen la condición de no conflicto temporal.

En caso de no existir un tiempo de espera entre el periodo de cosecha y siembra del siguiente ciclo productivo la condición de conflicto temporal es $1 \leq i_1 < j_1 \leq i_2 < j_2 \dots \leq i_m < j_m \leq \mathbf{T}$ la cual es una *condición de conflicto temporal suavizada*.

3.2.4 Estructura de redes para una piscina representativa

Gráfico 6 - Estructura de redes para una piscina



Fuente: Run Yu y PingSun Leung, 2005

La figura previa ilustra la estructura de redes operacionales para un estanque representativo en la cual, los nodos (círculos) indican un tiempo discreto a lo largo del horizonte de planeación \mathbf{T} donde una decisión puede ser tomada. El (Nodo 0) denota el tiempo cuando el planificador prepara el cronograma de planeación. Los nodos (1, 2, 3, ..., T) representan el set \mathbf{T} . Los arcos que salen de un nodo y conectan con el nodo subsecuente indican una agenda de ciclos productivos potenciales donde cada nodo inicial denota un tiempo de siembra y cada nodo final denota el tiempo de cosecha.

Un set de planeación multi-cíclico factible, \mathbf{h} , es aquel en el cual las conexiones de arcos no se traslapan una sobre otra. Para ilustrar, la conexión de arcos a, d, g y j del gráfico 6 son un esquema de planeación factible multi-cíclico, mientras que la conexión de arcos a, e, g y j no es factible debido a que el arco e se superpone al arco g.

3.3 Formulación Matemática

Una granja camaronera, que cuenta con múltiples estanques productivos y en la que cada estanque puede abarcar varios ciclos productivos dentro de un horizonte finito de tiempo, se enfrenta al dilema de saber cuál es la mejor planificación de los ciclos productivos que pueden ser acomodados con el fin de maximizar los beneficios; sin embargo, por cuestiones de información disponible, en este estudio, se buscará la maximización de los ingresos. Ante esto el planeador debe encontrar la ruta óptima de periodos de siembra y cosecha para cada una de las piscinas durante el periodo de planeación.

Para poder establecer una representación del problema de planeación se considera como una base la metodología usada en el trabajo propuesto por Run Yu y PingSun Leung (2005). De esta forma, en este capítulo se detalla la formulación matemática necesaria para el problema de planeación óptimo para una piscina productiva, la cual considera las condiciones económicas y biológicas subyacentes. Además, se presenta la procedencia de los datos a emplearse en el modelo y las técnicas de análisis de datos empleados para analizar la información.

3.3.1 Función de Ganancia de Peso del Camarón

A diferencia del trabajo de Run Yu y P. Leung (2005), en el cual sugieren modelar el peso de los camarones mediante una función que considera el crecimiento incremental y la temperatura, en esta investigación el camarón es modelado mediante la función Von Bertalanffy propuesta por Ludwig von Bertalanffy (1938). L. von Bertalanffy obtuvo una ecuación que puede ser usada para predecir el peso de un organismo como una función de su edad (Malcolm Haddon, 2011).

La función Von Bertalanffy es representada de la siguiente forma:

$$W_t = \omega_{\infty} [1 - e^{-k[t-t_0]}]^b \quad (1)$$

En donde:

- W_t : Peso del camarón en la fecha t
- t : Número de semanas transcurridas

- e : Número de Euler
- ω_{∞} : Peso máximo asintótico
- k : Tasa de crecimiento que determina cuán rápido se alcanza el peso asintótico
- t_0 : Edad hipotética en la cual la especie tiene un crecimiento o un peso igual a cero
- b : *Tasa de crecimiento alométrico*⁴

A pesar de que en la literatura existen diferentes ecuaciones que permiten modelar el crecimiento de organismos, la base para elegir la ecuación Von Bertalanffy tiene sustento en la investigación realizada por X. Tian y P. Leung (1992), en la cual los autores examinan distintas formas funcionales (lineal, polinomial, log recíproca, Von Bertalanffy, Gompertz, logística y exponencial). Su conclusión luego de su análisis es que la ecuación Von Bertalanffy describe muy bien el crecimiento del camarón y que puede ser aplicable a la práctica comercial del crustáceo e incluso ser muy útil para valoraciones económicas si se desea encontrar planeaciones óptimas de cosecha (X. Tian y P. Leung, 1992).

3.3.2 Función de Supervivencia

La supervivencia se vuelve un factor considerable al momento de tomar las decisiones productivas, ya que la muerte de ejemplares se traduce en pérdidas económicas. Para modelar la supervivencia se toma en consideración a Tian y P. Leung (1992), donde estiman la función de supervivencia como una función lineal que depende negativamente del tiempo de la siguiente forma:

$$S_t = \delta(t - t_i) + S_i \quad (2)$$

$$\delta = \frac{S_j - S_i}{t_j - t_i}$$

En donde:

- S_t : Número de camarones que sobreviven a la fecha t

⁴ Tasa de crecimiento alométrico es aquella tasa a la cual se produce un crecimiento diferencial en diferentes partes del cuerpo de cualquier organismo.

- t : Número de semanas transcurridas
- δ : Tasa de mortalidad
- S_i : Número de camarones sembrados en la fecha de siembra o de inicio del ciclo productivo
- S_j : Número de camarones cosechados al final del ciclo productivo
- t_i : Número de semanas transcurridas al inicio del ciclo productivo
- t_j : Número de semanas transcurridas hasta el final del ciclo productivo

3.3.3 Biomasa

La Biomasa es considerada como el peso total, en libras, kilos o toneladas de los camarones que viven en cada estaque productivo en un momento determinado t , y puede ser expresada como:

$$B_t = W_t S_t \quad (3)$$

En donde:

- B_t : Biomasa total en el tiempo t
- t : Número de semanas transcurridas
- W_t : Peso del camarón en el tiempo t
- S_t : Número de camarones que sobreviven a la fecha t

Donde la fecha t para efectos de esta investigación será en $t=j$, es decir, la semana j en la que culmina un ciclo productivo.

3.3.4 Distribución por tipo y calidad del producto

La distribución por tipo de producto “c” y calidad “q” representan el porcentaje de producto que es clasificado por tipo y calidad.

En cuanto al tipo, una vez que la empacadora recibe la cosecha, esta clasifica la biomasa como entero o cola. Por otro lado, la empacadora organiza la cosecha según la calidad como primera, segunda y mercado local.

3.3.5 Precios

El precio local (nacional) al que el camarón es comercializado es aquel que es determinado por el mercado local y varía según su talla, tipo y clase; y será correspondiente a la semana t , caracterizado de la siguiente forma:

$$P_t^{k,q,c}; q=1, 2, 3; c=1, 2; \forall k$$

En donde:

k : Talla del camarón

q : Calidad del camarón

c : Tipo de producto

Sea “ q ” igual a 1 (Calidad Primera), 2 (Calidad Segunda), 3 (Calidad Mercado Local) y “ c ” igual a 1 (Tipo Entero), 2 (Tipo Cola).

3.3.6 Descuentos

El descuento es una penalización monetaria inversamente proporcional a la calidad del producto, cuando esta no alcanza la calidad primera.

$$d_c^q; q=1, 2, 3; c=1, 2; \forall k$$

En donde:

d_c^q : Descuento monetario al precio según la calidad q y el tipo de producto c .

El descuento monetario tanto para d_1^1 y d_2^1 es igual a cero debido a que los productos que alcanzan la calidad primera no son susceptibles de descuentos.

3.3.7 Libras Procesadas

Se define como libras procesadas a un porcentaje de la biomasa según el tipo de producto “ c ” y calidad “ q ”. Las libras procesadas representan el total de libras que las empacadoras empaquetaran y que serán la base para calcular los ingresos de la granja camaronera en una cosecha determinada.

$L_j^{k,q,c}$: Total de libras procesadas en la semana de cultivo j y clasificadas como talla k , tipo de producto c y calidad q

Para el tipo de producto entero ($c=1$) la calidad debe ser estrictamente primera ($q=1$); por tanto, el total de libras procesadas para entero se define como:

$L_j^{k,1,1} = \rho B_j$, donde ρ es el porcentaje de la biomasa clasificada como entero, es decir $\rho = 1$, tal como se indica en la sección 1.3.

Para el tipo de producto cola ($c=2$), el total de libras procesadas es clasificado según la calidad.

Para producto cola y calidad primera ($q=1$) se define como:

$$L_j^{k,1,2} = \delta \eta B_j$$

Para producto cola y calidad segunda ($q=2$) se define como:

$$L_j^{k,2,2} = \delta \mu B_j$$

Para producto cola y calidad segunda ($q=3$) se define como:

$$L_j^{k,3,2} = \delta \sigma B_j$$

En donde, δ representa el 66,6% de la biomasa, es decir $\delta = 0.666$ como también se indica en la sección 1.3; y los valores η, μ, σ son parámetros que indican el porcentaje de la biomasa clasificados como primera, segunda y mercado local, respectivamente, tal que $\eta + \mu + \sigma = 1$.

3.3.8 Función de Ingresos

El ingreso de una piscina productiva para una granja camaronera proviene de las libras que efectivamente se procesen en la empacadora. Por tanto, para una talla k específica y un tipo de producto c , el ingreso viene determinado por:

$$I_{i,j}^{k,q,c} = \sum_{q=1}^Q P_j^{k,q,c} L_j^{k,q,c}, \quad q = 1, 2, 3 \quad (4)$$

En donde:

- $I_{i,j}^{k,q,c}$: Ingreso obtenido durante un ciclo productivo que inicia en la semana i y culmina en la semana j , para la categoría k , producto c y calidad q .

- $P_j^{k,q,c}$: Precio en la semana de cultivo j para la categoría k , el tipo de producto c y la calidad q .
- $L_j^{k,q,c}$: Libras de camarón procesadas por la empacadora en la semana de cultivo j y clasificadas como talla k , calidad q y tipo de producto c .

Producto Entero

$$I_{i,j}^{k,1,1} = P_j^{k,1,1} L_j^{k,1,1}$$

$$I_{i,j}^{k,1,1} = P_j^{k,1,1} \rho B_j, \quad \forall k \quad (5)$$

Producto Cola

$$I_{i,j}^{k,q,2} = P_j^{k,1,2} L_j^{k,1,2} + P_j^{k,2,2} L_j^{k,2,2} + P_j^{k,3,2} L_j^{k,3,2}$$

$$I_{i,j}^{k,q,2} = P_j^{k,1,2} \delta \eta B_j + P_j^{k,2,2} \delta \mu B_j + P_j^{k,3,2} \delta \sigma B_j$$

$$I_{i,j}^{k,q,2} = \delta B_j (\eta P_j^{k,1,2} + \mu P_j^{k,2,2} + \sigma P_j^{k,3,2}), \quad \forall k \quad (6)$$

Por último, el ingreso total para para el set multi-cíclico factible H_m dentro de un horizonte de planeación \mathbf{T} puede ser expresado como:

$$IT_{H_m} = \sum_{h(i,j) \in H_m} (I_{i,j}^{k,q,c}), \quad H_m \in \mathbf{H} \quad (7)$$

En donde:

H_m : Conjunto de combinaciones de siembra y cosecha factibles dentro del periodo de planeación \mathbf{T} .

IT_{H_m} : Ingreso Total de todos los ciclos factibles dentro del periodo de planeación \mathbf{T} para una piscina productiva.

3.3.9 Restricciones para Ciclos Productivos

Se considera únicamente como una limitación de los ciclos productivos al tratamiento del suelo, con lo cual los productores ven limitadas las opciones de planeación factibles para una piscina productiva dentro de un periodo de planeación finito \mathbf{T} .

Tratar el suelo implica que una vez efectuada la cosecha, el suelo es tratado por un determinado tiempo “ d ”, el cual puede ser 0, 1,2 hasta n semanas, procedimiento en el cual

se efectúa el tratamiento y limpieza del suelo para que éste restablezca sus propiedades químicas y orgánicas. Cabe aclarar que este estudio no está enfocado en determinar cuál es el efecto del mantenimiento del suelo al rendimiento productivo, este tema podría ser temática para una futura investigación.

El tiempo “d” que toma el tratamiento del suelo desplazaría el total de sets factibles $h(i, j)$ sumando el tiempo “d” al inicio de la siembra posterior, es decir si el primer ciclo factible es $h(i_1, j_1)$ empezando en la semana i_1 y culminando en la semana j_1 , el posterior ciclo factible es $h(i_2, j_2)$, donde $i_2 = j_1 + d$, por tanto $h(i_2, j_2) = h(j_1 + d, j_2)$, etc. En consecuencia, el tiempo que tome el tratamiento al suelo puede reducir considerablemente el total de ciclos factibles dentro del periodo T .

3.3.10 El Problema de Planeación Óptimo

El objetivo es maximizar el total de ingresos de la producción de las piscinas disponibles a lo largo del periodo de planeación T . Entonces resulta que, el problema de planeación multi-cíclico para los estanques puede ser analizado como escoger un elemento de cada set de planeación para cada una de las n piscinas productivas, H^n , tal que las combinaciones de ciclos factibles puedan obtener el máximo ingreso. El problema de la maximización puede ser representado como:

$$\text{Max} \sum_{n=1}^N \sum_{H \in H^n} \left(\sum_{q=1}^Q I_{i,n,j}^{k,q,c} \right), \quad \forall q, \forall c, \forall n \quad (8)$$

Sujeto a:

- *Restricciones de tratamiento del suelo*
- $j_{\text{máx}}^1 \leq T$
- ⋮
- $j_{\text{máx}}^n \leq T^5$

⁵ Esta restricción indica que la fecha máxima de cosecha, $j_{\text{máx}}^n$, de la n ésima piscina sea menor a o igual al periodo de planeación T .

Luego de presentar el modelo como una función a optimizar, existen dos problemas inherentes a esta formulación los cuales son:

- La no linealidad de la función de ganancia de peso del camarón (1).
- Aún si se lograra linealizar o adoptar un enfoque de optimización no lineal, aún permanece el problema de la formulación de programación entera 0-1.

Si una variable binaria indica 1 cuando se toma la decisión de “cosechar o de volver a sembrar” y 0 “cualquier otro caso”. El dominio de posibilidades para los ciclos factibles para N estanques y T unidades temporales es de 2^{NT} , (Run Yu y P. Leung, 2005). Es decir, para un estanque productivo y un horizonte de tiempo de 52 semanas (1 año), las posibilidades de ciclos factibles son de $2^{(1)(52)} = 4.503599627 \times 10^{15}$, lo que genera un costo computacional elevado incluso para la computadora más rápida.

Acorde a Run Yu y a P. Leung (2005), esta formulación es conocida como un problema de programación entera NP-Hard⁶, un tipo de problema NP⁷, la cual resulta ser impráctica para poder encontrar una solución al problema de planeación en (8).

La representación en un flujo de redes operacionales resulta ser una forma eficiente para manejar este tipo de problema entero discreto y así encontrar la estrategia de planeación óptima (F. Glover, D. Klingman, N.V. Phillips, 1992).

3.4 Representación de Redes Operacionales

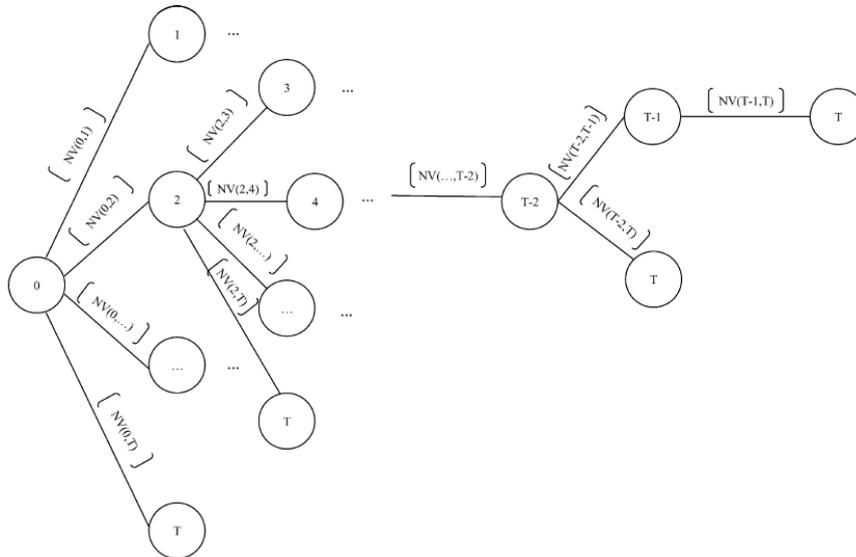
3.4.1 Representación en forma de árbol de decisión

La representación del problema de planeación óptima por medio de una forma de árbol de decisión ilustra todas las combinaciones de planeación óptima, donde el i-ésimo nodo tiene T – i ramas. NV (i, j) indican los ingresos IT (i, j) relacionados a cada ciclo productivo h (i, j); y con el fin de maximizar los ingresos totales, se escogerá la rama en la cual la suma de sus ingresos totales provenientes de cada ciclo h (i, j) sea mayor. Run Yu y P. Leung (2005).

⁶ NP-Hard son aquellos problemas cuya resolución es al menos tan compleja como un problema NP.

⁷ NP es el conjunto de problemas que pueden ser resueltos en tiempo polinómico por una máquina de Turing o no determinista.

Gráfico 7- Representación de la estructura de redes en forma de árbol



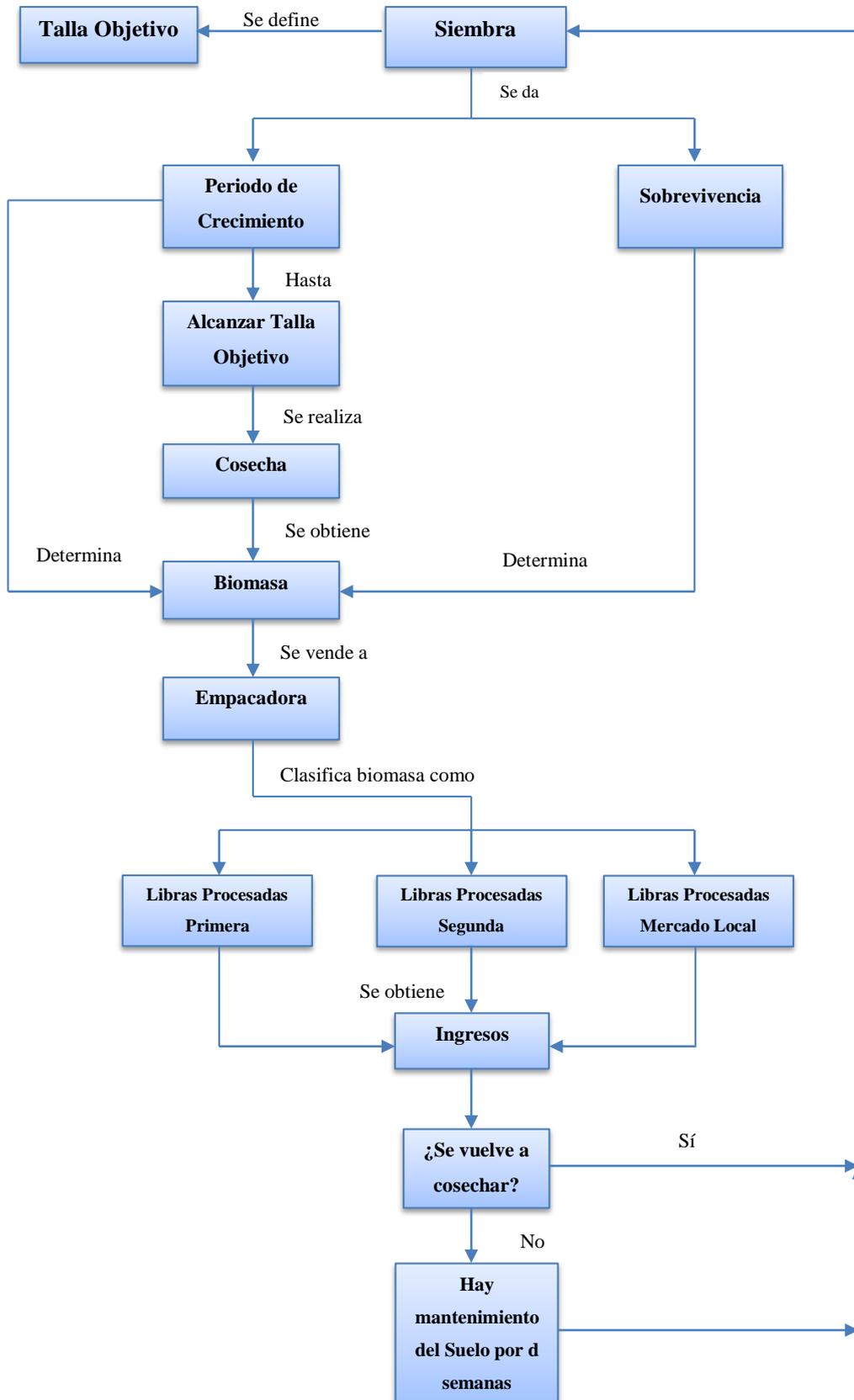
Fuente: Run Yu y PingSun Leung, 2005

3.4.2 Supuestos

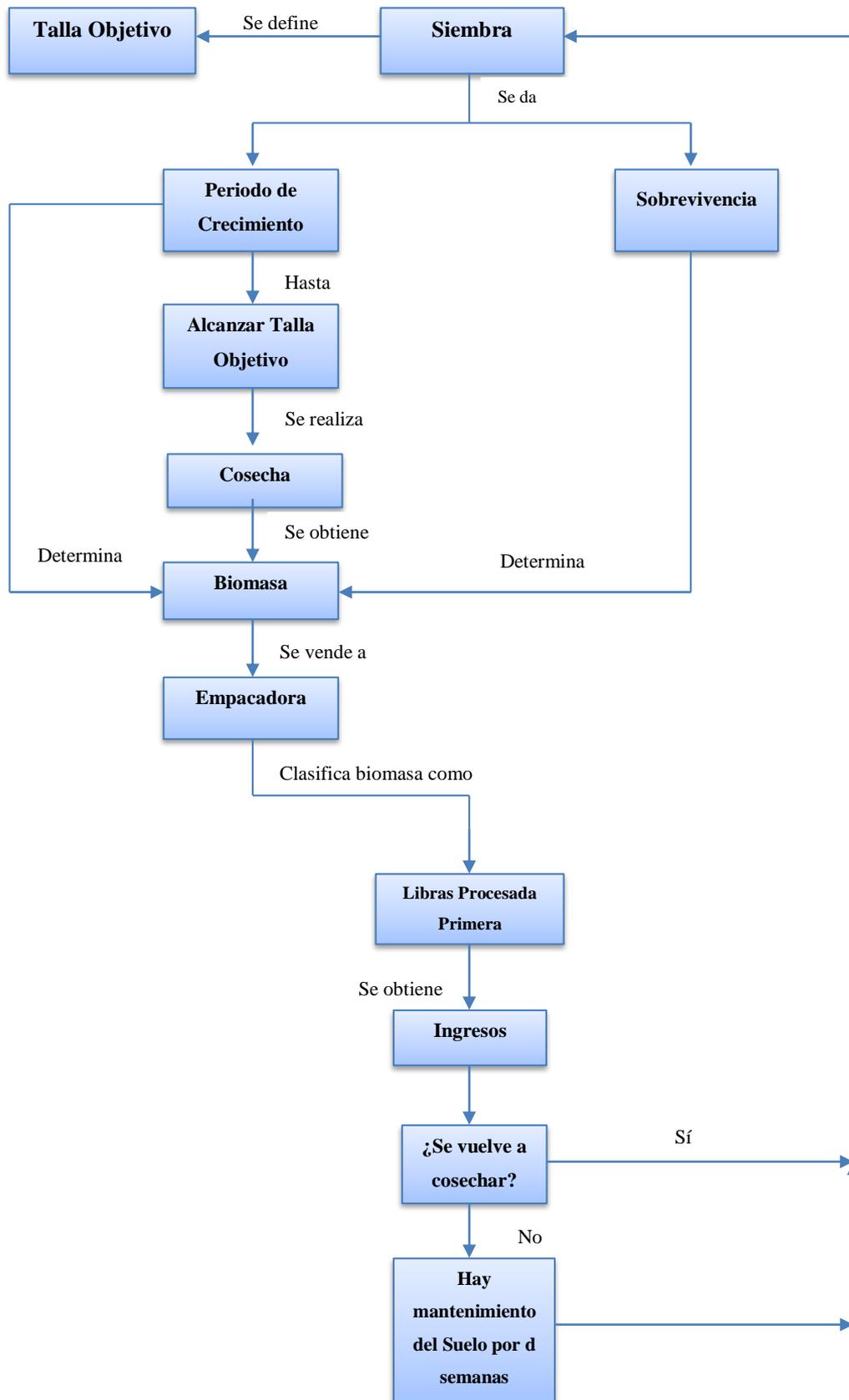
- La administración venderá la biomasa cosechada a una empacadora típica nacional.
- El proceso de maximización está contemplado dentro de un periodo máximo de $T=52$ semanas (Año 2016).
- La fecha de cosecha de algún ciclo productivo no podrá exceder el horizonte de planeación $T=52$ semanas; si esto ocurre, como consecuencia ese ciclo productivo no es considerado para el proceso de maximización dentro de ese periodo de planeación, sino más bien de un periodo de planeación consecutivo.
- El productor decide por cuantas semanas efectuará la limpieza y tratamiento del suelo “d”.
- La decisión de cosechar se da cuando el camarón alcancé una talla específica “k” determinada por la administración.
- La producción final de cada estanque productivo no varía en tamaño, es decir la biomasa no es clasificada en más de dos tallas a la vez.

- La distribución de la calidad primera, segunda y mercado local para cada piscina productiva se mantiene constante en cada ciclo productivo a lo largo del periodo de planeación.
- El patrón de ganancia de peso promedio del camarón y la sobrevivencia promedio propios de cada estanque productivo serán en promedio los mismos en cada ciclo productivo durante todo el periodo de planeación, pero serán diferentes entre cada piscina.

3.4.3 Diagrama de Flujo del Proceso del Producto Cola



3.4.4 Diagrama de Flujo del Proceso del Producto Entero

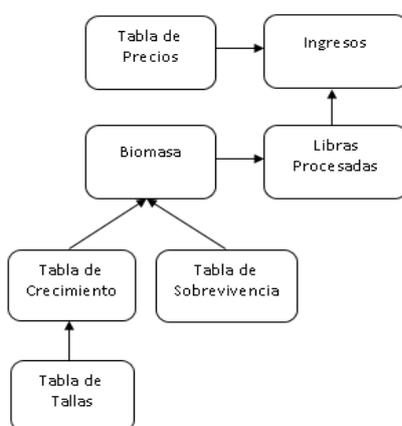


3.4.5 Modelo de Programación Lineal

Como se mencionó previamente, tanto la no linealidad de la función de crecimiento y el inherente problema de programación entera NP – Hard son obstáculos que impiden la resolución del modelo plantado en (8).

Acorde a Run Yu y P. Leung (2005), una forma de remediar la complejidad latente en el modelo es emplear vectores (tablas) que contengan información concerniente a las tallas, crecimiento, precios y la sobrevivencia.

Gráfico 8- Evaluación de los Ingresos mediante el uso de tablas de información



Elaborado por el Autor

Contener la información en vectores o tablas viabiliza la resolución del problema planeación óptima al eliminar la no linealidad de las variables. La figura 3.2 ilustra la manera en la que se puede computar el ingreso mediante la utilización de tablas.

Aplicar el supuesto de cosechar cuando el camarón alcance alguna talla “k” reduce considerablemente el total de combinaciones para los ciclos productivos, ya que las posibles semanas en las que se alcanza la talla k dependen del peso mínimo y máximo del camarón para que sea clasificado como dicha talla como se describe en los cuadros 1 y 2. Por ejemplo, si se decide cosechar cuando el camarón alcance la talla 41-50 implica que el ejemplar debe tener un peso que oscile entre 14 y 18 gramos. En cuanto a las fechas tentativas de cultivo, estas serán aquellas en las que el camarón alcance un peso comprendido en ese rango lo que disminuye el abanico de combinaciones $h(i, j)$ dentro del horizonte de planeación.

Ambos supuestos convierten al problema de planeación en un modelo de programación lineal que puede ser escrito y resuelto en cualquier software de programación matemática.

3.5 Datos

La fuente de información para este estudio proviene de una camaronera ubicada en la Isla Puna de la cual se obtuvo data de 2 piscinas productivas denominadas “4 y “30” durante el año 2016. Aunque la compañía posee más de 30 estanques productivos, esta concedió información de las 2 piscinas antes mencionadas. Cabe mencionar que los 2 estanques no poseen ningún tipo de *cosecha parcial o raleo*² en cada ciclo productivo, lo que podría afectar la aplicabilidad del modelo a emplear dado que efectuar cosechas parciales alteraría la biomasa provocando saltos en la población cuando el crecimiento de los camarones es dependiente de la *densidad*³. Ante una situación de cosecha parcial, Yu y Leung, 2006, plantean un método para determinar una planeación óptima mediante Teoría de Control Óptimo Impulsivo la cual estaría basada en ecuaciones diferenciales. Hecha la observación anterior, la información disponible se encuentra libre de cosechas parciales lo que permitiría la ejecución de un modelo de programación lineal sin ningún tipo de salto en la biomasa.

Finalmente, existe un acuerdo de confidencialidad de la compañía camaronera y el autor de esta tesis.

3.5.1 Ganancia de Peso

Para la variable peso, la compañía camaronera cuenta con un control semanal del peso promedio del camarón, medido en gramos, el cual es tomado mediante una muestra representativa desde que se siembra hasta que finaliza el ciclo productivo. Este procedimiento es aplicado durante cada ciclo productivo en cada piscina productiva durante el año 2016.

3.5.2 Sobrevivencia

La sobrevivencia procede de los registros que la compañía posee al sembrar una cantidad específica de larvas al empezar el ciclo productivo en cada piscina productiva en la semana i y del número de ejemplares sobrevivientes al finalizar el ciclo productivo en la semana j .

3.5.3 Precios

Los precios en cada semana de cultivo *j* se derivan de las *liquidaciones*⁸ en cada cosecha, los cuales son clasificados por tallas, tipo de producto y calidad. Se procedió a tomar la información y digitalizarla en una base de datos para obtener los precios en las semanas de cultivo *j* procedente de las liquidaciones de una empacadora típica. Sin embargo, para fines de esta investigación se necesitan los precios semanales durante las 52 semanas y no únicamente en las fechas donde se cosecharon las piscinas 4 y 30 durante el año 2016. Para ello se requiere la serie de 52 precios locales en cada talla por lo que se utilizó información procedente de los precios internacionales de la página de *Urner Barry*⁹ para el año 2016.

3.5.4 Descuentos

Los descuentos efectuados al precio por motivo de calidad están descritos en las liquidaciones. Una empacadora tiene una política de descuentos que es fija o variable.

3.5.5 Caracterización de las Piscinas Productivas

Antes de nada es importante indicar que la compañía camaronera sigue una metodología de producción y de planeación definida por la administración basada en mecanismos de “prueba y error” y en las condiciones del mercado, precios. Así mismo, la administración no cuenta con una política de cosecha definida; en otras palabras, no poseen una talla ni producto objetivo que pueda indicar en que momento vender su producción.

A demás, cabe indicar que la compañía camaronera no sigue una estandarización en cuanto a factores de siembra como procedencia de las larvas de camarón y densidad de ejemplares sembrados entre estanques lo que provoca que la dinámica de ganancia de peso y la sobrevivencia sean diferente entre estanques.

⁸ Las liquidaciones son un documento entregado por la empresa empacadora que recibió el camarón para ser procesado, donde se presentan los precios, libras procesadas y los ingresos detallándolos por talla, tipo y calidad.

⁹ Urner Barry es una empresa editorial que publica información de mercado relacionado con carnes rojas, aves, huevos y mariscos, a través de su información en su sitio web, en los cuales se ofrecen análisis de perspectivas de los mercados, riesgos y precios históricos.

En vista de lo expuesto, para tener una mejor visión de los estanques que se van a utilizar para el modelo de planeación óptima es fundamental establecer una descripción breve de cada piscina disponible.

En el siguiente cuadro se describen variables de interés calculadas como el promedio durante el año 2016 para las piscinas 4 y 30.

Cuadro 3 - Descripción de las Piscinas Productivas

Piscinas	Peso Promedio de Cosecha	Promedio de Larvas Sembradas	Sobrevivencia Promedio	Número de ciclos en el año	Semanas de cultivo Promedio	Extensión (Ha)	Total Biomasa Cosechada (Libras)
4	17.65 gr	2'782,689	43%	3	15.28	20.95	123,058
30	16.73 gr	1'417,435	46%	3	14.38	11.2	57,139

Fuente: Compañía Camaronera

Elaborado por el autor

En lo que respecta a la manera de cómo se obtuvo cada variable, la compañía calcula tanto el peso promedio de cosecha, el promedio de larvas sembradas, la sobrevivencia promedio, y las semanas de cultivo promedio, como la media de cada variable durante todos los ciclos productivos a lo largo del año 2016. Referente a las semanas de espera promedio, el número de semanas promedio entre el final de un ciclo y el inicio del siguiente ciclo productivo debido al tratamiento del suelo durante el 2016 es de 1 semana aproximadamente acorde a la administración. En lo tocante al número de ciclos en el año, este indica el número de cosechas efectuadas en cada estanque productivo a lo largo del periodo.

Después de lo anterior expuesto, la piscina 4 es cultivada cuando el camarón alcanza un peso promedio de 17.65 gramos lo que según los cuadros 1 y 2 el crustáceo alcanza las tallas 41-50 en cola y 50-60 en entero; mientras que el estanque 30 es cosechado cuando el camarón alcanza un promedio de 16.73 gramos y es clasificado como 41-50 en cola y 60-70 en entero.

En lo tocante a la extensión, existe una diferencia de 9.75 hectáreas entre ambas piscinas, por esta razón el estanque 4 permite la siembra de una mayor cantidad de ejemplares. La información con respecto a la biomasa total cosechada se relaciona directamente a la extensión y al número de ejemplares sembrados lo que se traduce en una mayor producción para el estanque 4.

Paralelamente, cada estanque productivo puede ser caracterizado mediante la distribución de calidad o clase del producto acorde a la información proporcionada por la compañía durante el año 2016 como se detalla en los siguientes cuadros.

Cuadro 4 - Distribución de Clases Piscina 4

Clase	Libras Procesadas	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Primera	98515.64	88.97%	88.97%
Segunda	9822.93	8.87%	97.84%
Mercado Local	2390.65	2.16%	100.00%
Total	110729.22		

Fuente: Compañía Camaronera
Elaborado por el autor

Cuadro 5- Distribución de Clases Piscina 30

Clase	Libras Procesadas	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Primera	39552.61	82.69%	82.69%
Segunda	7393	15.46%	98.14%
Mercado Local	887.68	1.86%	100.00%
Total	47833.29		

Fuente: Compañía Camaronera
Elaborado por el autor

En ambos cuadros se puede apreciar que a pesar de que la granja camaronera no posee una estandarización en sus procesos productivos, su producción ha sido clasificada en su mayoría como calidad primera.

3.6 Técnicas de Análisis de Datos

Luego de obtener la información se procedió a analizar y estimar los precios nacionales en el software estadístico STATA¹⁰. En cuanto a la estimación del crecimiento del camarón mediante la ecuación Von Bertalanffy se aprovechó el software Excel a través de las técnicas de análisis de datos; y para plantear el modelo de planeación óptima se usó el software Wólffram Mathematica¹¹.

De esta forma se podrán presentar cuadros, cifras y la respectiva interpretación de los resultados. Finalmente, se presentarán las conclusiones y recomendaciones.

¹⁰STATA es un paquete de software estadístico utilizado para la investigación de análisis estadísticos, simulaciones y gestión de data en ramas como la economía, ciencias sociales, epidemiología, etc.

¹¹Wólffram Mathematica es un software que cuenta con un lenguaje de programación propio que es ampliamente usado en áreas como la ingeniería, computación y matemáticas.

CAPÍTULO 4

4. PROCEDIMIENTO

Una vez que se ha expuesto la formulación matemática, supuestos, la procedencia de la información y el mecanismo de redes operacionales; en este capítulo se presentan los pasos a seguir para encontrar las respectivas estimaciones, el procedimiento para contabilizar los ciclos productivos factibles y un análisis de cómo las diferentes decisiones administrativas podrían afectar el problema de planeación óptima.

4.1 Determinación de la Talla y el Tipo de Producto a Cosechar

Una vez que se estableció el supuesto de que el administrador fija la talla a la que desea vender el camarón. Con el objetivo de demostrar la aplicabilidad del modelo se ha estipulado que el productor podrá vender en los siguientes escenarios:

- Tipo de Producto: **Entero** - Tallas: **40-50, 50-60, 60-70**

Es decir, el administrador tomará la decisión de cosechar cuando el camarón alcance – en un análisis de escenarios – las tallas 40-50, 50-60 y 60-70. De esta manera, el administrador podrá evaluar diferentes alternativas de políticas administrativas dentro del periodo de planeación T.

Como una forma de aprovechar el modelo de esta investigación, se plantea evaluar escenarios, cuyas tallas determinadas por la administración serían:

- Tipo de Producto: **Cola** - Tallas: **31-35, 36-40, 41-50**

Es decir, el administrador tomará la decisión de cosechar cuando el crustáceo alcance – en un análisis de escenarios – las tallas 31-35, 36-40 y 41-50.

Definir la talla a cosechar permite disminuir el universo de combinaciones de ciclos factibles $h(i, j)$ y evitar un alto costo computacional al momento de realizar las simulaciones en el software.

4.2 Estimación Variables Relevantes

En esta sección se procederá a detallar los métodos de estimación empleados para las variables implícitas en el modelo.

4.2.1 Peso

Para comprender el mecanismo de estimación del peso del camarón en cada piscina productiva se debe tener en cuenta la procedencia de los datos de crecimiento. Cabe recordar que la empresa camaronera durante el año 2016 calcula el peso semanal al tomar una muestra representativa donde se estima el peso promedio en cada semana del ciclo productivo, desde la semana que inicia la siembra hasta la semana que se cosecha, es decir si el ciclo productivo es de n semanas, entonces habrán n número de datos de pesos promedios.

Dada la información suministrada por la compañía camaronera, cada piscina productiva posee diferentes periodos de cultivo, esto es, el número de semanas entre siembra y cosecha en cada ciclo productivo difiere. Por ende, para fines de estimación en cada piscina productiva se tomará el menor número de semanas entre los ciclos productivos. El número de semanas de los ciclos productivos varía entre 12 y 16 semanas lo que permite tener un mínimo de 12 datos y un máximo de 16 datos para el peso semanal.

Con el propósito de estimar los parámetros de la ecuación Von Bertalanffy de la función ganancia de peso, se determinará los parámetros que minimicen la suma cuadrática residual mediante mínimos cuadrados no lineales.

Es necesario tomar en cuenta que se cuenta con información limitada para estimar los parámetros; por consiguiente conocer la significancia estadística de los parámetros no es factible debido a que se cuentan con $(n - 4)$ grados de libertad. Por esta razón, con el propósito de valorar la aplicabilidad del modelo de planeación, la significancia estadística de los parámetros es un tema para una futura investigación y solo se considerará a los parámetros para fines de estimación al obtener el mejor ajuste al peso promedio real.

Una vez mencionadas las implicaciones para la estimación del peso del camarón, los pasos a seguir son los siguientes.

Primer Paso

Por piscina productiva y según el ciclo productivo se ubica el crecimiento semanal promedio a la semana t . A continuación, para fines explicativos se usará la información de la piscina número 4 en la siguiente tabla.

Gráfico 9- Organización de la información por ciclo productivo

Ciclo # 1		Ciclo # 2		Ciclo # 3	
Semana	Peso Promedio (Gramos)	Semana	Peso Promedio (Gramos)	Semana	Peso Promedio Gramos
1	3.02	1	1.51	1	4
2	3.29	2	2.7	2	4.46
3	4.49	3	4	3	6.2
4	6.26	4	5.4	4	7.9
5	6.61	5	6.8	5	8.9
6	7.96	6	8.63	6	10.2
7	9.76	7	10.5	7	11.7
8	10.93	8	13.18	8	12.95
9	11.86	9	13.63	9	14.97
10	12.74	10	15.69	10	15.9
11	14.28	11	16.7	11	16.95
12	16	12	18.07	12	17.95
		13	18.53	13	18.83
		14	19.55		
		15	20.65		

Elaborado por el autor

Segundo Paso

Debido a que los tiempos de cosecha difieren, en el ciclo número 1 la fase de crecimiento termina en la semana 12, en el ciclo número 2 se cosecha en la semana 15 y en el ciclo número 3 se cosecha en la semana 13. En consecuencia, se procede a tomar el menor periodo de cosecha entre los ciclos, en este caso los tres ciclos serán estandarizados a la semana 12.

Gráfico 10 - Estandarización de la semana de cosecha

Ciclo # 1		Ciclo # 2		Ciclo # 3	
Semana	Peso Promedio (Gramos)	Semana	Peso Promedio (Gramos)	Semana	Peso Promedio Gramos
1	3.02	1	1.51	1	4
2	3.29	2	2.7	2	4.46
3	4.49	3	4	3	6.2
4	6.26	4	5.4	4	7.9
5	6.61	5	6.8	5	8.9
6	7.96	6	8.63	6	10.2
7	9.76	7	10.5	7	11.7
8	10.93	8	13.18	8	12.95
9	11.86	9	13.63	9	14.97
10	12.74	10	15.69	10	15.9
11	14.28	11	16.7	11	16.95
12	16	12	18.07	12	17.95

Elaborado por el autor

Tercer Paso

Para procedimiento de estimación se tomará el crecimiento promedio entre ciclos a la i-ésima semana.

Gráfico 11- Cálculo del Promedio Entre Ciclos

Ciclo # 1		Ciclo # 2		Ciclo # 3		Promedio Entre Ciclos	
Semana	Peso Promedio (Gramos)	Semana	Peso Promedio (Gramos)	Semana	Peso Promedio (Gramos)	Semana	Peso Promedio Real (Gramos)
1	3.02	1	1.51	1	4	1	2.84
2	3.29	2	2.7	2	4.46	2	3.48
3	4.49	3	4	3	6.2	3	4.90
4	6.26	4	5.4	4	7.9	4	6.52
5	6.61	5	6.8	5	8.9	5	7.44
6	7.96	6	8.63	6	10.2	6	8.93
7	9.76	7	10.5	7	11.7	7	10.65
8	10.93	8	13.18	8	12.95	8	12.35
9	11.86	9	13.63	9	14.97	9	13.49
10	12.74	10	15.69	10	15.9	10	14.78
11	14.28	11	16.7	11	16.95	11	15.98
12	16	12	18.07	12	17.95	12	17.34

Elaborado por el autor

En la columna promedio entre ciclos a la semana 1, el crecimiento promedio es calculado mediante el promedio del crecimiento a la primera semana entre los tres ciclos, es decir $\left(\frac{3.02+1.51+4}{3}\right) = 2.84$ gramos.

Cuarto Paso

Una vez que se ha definido el promedio entre ciclos a la i-ésima semana, esta serie será la data necesaria para realizar la estimación de los parámetros de la ecuación Von Bertalanffy en (1) mediante una regresión de mínimos cuadrado no lineales con la ayuda del programa complemento de Microsoft Excel, Solver, empleando el método de resolución GRG Nonlinear.

4.2.2 Sobrevivencia

Al considerar la sobrevivencia se utiliza la función lineal descrita previamente en (2), para la cual se considera el número promedio de post larvas sembradas entre ciclos en la semana i y el número promedio de ejemplares cosechados entre ciclos en la semana j para una piscina productiva.

Por ejemplo, para la piscina 4 el número promedio de ejemplares sembrados entre ciclos a la semana $t=0$ es 2'782,689 ejemplares, mientras que el número de promedio de camarones cosechados entre ciclos es 1'196,556.27 en un periodo promedio de cultivo de $t=15.28$ semanas. Ambos puntos permiten determinar una función lineal que permite modelar la sobrevivencia.

4.2.3 Precios

En cuanto a los precios se dispone de la información de los precios locales del año 2016 para los productos entero o cola según las diferentes tallas.

En vista que se cuenta con la información de los precios internacionales promedios provenientes de la página de Urner Barry del año 2016, esta se aprovechará para determinar los precios locales promedio mediante una regresión lineal simple con el apoyo del software estadístico STATA. En otros términos, acorde a la talla y tipo de producto se estimará una regresión en base a los datos disponibles de las ventas de la compañía camaronera a una empacadora típica a precios locales de calidad primera en las semanas que se efectuaron las cosechas junto con la información de los precios internacionales Urner Barry a las mismas fechas:

$$\begin{aligned} \text{Precio Nacional}_t^{\text{Cola}} &= \alpha + \beta \text{Precio Internacional}_t^{\text{Cola}} + \theta_1 \text{Talla}_{26_30} + \theta_2 \text{Talla}_{31_35} \\ &+ \theta_3 \text{Talla}_{36_40} + \theta_4 \text{Talla}_{41_50} + \theta_5 \text{Talla}_{51_60} + \theta_6 \text{Talla}_{61_70} + \theta_7 \text{Talla}_{71_90} \\ \text{Precio Nacional}_t^{\text{Entero}} &= \eta + \sigma \text{Precio Internacional}_t^{\text{Entero}} + \rho_1 \text{Talla}_{30_40} \\ &+ \rho_2 \text{Talla}_{40_50} + \rho_3 \text{Talla}_{50_60} + \rho_4 \text{Talla}_{60_70} + \rho_5 \text{Talla}_{70_80} \end{aligned}$$

En donde las variables Talla son variables binarias que indican 1 si se trata de la talla respectiva y 0 en cualquier otro caso.

Así, se puede detallar la serie de los precios locales para las tallas a evaluar y el tipo de producto que posibilitará el cálculo de los ingresos. Cabe mencionar que el descuento aplicado a los precios como política de la empacadora es de \$0.5 a la calidad segunda y de \$0.85 a la calidad mercado local. Es importante mencionar que la manera en la que se estima los precios nacionales permite capturar la estacionalidad propia de los precios en el mercado internacional durante el año 2016.

4.3 Determinación de las Fechas Tentativas de Cosecha

La mejor forma de explicar el procedimiento a emplear para determinar las fechas tentativas de cosecha es por medio de un ejemplo.

Para ello se tomará la piscina número 4 y se definirá la talla a cosechar, en este caso la talla 31-35, y el tipo de producto cola. Una vez fijada la talla a cosechar, se debe tomar en consideración que el camarón alcanzará la talla 31-35 cuando este tenga un peso mayor a 20 gramos y menor a 24 gramos. Para el respectivo peso del camarón se empleará la ecuación Von Bertalanffy que se estimó por mínimos cuadrados no lineales.

Gráfico 12 - Clasificación de Tallas Producto Cola según el Peso

Piscina Número 4		
Semana	Peso (Gramos)	Talla
1	1.73	Juvenil
2	3.38	Juvenil
3	4.95	Juvenil
4	6.48	111-130
5	7.95	91-110
6	9.38	71-90
7	10.77	61-70
8	12.11	51-60
9	13.41	51-60
10	14.67	41-50
11	15.90	41-50
12	17.08	41-50
13	18.24	36-40
14	19.36	36-40
15	20.44	31-35
16	21.50	31-35
17	22.52	31-35
18	23.51	31-35
19	24.48	26-30
20	25.42	26-30
21	26.33	26-30
22	27.21	26-30

Elaborado por el autor

A medida que el camarón crece es clasificado según la talla correspondiente y como se puede apreciar el camarón es definido como una talla 31-35 entre las semanas 15, 16, 17 y 18. Ante el supuesto de que la ganancia de peso promedio es el mismo en cada ciclo productivo, este patrón se repite para esta piscina durante todo el periodo de planeación de 52 semanas lo que permite calcular las fechas tentativas de cosecha.

La semana 15 sería la mínima semana en la que el camarón alcance la talla 31-35, mientras que la semana 18 sería la máxima semana en la que el camarón alcance dicha talla. En base a esto, si el camarón es cosechado en el primer ciclo productivo en la semana 15 existe la posibilidad de volver a cosechar, si no existiera tratamiento del suelo, en el siguiente ciclo productivo en la semana $15+15=30$; por el contrario, si se cosecha en la semana 18 en el primer ciclo productivo existe la oportunidad de cosechar, si no existiera tratamiento del suelo, en la semana $18+18=36$, lo que permite obtener un rango de fechas tentativas para el segundo ciclo productivo de las semanas 30 a la 36. Bajo el mismo argumento para el tercer ciclo productivo se podría cosechar en la semana $30+15=45$ hasta la semana $36+18=54$; no obstante para el tercer ciclo productivo existe un rango que sobrepasa el periodo de planeación de 52 semanas por lo que para este último ciclo se tomará únicamente como fechas tentativas las semanas desde la 46 hasta la 52. De esta forma, se conoce que para esta piscina productiva el máximo de cosechas en un año son 3.

Gracias a los supuestos y al mecanismo empleado se puede obtener el total de posibilidades de fechas tentativas de cosechas mediante una permutación. Si existen 4 fechas posibles dentro del rango de posibilidades {15, 16, 17, 18}, el total de fechas tentativas será de $(4*4*4) = 64$.

4.4 Ciclos Productivos

Para tener una idea clara de cómo estarían definidos los ciclos, estos dependerán de la talla a cosechar y del tiempo que destine el administrador a la limpieza y mantenimiento al suelo posterior a la cosecha en cada ciclo productivo.

En el caso hipotético de que no exista mantenimiento del suelo, la siembra en el siguiente ciclo productivo empieza automáticamente en la fecha de cosecha del ciclo productivo anterior, dicho de otra forma, si la planeación se realiza sin mantenimiento del suelo, los ciclos productivos serían {h (0,15), h (15,30), h (30,45)} considerando un periodo de ganancia de peso entre siembra y cosecha de 15 semanas en cada ciclo.

Por otro lado, si existe mantenimiento del suelo posterior a las fechas de cosecha definido en un periodo de semanas “d”, por ejemplo, $d = 1$; la planeación de ciclos productivos cambiaría a {h (0,15), h (16,31), h (32,47)}. De esta forma luego de cosechar en el primer ciclo en la semana 15 el administrador tratará el suelo durante una semana y procederá a sembrar en la semana 16. En el segundo ciclo al cosechar en la semana 31 el administrador tratará el suelo por una semana y sembrará en la semana 32 para iniciar el

tercer ciclo. El mismo argumento se tomaría en consideración cuando el administrador decida tratar el suelo por un periodo de dos o más semanas.

4.5 Maximización de Ingresos – Planeación Óptima

Como se mencionó en el capítulo previo, de todo el conjunto de ciclos factibles para una piscina productiva se escogerá aquellos que dentro del periodo de planeación maximicen los ingresos para la compañía para el periodo de planeación de 52 semanas del año 2016.

Para el desarrollo del problema de maximización se hace uso del software Wólfram Mathematica, en el cual se va a programar el modelo de planeación óptima descrito en (4) como un modelo de programación lineal. Una vez desarrollada la programación del modelo, este evaluará los ingresos de todas las combinaciones de ciclos factibles $\mathbf{h}(\mathbf{i}, \mathbf{j})$ tal que, aquellos ciclos factibles que maximicen los ingresos para cada piscina productiva dentro del periodo de planeación serán considerados dentro el set de planeación óptima \mathbf{H} que asegure los mayores ingresos para la compañía camaronera. Si una camaronera cuenta con más de un estanque productivo, el problema de planeación óptimo se resume a escoger un elemento del set de planeación multicíclico factible \mathbf{H}^n de cada estanque n tal que la combinación de los elementos seleccionados de cada set \mathbf{H}^n produzcan el máximo ingreso posible bajo la restricción temporal del set \mathbf{T} y de las restricciones de ciclos productivos debido al mantenimiento del suelo. Run Yu y P. Leung (2005).

El procedimiento de maximización consiste básicamente en determinar aquellos nodos temporales o fechas de siembra y cosecha en cada estanque que produzcan el mayor ingreso. Cabe indicar que los sets de planeación factible \mathbf{H} entre estanques no dependen entre si ya que cada estanque posee su propia dinámica de crecimiento lo que ocasiona que la planeación óptima entre piscinas difiera. De esta forma, el modelo de programación lineal generará todas las combinaciones posibles de siembra y cosecha para cada estanque tal que la maximización descrita en (8) equivale a la suma de la maximización de cada piscina productiva.

La maximización en esta investigación contará con distintos escenarios entre ellos tres tipos de talla objetivo 40-50, 50-60 y 60-70 para el producto entero, tres tipos de talla objetivo 31-35, 36-40 y 41-50 para el producto cola; y una evaluación del modelo ante 0 y

1 semana de mantenimiento al suelo para observar cómo estas decisiones administrativas cambian los ciclos de planeación óptima ante estos factores.

En cuanto a la distribución de la calidad del camarón para el producto cola, se tomará como referencia los porcentajes históricos obtenidos por la compañía camaronera de 85% para la primera calidad ($\eta = 0.85$), 10% para la segunda calidad ($\mu = 0.1$) y 5% para el mercado local ($\sigma = 0.05$), los cuales fueron proporcionados por la compañía en una entrevista personal.

Cabe añadir que una vez que se seleccione el mejor escenario se presentará un ranking de los ingresos en un orden de mayor a menor según el ciclo de planeación respectivo. De esta manera el administrador puede tener alternativas de planeación ante la posibilidad de que la planeación óptima no sea viable por motivos ajenos al modelo.

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS

En el presente capítulo se expondrán los resultados de las estimaciones de las funciones implícitas en el modelo como el crecimiento, la sobrevivencia y los precios; y por último un análisis de escenarios al problema de planeación óptima de los ciclos productivos.

5.1 Función Ganancia de Peso

Una vez precisada la metodología y el procedimiento a usar para estimar la función de ganancia de peso en cada estanque productivo se presentan los resultados obtenidos de los parámetros de la ecuación Von Bertalanffy (1) y así proceder a calcular el peso esperado a la semana t . Cabe acotar que las diferencias en la dinámica de ganancia de peso entre estanques es un tema que sería muy interesante estudiarlos a profundidad en otra investigación.

5.1.1 Ganancia de Peso - Piscina 4

Los resultados obtenidos de los parámetros de la ecuación de ganancia de peso Von Bertalanffy que ofrecen el mejor ajuste para el peso real promedio de la piscina 4 son:

Cuadro 6 - Parámetros de Ganancia de Peso para Piscina 4

Estanque 4	Parámetros
W_{INF}	57.411
b	0.980
k	0.0286
t_0	0.000

Fuente: Compañía Camaronera

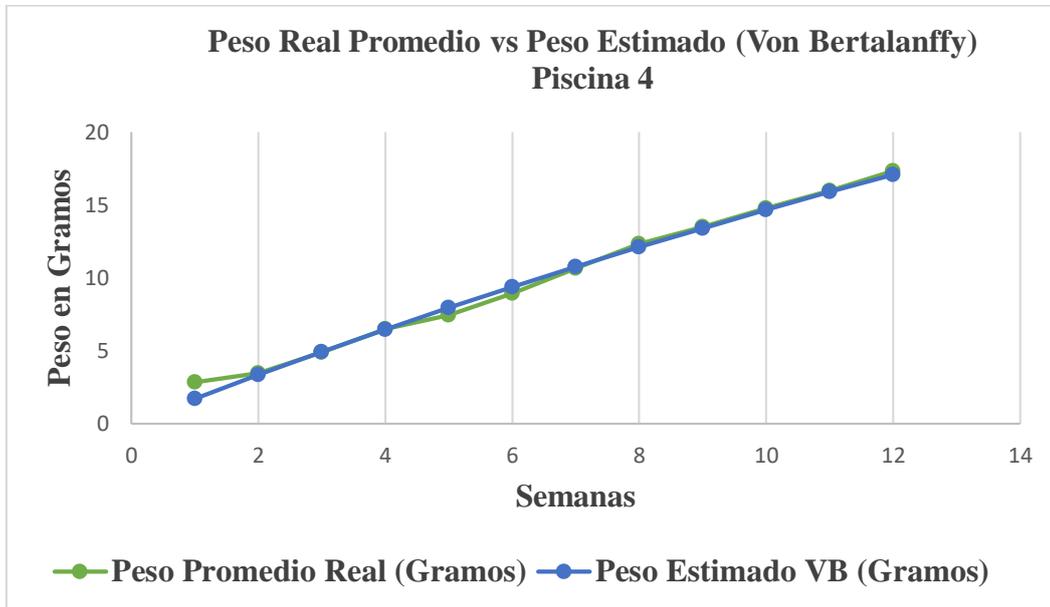
Elaborado por el autor

En base a lo anterior expuesto, la ecuación de ganancia de peso estimado Von Bertalanffy para la piscina 4 es:

$$W_t = 57.411[1 - e^{-0.0286[t]}]^{0.98}$$

La información concerniente al peso promedio por ciclo del estanque 4 se encuentra en el Anexo 1.

Gráfico 13 - Peso Promedio Real vs Peso Estimado Von Bertalanffy - Piscina 4



Fuente: Compañía Camaronera
Elaborado por el autor

5.1.2 Ganancia de Peso - Piscina 30

Los resultados obtenidos de los parámetros de la ecuación de ganancia de peso Von Bertalanffy que ofrecen el mejor ajuste para el peso real promedio de la piscina 30 son:

Cuadro 7- Parámetros de Ganancia de Peso para Piscina 30

Estanque 4	Parámetros
W_{INF}	65.01
b	1.19
k	0.030
t_0	0.000

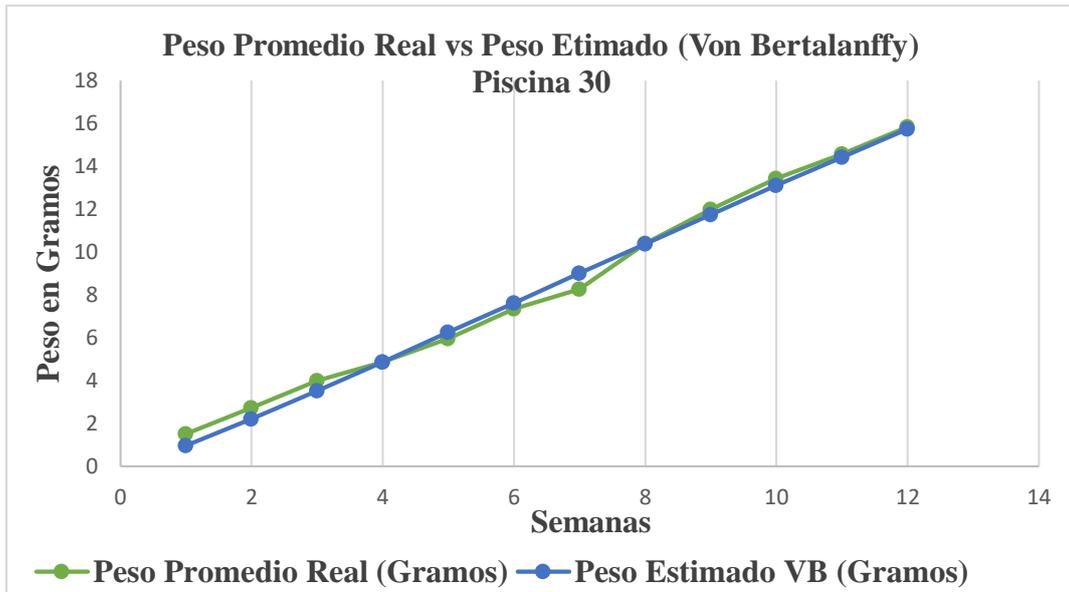
Fuente: Compañía Camaronera
Elaborado por el autor

La ecuación del peso estimado Von Bertalanffy para la piscina 30 es:

$$\widehat{W}_t = 65.01[1 - e^{-0.03[t]}]^{1.19}$$

La información de concerniente al peso promedio real del estanque 30 se encuentra en el Anexo 2.

Gráfico 14 – Peso Promedio Real vs Peso Estimado Von Bertalanffy Piscina 30



Fuente: Compañía Camaronera

Elaborado por el autor

Luego de haber obtenido los resultados de la estimación de la ecuación Von Bertalanffy para ambos estanques se puede apreciar una diferencia en los parámetros estimados. Éste es un hecho que se esperaba debido tanto a la falta de estandarización en criterios de siembra de los ejemplares, como se mencionó en la sección 3.5.5, al no utilizar una misma procedencia de las larvas lo cual afectaría la calidad de las mismas, y a las diferentes densidades de siembra que podrían alterar la dinámica de ganancia de peso.

5.2 Función de Supervivencia

Para dar a conocer los resultados de la supervivencia vale la pena recordar que la función de supervivencia está representada por la siguiente ecuación lineal:

$$S_t = \delta(t - t_i) + S_i$$

$$\delta = \frac{S_j - S_i}{t_j - t_i}$$

En el siguiente cuadro se detallan los valores necesarios para estimar la función lineal en cada estanque productivo.

Cuadro 8 - Parámetros de Supervivencia por Estanque

Piscinas	4	30
Camarones Sembrados Promedio (S_i)	2'782,689	1'417,435
Camarones Cosechados Promedio (S_j)	1'196,556	652,020
Tiempo Inicio Siembra (t_i)	0	0
Tiempo Promedio Cosecha (t_j)	15.28	14.38
Tasa de Mortalidad (δ)	-103,804.5	-53,227.7

Fuente: Compañía Camaronera

Elaborado por el autor

Sobre la base de lo antes mencionado las funciones de supervivencia para cada piscina productiva son:

$$S_t^{Piscina4} = -103,804.5t + 2'792,689$$

$$S_t^{Piscina30} = -53,227.7t + 1'417,435$$

5.3 Precios

Las estimaciones de los precios locales o nacionales estimados del año 2016 de una empaedora típica para los productos cola y entero se detallan a continuación:

$$\text{Precio Nacional}_t^{Cola} = \alpha + \beta \text{Precio Internacional}_t^{Cola} + \theta_1 \text{Talla}_{26_30} + \theta_2 \text{Talla}_{31_35} + \theta_3 \text{Talla}_{36_40} + \theta_4 \text{Talla}_{41_50} + \theta_5 \text{Talla}_{51_60} + \theta_6 \text{Talla}_{61_70} + \theta_7 \text{Talla}_{71_90}$$

$$\text{Precio Nacional}_t^{Entero} = \eta + \sigma \text{Precio Internacional}_t^{Entero} + \rho_1 \text{Talla}_{30_40} + \rho_2 \text{Talla}_{40_50} + \rho_3 \text{Talla}_{50_60} + \rho_4 \text{Talla}_{60_70} + \rho_5 \text{Talla}_{70_80}$$

Para los precios locales del tipo cola los resultados obtenidos de la regresión se encuentran en el siguiente cuadro:

Cuadro 9 - Resultados de la Regresión Precios Locales Cola

Precio Nacional	Coefficientes	Error Estándar Robusto	Estadístico t	P> t 	Intervalo de Confianza 95%
Constante	-0.181	0.191	-0.95	0.344	-0.560; 0.196
Precio Internacional (Urner)	0.708	0.071	9.97	0.000	0.568; 0.848
Talla26_30	0.247	0.175	1.42	0.159	-0.097; 0.596
Talla31_35	0.501	0.124	4.03	0.000	0.255; 0.747
Talla36_40	0.532	0.116	4.55	0.000	0.301; 0.763
Talla41_50	0.591	0.120	4.92	0.000	0.353; 0.829
Talla51_60	0.314	0.099	3.16	0.002	0.117; 0.511
Talla61_70	0.146	0.094	1.54	0.125	-0.041; 0.333
Talla71_90	0.159	0.191	2.23	0.027	0.018; 0.300
Número de Observaciones	169				
F(8, 160)	204.11				
Prob>F	0.0000				
R Cuadrado	0.9008				

Fuente: Compañía Camaronera y Urner Barry

Elaborado por el autor

Las ecuaciones resultantes para el producto cola y para las diferentes tallas se describen a continuación:

$$\text{Precio Nacional}_t^{\text{Cola3135}} = 0.321 + 0.708\text{Precio Internacional}_t^{\text{Cola3135}}$$

$$\text{Precio Nacional}_t^{\text{Cola3640}} = 0.352 + 0.708\text{Precio Internacional}_t^{\text{Cola3640}}$$

$$\text{Precio Nacional}_t^{\text{Cola4150}} = 0.41 + 0.708\text{Precio Internacional}_t^{\text{Cola4150}}$$

Para los precios locales del tipo entero los resultados obtenidos de la regresión se encuentran en el siguiente cuadro:

Cuadro 10 - Resultados de la Regresión Precios Locales Entero

Precio Nacional	Coefficientes	Error Estándar Robusto	Estadístico t	P> t	Intervalo de Confianza 95%
Constante	0.905	0.349	2.3	0.028	0.102; 1.708
Precio Internacional (Urner)	0.378	0.149	2.53	0.017	0.073; 0.682
Talla30_40	0.745	0.221	3.37	0.002	0.294; 1.196
Talla40_50	0.501	0.154	3.24	0.003	0.186; 0.816
Talla50_60	0.396	0.102	3.86	0.001	0.187;0.606
Talla60_70	0.274	0.079	3.43	0.002	0.111; 0.436
Talla70_80	0.103	0.054	1.91	0.065	-0.006;0.213
Número de Observaciones	39				
F(8, 160)	170.78				
Prob>F	0.0000				
R Cuadrado	0.947				

Fuente: Compañía Camaronera y Urner Barry

Elaborado por el autor

Las ecuaciones resultantes para el producto entero y para las diferentes tallas se describen a continuación:

$$Precio Nacional_t^{Entero4050} = 1.406 + 0.378Precio Internacional_t^{Entero4050}$$

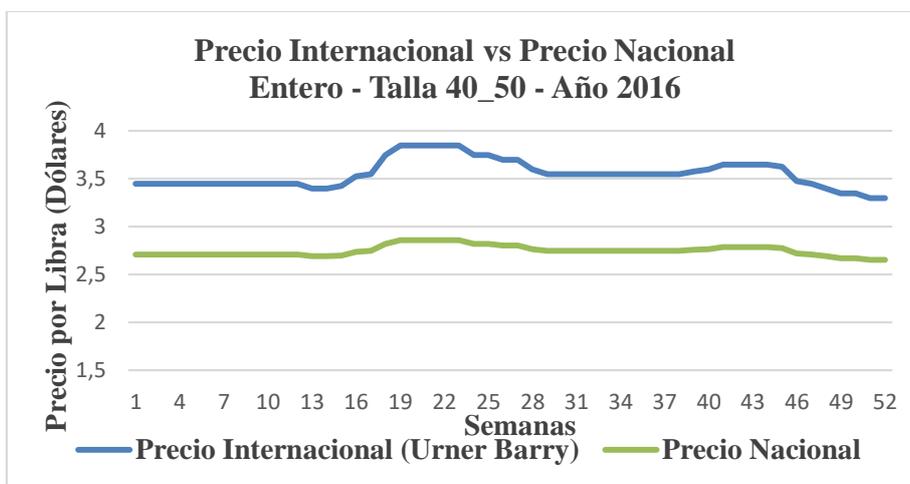
$$Precio Nacional_t^{Entero5060} = 1.301 + 0.378Precio Internacional_t^{Entero5060}$$

$$Precio Nacional_t^{Entero6070} = 1.179 + 0.378Precio Internacional_t^{Entero6070}$$

Luego de haber calculado una función que permita estimar los precios locales, a continuación se expone en gráficos las series de precios internacionales y locales para las tallas y tipo de producto a evaluar. En ellos se puede evidenciar como los precios internacionales y los precios nacionales siguen la misma estacionalidad por tipo de producto y por talla.

El detalle de los precios internacionales por tipo de producto y talla se encuentran en el Anexo 4.

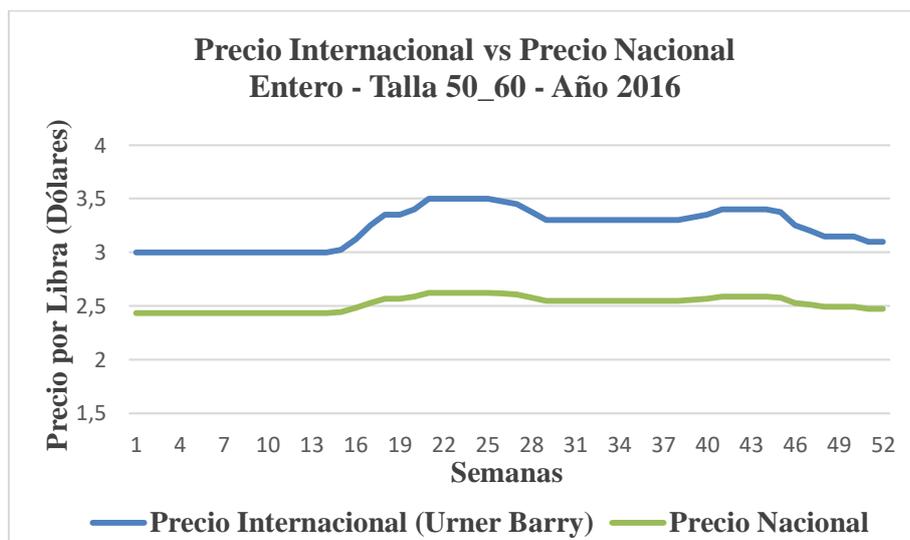
Gráfico 15 - Serie de Precios Entero Talla 40_50



Fuente: Urner Barry y Compañía Camaronera

Elaborado por el autor

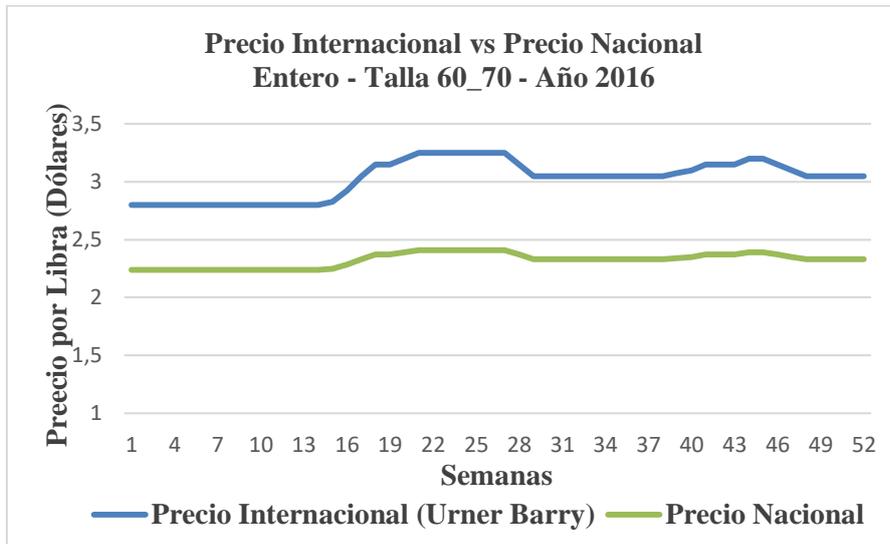
Gráfico 16 - Serie de Precios Entero Talla 50_60



Fuente: Urner Barry y Compañía Camaronera

Elaborado por el autor

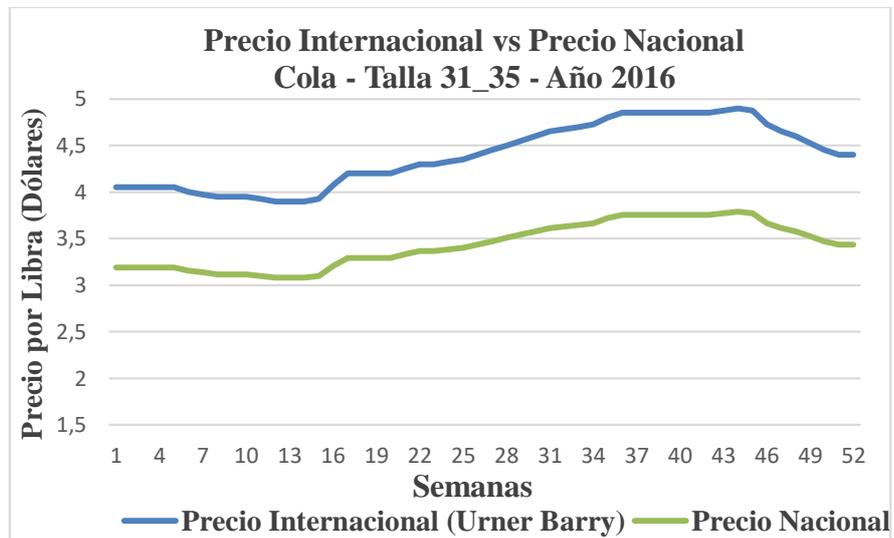
Gráfico 17 - Serie de Precios Entero Talla 60_70



Fuente: Urner Barry y Compañía Camaronera

Elaborado por el autor

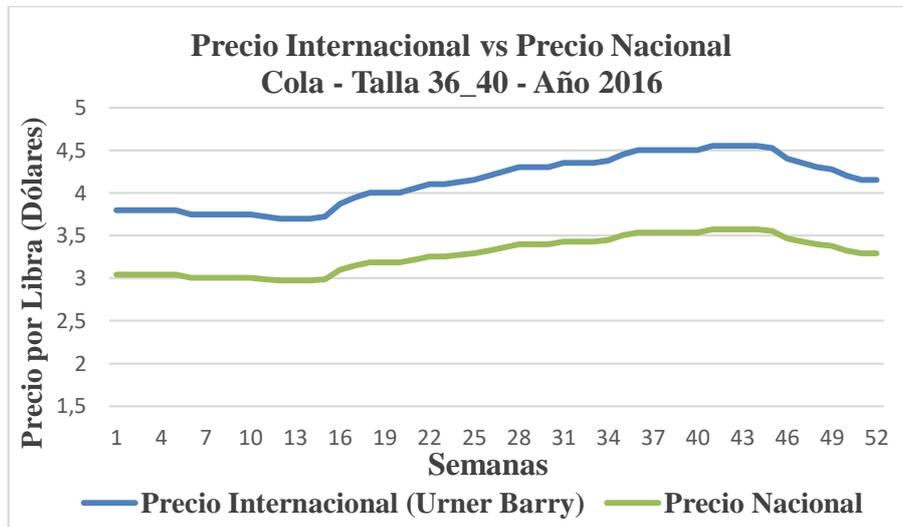
Gráfico 18 - Serie de Precios Cola Talla 31_35



Fuente: Urner Barry y Compañía Camaronera

Elaborado por el autor

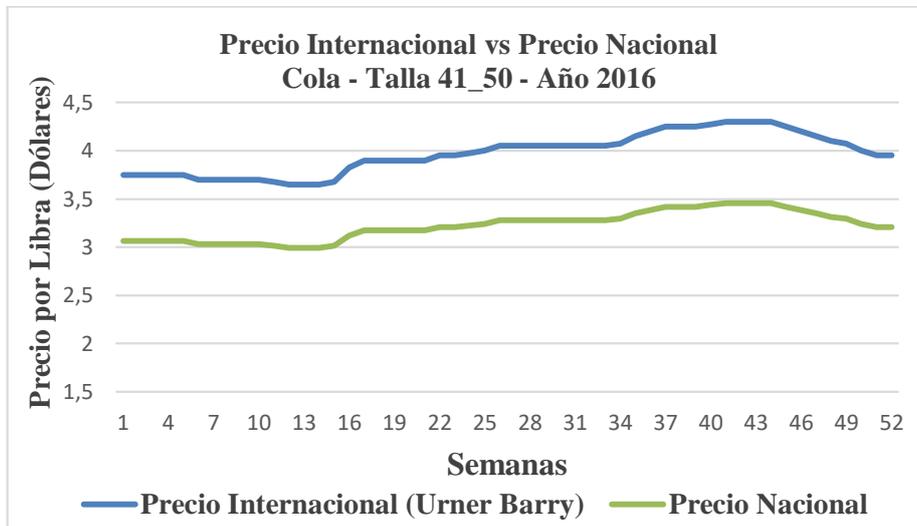
Gráfico 19 - Serie de Precios Cola Talla 36_40



Fuente: Urner Barry y Compañía Camaronera

Elaborado por el autor

Gráfico 20 - Serie de Precios Cola Talla 41_50



Fuente: Urner Barry y Compañía Camaronera

Elaborado por el autor

5.4 Fechas Tentativas de Cosecha

El peso estimado calculado mediante la ecuación Von Bertalanffy permite clasificar las tallas tanto para el producto entero como para el producto cola.

Las fechas en las que el camarón producido en el estanque 4 alcanza las tallas 31-35, 36-40, 41-50, 40-50, 50-60 y 60-70, con ayuda de los cuadros 1 y 2, se detallan en el siguiente cuadro.

Cuadro 11 - Clasificación Tallas Entero y Cola para el Estanque 4

Piscina Número 4			
Semana	Peso Estimado VB (gr)	Talla Cola	Talla Entero
1	1.734	Juvenil	Juvenil
2	3.375	Juvenil	Juvenil
3	4.954	Juvenil	Juvenil
4	6.479	111-130	140-200
5	7.955	91-110	120-140
6	9.383	71-90	100-120
7	10.767	61-70	80-100
8	12.109	51-60	70-80
9	13.410	51-60	70-80
10	14.672	41-50	60-70
11	15.896	41-50	60-70
12	17.084	41-50	50-60
13	18.237	36-40	50-60
14	19.356	36-40	50-60
15	20.442	31-35	50-60
16	21.497	31-35	40-50
17	22.521	31-35	40-50
18	23.515	31-35	40-50
19	24.480	26-30	40-50
20	25.418	26-30	40-50
21	26.328	26-30	30-40
22	27.212	26-30	30-40

Elaborado por el autor

Una vez detalladas las fechas de cosecha cuando el camarón alcanza las tallas 40-50, 50-60, 60-70, 31-35, 36-40 y 41-50, asumiendo que no existe mantenimiento del suelo, es posible plantear todas las fechas tentativas de cosecha y el total de ciclos al término de cada ciclo productivo dentro del periodo de planeación de 52 semanas para el estanque 4 como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 12 - Semanas Tentativas de Cosecha para el Estanque 4

Semanas Tentativas de Cosecha Estanque 4	Primer Ciclo	Segundo Ciclo	Tercer Ciclo	Cuarto Ciclo	Quinto Ciclo
Talla 31-35	15,16,17,18	30,31,32,33,34,35,36	45,46,47,48,49,50,51,52		
Talla 36-40	13,14	26,27,28	39,40,41,42	52	
Talla 41-50	10,11,12	20,21,22,23,24	30,31,32,33,34,35,36	40,41,42,43,44,45,46,47,48	50,51,52
Talla 40-50	16,17,18,19,20	32,33,34,35,36,37,38,39,40	48,49,50,51,52		
Talla 50-60	12,13,14,15	24,25,26,27,28,29,30	36,37,38,39,40,41,42,43,44,45	48,49,50,51,52	
Talla 60-70	10,11	20,21,22	30,31,32,33	40,41,42,43,44	50,51,52

Elaborado por el autor

Cuadro 13 - Clasificación Tallas Entero y Cola para el Estanque 30

Piscina Número 30			
Semana	Peso Estimado VB (gr)	Talla Cola	Talla Entero
1	0.980186603	Juvenil	Juvenil
2	2.204149429	Juvenil	Juvenil
3	3.514822859	Juvenil	Juvenil
4	4.869396968	Juvenil	Juvenil
5	6.245836954	111-130	140-200
6	7.63060394	91-110	120-140
7	9.014590826	71-90	100-120
8	10.39133353	61-70	80-100
9	11.75608564	61-70	80-100
10	13.10528585	51-60	70-80
11	14.43622714	41-50	60-70
12	15.74683914	41-50	60-70
13	17.03553828	41-50	50-60
14	18.301121	36-40	50-60
15	19.54268514	36-40	50-60
16	20.75957087	31-35	50-60
17	21.9513152	31-35	40-50
18	23.11761646	31-35	40-50
19	24.258306	26-30	40-50
20	25.37332554	26-30	40-50
21	26.4627086	26-30	30-40
22	27.52656539	26-30	30-40

Elaborado por el autor

Una vez detalladas las fechas de cosecha cuando el camarón alcanza las tallas 31-35, 36-40, 41-50, 40-50, 50-60 y 60-70, asumiendo que no exista mantenimiento del suelo, es posible plantear todas las posibles fecha de cosecha al término de cada ciclo productivo y el total de ciclos dentro del periodo de planeación de 52 semanas para el estanque 30 como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 14 - Semanas Tentativas de Cosecha para el Estanque 30

Semanas Tentativas de Cosecha Estanque 30	Primer Ciclo	Segundo Ciclo	Tercer Ciclo	Cuarto Ciclo
Talla 31-35	16,17,18	32,33,34,35,36	48,49,50,51,52	
Talla 36-40	14,15	28,29,30	42,43,44,45	
Talla 41-50	11,12,13	22,23,24,25,26	33,34,35,36,37,38,39	44,45,46,47,48,49,50,51,52
Talla 40-50	17,18,19,20	34,35,36,37,38,39,40	51,52	
Talla 50-60	13,14,15,16	26,27,28,29,30,31,32	39,40,41,42,43,44,45,46,47,48	52
Talla 60-70	11,12	22,23,24	33,34,35,36	44,45,46,47,48

Elaborado por el autor

5.5 Esquema de Planeación Óptima – Redes Operacionales

El mecanismo de planeación óptima por parte del administrador dependerá de las decisiones que éste tome. Es decir, que el administrador decida la talla objetivo de cosecha y por cuanto tiempo realizar mantenimiento al suelo para empezar el siguiente ciclo productivo, teniendo en cuenta las condiciones biológicas subyacentes, altera la planeación óptima y a su vez el número de ciclos que se pueden efectuar en el periodo de planeación de 52 semanas. Cabe indicar que cuando se menciona planeación óptima se hace referencia al set de planeación factible $\mathbf{H} = \{H (h_1(i_1, j_1), h_2(i_2, j_2), \dots, h_m(i_m, j_m) / h(i, j)) \in \mathbf{h}\}$ que maximice los ingresos durante $T= 52$ semanas.

Luego de haber indicado todas las implicaciones y supuestos del problema, resulta oportuno describir al modelo de planeación óptima de la siguiente forma:

$$Max \sum_{n=1}^N \sum_{H \in \mathbf{H}^n} \left(\sum_{q=1}^Q I_{i,n,j}^{k,q,c} \right) \quad \forall k, \forall q, \forall c, \forall n$$

Para el producto Entero:

$$I_{i,j}^{k,1,1} = P_j^{k,1,1} B_j, \quad \forall k$$

Para el producto Cola:

$$I_{i,j}^{k,q,2} = 0.666B_j(0.85P_j^{k,1,2} + 0.1P_j^{k,2,2} + 0.05P_j^{k,3,2}), \quad \forall k, \forall q$$

$$P_t^{k,2,2} = P_j^{k,1,2} - 0.5P_j^{k,1,2}, \quad \forall k$$

$$P_t^{k,3,2} = P_j^{k,1,2} - 0.85P_j^{k,1,2}, \quad \forall k$$

Sujeto a:

- *Restricciones de tratamiento del suelo*
- $j_{máx}^1 \leq T$
- ⋮
- $j_{máx}^n \leq T$

Hechas las observaciones previas, el modelo de planeación empleado y programado en el software Wolfram Mathematica tomará en consideración un análisis de escenarios en los cuales se evaluará como cambia el set de planeación óptimo ante cambios en el producto a cosechar, la talla objetivo y el periodo de mantenimiento del suelo.

Al definir que la producción se comercializa como producto entero se plantean tres posibles tallas a cosechar, 40-50, 50-60 y 60-70, además se propone evaluar la planeación óptima cuando el administrador decide posponer la siembra para dar mantenimiento al suelo ya sea por ninguna o durante 1 semana. Así mismo, se plantea comercializar la producción como cola en las tallas 31-35, 36-40 y 41-50, considerando un mantenimiento del suelo por ninguna o durante 1 semana.

Los resultados obtenidos en cada estanque productivo por medio del software Wolfram Mathematica se presentan en tablas gráficas, en las cuales la columna Iteraciones indica los 5 sets de planeación de ciclos factibles seleccionados según el monto de ingresos de mayor a menor, siendo de esta forma la primera iteración aquella que maximiza los ingresos, la columna Ventas indica el valor total de ingresos obtenidos por la venta del camarón según el set de planeación evaluado a lo largo del año 2016, la columna Semanas_Cosecha presenta las fechas en las que se cosecha en cada ciclo productivo, si una columna es cero quiere decir que ese ciclo productivo no forma parte del periodo de planeación, la columna Periodo_De_Crecimiento manifiesta los periodos entre siembra y cosecha de cada ciclo productivo.

En los resultados se muestran 5 combinaciones de sets de planeación factibles con el fin de que el administrador pueda conocer las diferentes alternativas de planeación en caso de que el set que maximice los ingresos no sea viable debido a factores ajenos al modelo.

5.5.1 Planeación Óptima Piscina Productiva 4

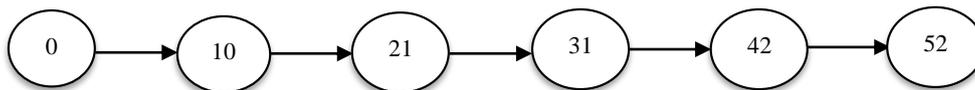
Los resultados obtenidos por talla, tipo de producto y periodo de mantenimiento del suelo se presentan a continuación:

Gráfico 21 Piscina 4 – Talla 60_70 – Sin Mantenimiento

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	664 150.	{10, 21, 31, 42, 52}	{10, 11, 10, 11, 10}
2	664 109.	{10, 21, 31, 41, 52}	{10, 11, 10, 10, 11}
3	664 008.	{11, 22, 32, 42, 52}	{11, 11, 10, 10, 10}
4	663 967.	{11, 21, 31, 42, 52}	{11, 10, 10, 11, 10}
5	663 927.	{11, 21, 31, 41, 52}	{11, 10, 10, 10, 11}

Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 60_70 – Sin Mantenimiento – Estanque 4



Elaborado por el autor

Gráfico 22 Piscina 4 – Talla 60_70 – Una Semana de Mantenimiento

Piscinas **Piscina_4**

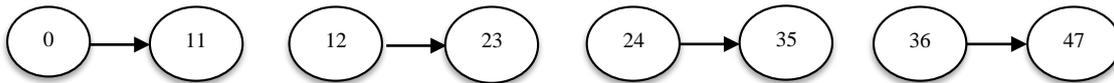
Talla **Entero_60_70**

Opción **7**

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	536365.	{11, 23, 35, 47, 0}	{11, 11, 11, 11, 10}
2	535055.	{10, 22, 34, 46, 0}	{10, 11, 11, 11, 10}
3	534954.	{11, 23, 34, 46, 0}	{11, 11, 10, 11, 10}
4	534913.	{11, 23, 35, 46, 0}	{11, 11, 11, 10, 10}
5	534873.	{11, 22, 34, 46, 0}	{11, 10, 11, 11, 10}

Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 60_70 – Una Semana de Mantenimiento – Estanque 4



Elaborado por el autor

Gráfico 23 Piscina 4 – Talla 50_60 – Sin Mantenimiento

Piscinas **Piscina_4**

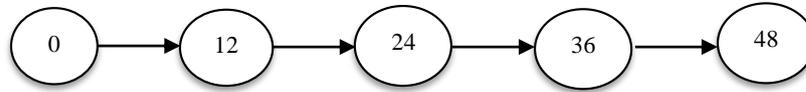
Talla **Entero_50_60**

Opción **7**

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	584646.	{12, 24, 36, 48}	{12, 12, 12, 12}
2	583997.	{13, 25, 37, 49}	{13, 12, 12, 12}
3	583982.	{12, 24, 36, 49}	{12, 12, 12, 13}
4	583967.	{12, 24, 37, 49}	{12, 12, 13, 12}
5	583947.	{12, 25, 37, 49}	{12, 13, 12, 12}

Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 50_60 – Sin Mantenimiento – Estanque 4



Elaborado por el autor

Gráfico 24 Piscina 4 – Talla 50_60 – Una Semana de Mantenimiento

Piscinas

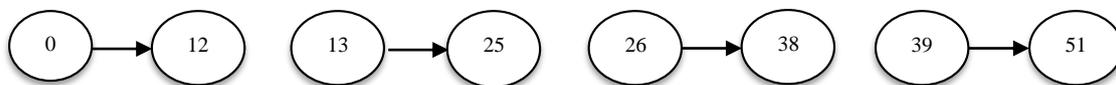
Talla

Opción

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	583 552.	{12, 25, 38, 51}	{12, 12, 12, 12}
2	583 417.	{12, 25, 39, 52}	{12, 12, 13, 12}
3	582 903.	{13, 26, 39, 52}	{13, 12, 12, 12}
4	582 893.	{12, 25, 38, 52}	{12, 12, 12, 13}
5	582 855.	{12, 26, 39, 52}	{12, 13, 12, 12}

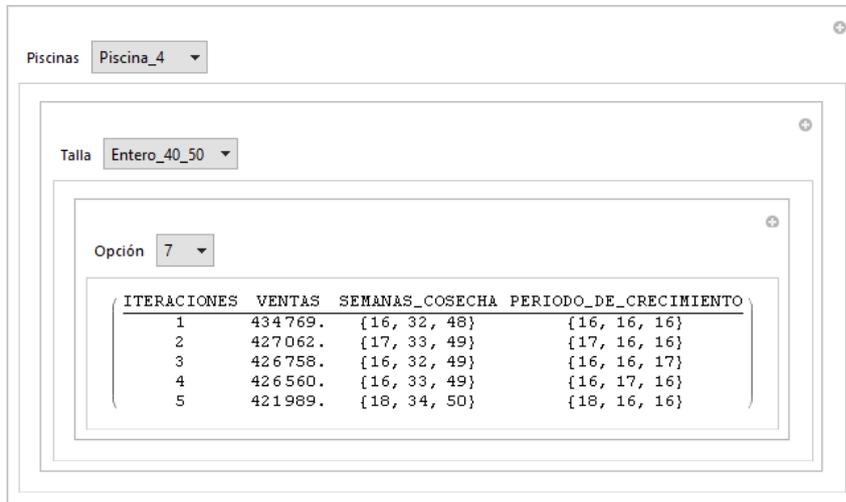
Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 50_60 – Una Semana de Mantenimiento – Estanque 4



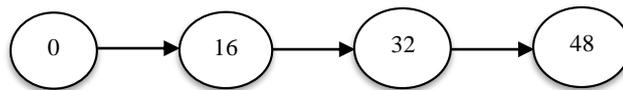
Elaborado por el autor

Gráfico 25 Piscina 4 – Talla 40_50 – Sin Mantenimiento



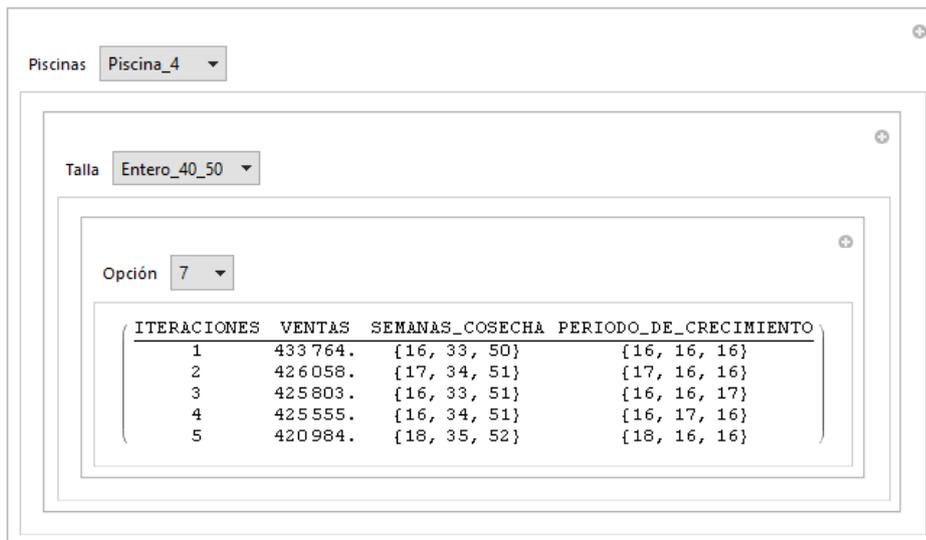
Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 40_50 – Sin Mantenimiento – Estanque 4



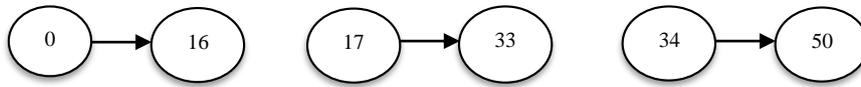
Elaborado por el autor

Gráfico 26 Piscina 4 – Talla 40_50 – Una Semana de Mantenimiento



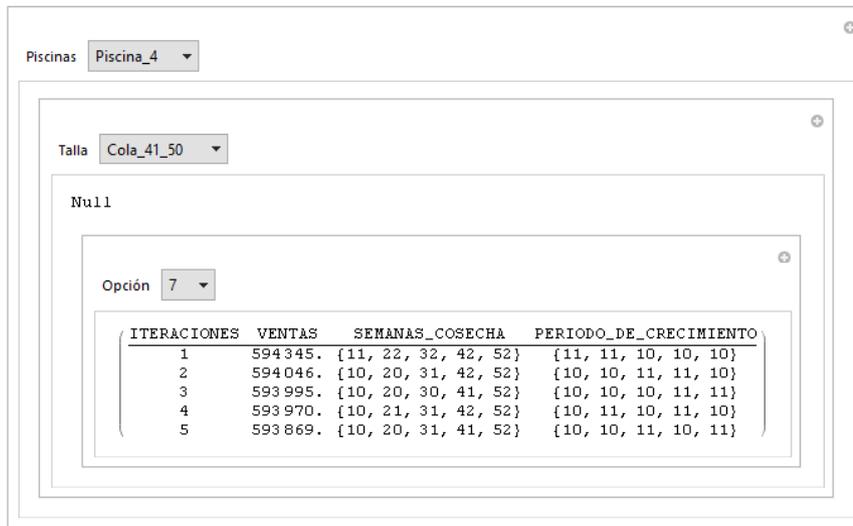
Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 40_50 – Una Semana de Mantenimiento – Estanque 4



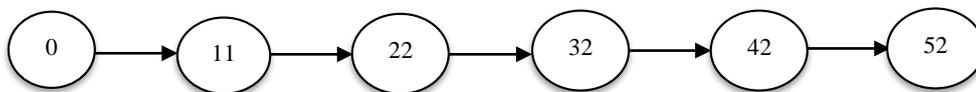
Elaborado por el autor

Gráfico 27 Piscina 4 – Talla 41_50 – Sin Mantenimiento



Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 41_50 – Sin Mantenimiento – Estanque 4



Elaborado por el autor

Gráfico 28 Piscina 4 – Talla 41_50 – Una Semana de Mantenimiento

Piscinas:

Talla:

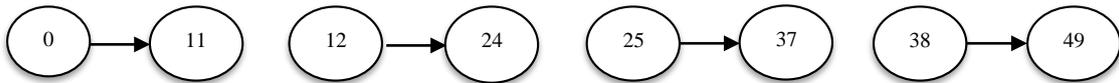
Null

Opción:

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	483 610.	{11, 24, 37, 49, 0}	{11, 12, 12, 11, 10}
2	483 505.	{12, 25, 37, 49, 0}	{12, 12, 11, 11, 10}
3	482 873.	{12, 24, 37, 49, 0}	{12, 11, 12, 11, 10}
4	482 390.	{11, 24, 37, 50, 0}	{11, 12, 12, 12, 10}
5	482 331.	{12, 25, 38, 50, 0}	{12, 12, 12, 11, 10}

Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 41_50 – Una Semana de Mantenimiento – Estanque 4



Elaborado por el autor

Gráfico 29 Piscina 4 – Talla 36_40 – Sin Mantenimiento

Piscinas:

Talla:

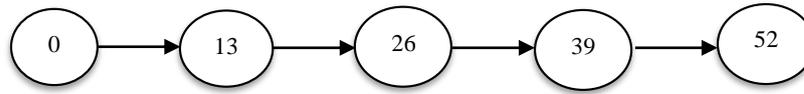
Null

Opción:

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	489 524.	{13, 26, 39, 52}	{13, 13, 13, 13}
2	367 199.	{14, 28, 41, 0}	{14, 14, 13, 13}
3	366 803.	{13, 26, 39, 0}	{13, 13, 13, 14}
4	366 448.	{14, 27, 40, 0}	{14, 13, 13, 13}
5	366 217.	{13, 27, 40, 0}	{13, 14, 13, 13}

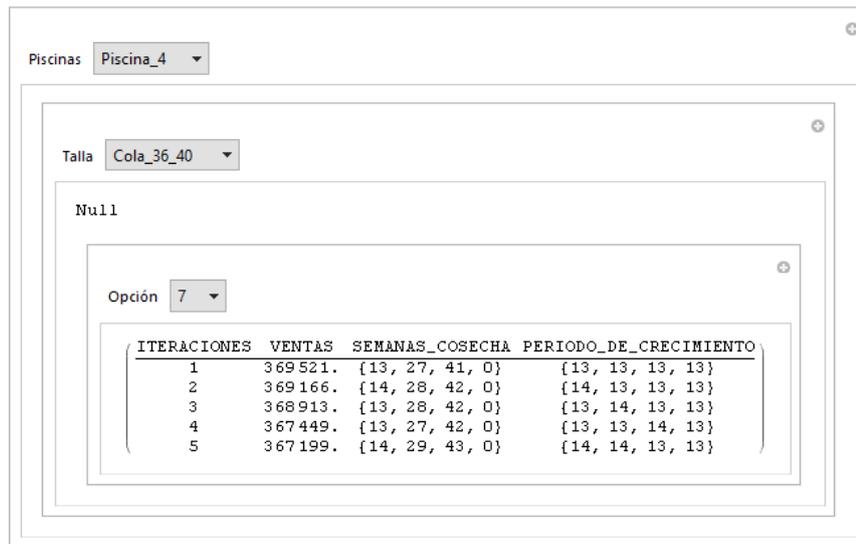
Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 36_40 – Sin Mantenimiento – Estanque 4



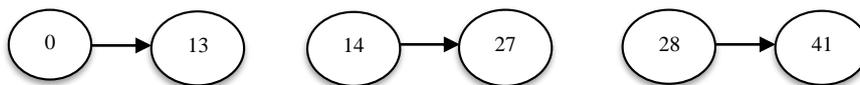
Elaborado por el autor

Gráfico 30 Piscina 4 – Talla 36_40 – Una Semana de Mantenimiento



Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 40_50 – Una Semana de Mantenimiento – Estanque 4



Elaborado por el autor

Gráfico 31 Piscina 4 – Talla 31_35 – Sin Mantenimiento

Piscinas **Piscina_4**

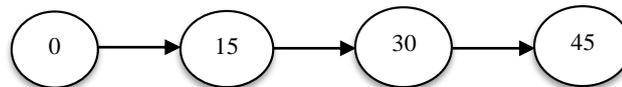
Talla **Cola_31_35**

Opción **7**

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	374227.	{15, 30, 45}	{15, 15, 15}
2	371236.	{16, 31, 46}	{16, 15, 15}
3	367477.	{17, 32, 47}	{17, 15, 15}
4	366768.	{15, 31, 46}	{15, 16, 15}
5	365393.	{15, 30, 46}	{15, 15, 16}

Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 31_35 – Sin Mantenimiento – Estanque 4



Elaborado por el autor

Gráfico 32 Piscina 4 – Talla 31_35 – Una Semana de Mantenimiento

Piscinas **Piscina_4**

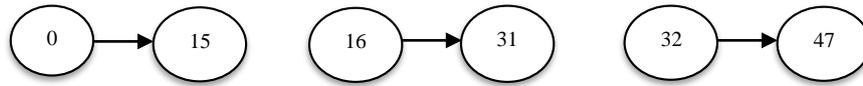
Talla **Cola_31_35**

Opción **7**

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	369669.	{15, 31, 47}	{15, 15, 15}
2	368632.	{16, 32, 48}	{16, 15, 15}
3	364872.	{17, 33, 49}	{17, 15, 15}
4	364139.	{15, 32, 48}	{15, 16, 15}
5	363561.	{15, 31, 48}	{15, 15, 16}

Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 40_50 – Una Semana de Mantenimiento – Estanque 4



Elaborado por el autor

De forma concisa se resume en el siguiente cuadro las fechas de planeación factibles que maximizan los ingresos durante el periodo de planeación de 52 semanas (Año 2016) para la piscina 4 en las diferentes tallas (k) y en el número de semanas de mantenimiento del suelo (d)

Cuadro 15 – Resumen Fechas Óptimas – Piscina 4

PISCINA 4	Sin Mantenimiento (d_0)		Una Semana de Mantenimiento (d_1)		Variación Ciclos ($d_1 - d_0$)	
	Tallas	Fechas Óptimas	Total Ciclos	Fechas Óptimas		Total Ciclos
<i>Entero 60_70</i>		10,21,31,42,52	5	11,23,35,47	4	-1
<i>Entero 50_60</i>		12,24,36,48	4	12,25,38,51	4	0
<i>Entero 40_50</i>		16,32,48	3	16,33,50	3	0
<i>Cola 41_50</i>		11,22,32,42,52	5	11,24,37,49	4	-1
<i>Cola 36_40</i>		13,26,39,52	4	13,27,41	3	-1
<i>Cola 31_35</i>		15,30,45	3	15,31,47	3	0

Elaborado por el autor

Para el producto entero, al fijar las tallas 60_70, 50_60 y 40_50 los sets de planeación factibles \mathbf{H} sin considerar mantenimiento del suelo son $\mathbf{H} = \{h(0,10), h(10,21), h(21,31), h(31,42), h(42,52)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,12), h(12,24), h(24,36), h(36,48)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,16), h(16,32), h(32,48)\}$, respectivamente. Por otro lado, cuando se destina una semana de mantenimiento al suelo los sets de planeación factibles son $\mathbf{H} = \{h(0,11), h(12,23), h(24,35), h(36,47)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,12), h(13,25), h(26,38), h(39,51)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,16), h(17,33), h(34,50)\}$. Cada ciclo $h(i, j)$ dentro del set \mathbf{H} representa un ciclo productivo factible.

Para el producto cola, al fijar las tallas 41_50, 36_40 y 31_35 los sets de planeación factibles \mathbf{H} sin considerar mantenimiento del suelo son $\mathbf{H} = \{h(0,11), h(11,22), h(22,32), h(32,42), h(42,52)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,13), h(13,26), h(26,39), h(39,52)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,15), h(15,30), h(30,45)\}$, respectivamente. Por otro parte, cuando se destina una semana de mantenimiento

al suelo los sets de planeación factibles son $\mathbf{H} = \{h(0,11), h(12,24), h(25,37), h(38,49)\}$,
 $\mathbf{H} = \{h(0,13), h(14,27), h(28,41)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,15), h(16,31), h(32,47)\}$.

A su vez los ingresos correspondientes a las fechas óptimas de cosecha se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 16 – Resumen Ingresos Máximos - Redes Operacionales – Piscina 4

PISCINA 4	Sin Mantenimiento (d_0)	Una Semana de Mantenimiento (d_1)	Variación Ingresos ($d_1 - d_0$)
Tallas	Ingresos	Ingresos	
<i>Entero 60_70</i>	\$664,150	\$536,365	-\$127,785
<i>Entero 50_60</i>	\$584,646	\$583,552	-\$1,094
<i>Entero 40_50</i>	\$434,769	\$433,764	-\$1,005
<i>Cola 41_50</i>	\$594,345	\$483,610	-\$110,735
<i>Cola 36_40</i>	\$489,524	\$369,521	-\$120,003
<i>Cola 31_35</i>	\$374,227	\$369,669	-\$4,558

Elaborado por el autor

5.5.2 Planeación Óptima Piscina Productiva 30

Los resultados obtenidos por talla, tipo de producto y periodo de mantenimiento del suelo se presentan a continuación:

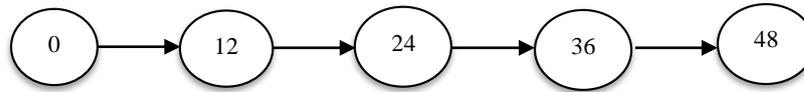
Gráfico 33 Piscina 30 – Talla 60_70 – Sin Mantenimiento

The screenshot shows a software interface with the following settings: Piscinas: Piscina_30, Talla: Entero_60_70, Opción: 7. The table below is displayed within the interface:

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	251646.	{12, 24, 36, 48, 0}	{12, 12, 12, 12, 11}
2	250913.	{11, 23, 35, 47, 0}	{11, 12, 12, 12, 11}
3	250861.	{12, 24, 35, 47, 0}	{12, 12, 11, 12, 11}
4	250850.	{12, 24, 36, 47, 0}	{12, 12, 12, 11, 11}
5	250819.	{12, 23, 35, 47, 0}	{12, 11, 12, 12, 11}

Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 60_70 – Sin Mantenimiento – Estanque 30



Elaborado por el autor

Gráfico 34 Piscina 30 – Talla 60_70 – Una Semana de Mantenimiento

Piscinas

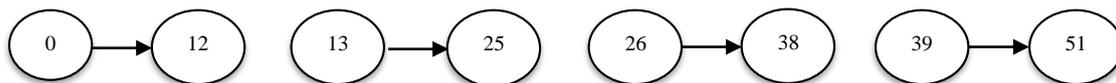
Talla

Opción

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	251 646.	{12, 25, 38, 51, 0}	{12, 12, 12, 12, 11}
2	250 402.	{11, 24, 37, 50, 0}	{11, 12, 12, 12, 11}
3	250 350.	{12, 25, 37, 50, 0}	{12, 12, 11, 12, 11}
4	250 308.	{12, 24, 37, 50, 0}	{12, 11, 12, 12, 11}
5	249 106.	{11, 24, 36, 49, 0}	{11, 12, 11, 12, 11}

Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 60_70 – Una Semana de Mantenimiento – Estanque 30



Elaborado por el autor

Gráfico 35 Piscina 30 – Talla 50_60 – Sin Mantenimiento

Piscinas **Piscina_30**

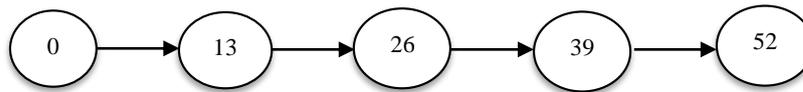
Talla **Entero_50_60**

Opción **7**

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	274 653.	{13, 26, 39, 52}	{13, 13, 13, 13}
2	207 277.	{13, 26, 39, 0}	{13, 13, 13, 14}
3	207 217.	{13, 26, 40, 0}	{13, 13, 14, 13}
4	207 172.	{14, 27, 41, 0}	{14, 13, 14, 13}
5	207 151.	{13, 27, 41, 0}	{13, 14, 14, 13}

Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 50_60 – Sin Mantenimiento – Estanque 30



Elaborado por el autor

Gráfico 36 Piscina 30 – Talla 50_60 – Una Semana de Mantenimiento

Piscinas **Piscina_30**

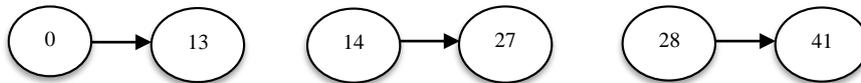
Talla **Entero_50_60**

Opción **7**

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	207 792.	{13, 27, 41, 0}	{13, 13, 13, 13}
2	207 473.	{13, 27, 42, 0}	{13, 13, 14, 13}
3	206 719.	{14, 28, 42, 0}	{14, 13, 13, 13}
4	206 701.	{13, 28, 42, 0}	{13, 14, 13, 13}
5	206 400.	{14, 28, 43, 0}	{14, 13, 14, 13}

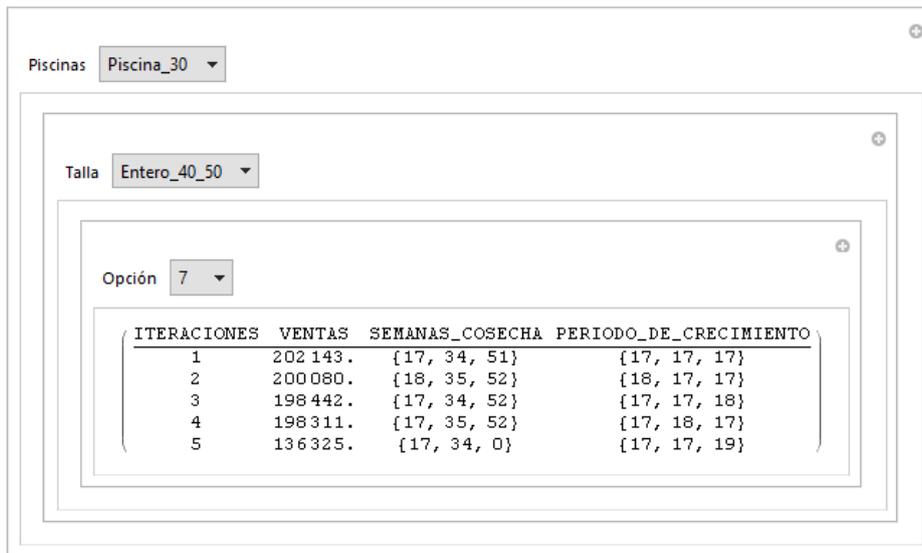
Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 50_60 – Una Semana de Mantenimiento – Estanque 30



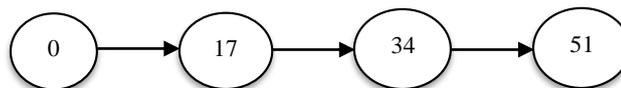
Elaborado por el autor

Gráfico 37 Piscina 30 – Talla 40_50 – Sin Mantenimiento



Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 40_50 – Sin Mantenimiento – Estanque 30



Elaborado por el autor

Gráfico 38 Piscina 30 – Talla 40_50 – Una Semana de Mantenimiento

Piscinas

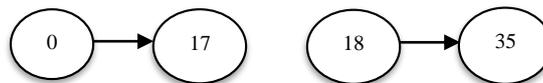
Talla

Opción

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	136325.	{17, 35, 0}	{17, 17, 17}
2	134262.	{18, 36, 0}	{18, 17, 17}
3	132492.	{17, 36, 0}	{17, 18, 17}
4	130429.	{18, 37, 0}	{18, 18, 17}
5	130307.	{19, 37, 0}	{19, 17, 17}

Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 40_50 – Una Semana de Mantenimiento – Estanque 30



Elaborado por el autor

Gráfico 39 Piscina 30 – Talla 41_50 – Sin Mantenimiento

Piscinas

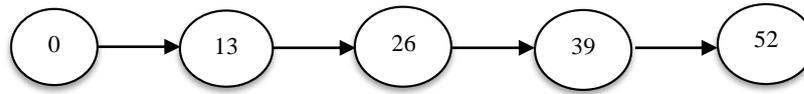
Talla

Opción

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	227395.	{13, 26, 39, 52, 0}	{13, 13, 13, 13, 11}
2	227117.	{13, 26, 38, 50, 0}	{13, 13, 12, 12, 11}
3	227019.	{12, 25, 37, 49, 0}	{12, 13, 12, 12, 11}
4	226983.	{13, 25, 37, 49, 0}	{13, 12, 12, 12, 11}
5	226953.	{13, 26, 39, 51, 0}	{13, 13, 13, 12, 11}

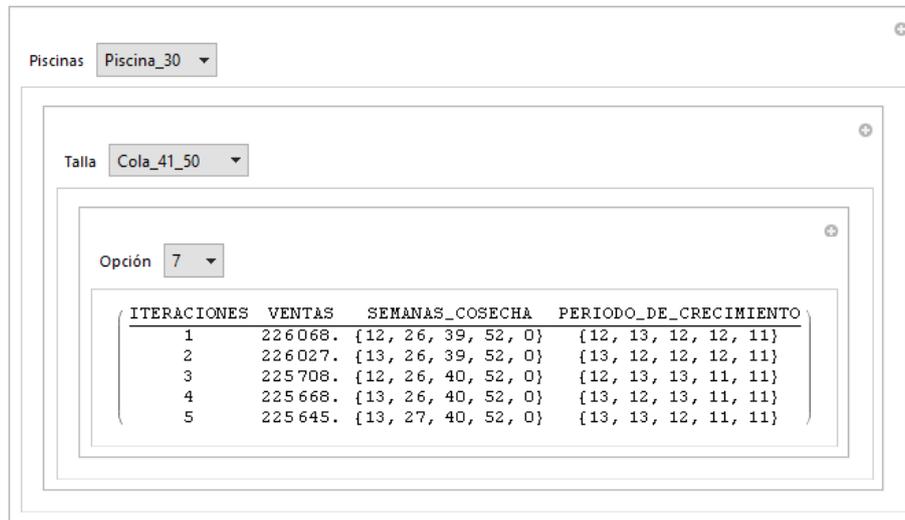
Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 41_50 – Sin Mantenimiento – Estanque 30



Elaborado por el autor

Gráfico 40 Piscina 30 – Talla 41_50 – Una Semana de Mantenimiento



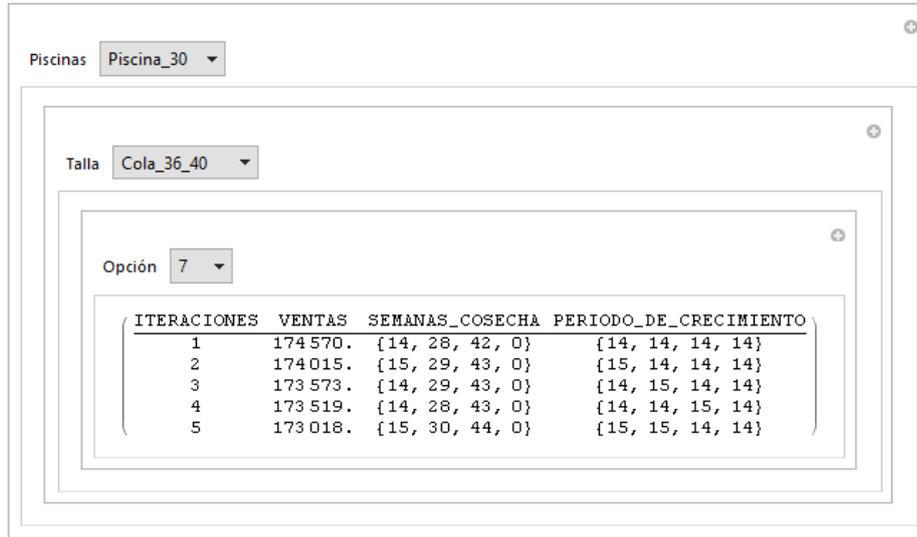
Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 41_50 – Una Semana de Mantenimiento – Estanque 30



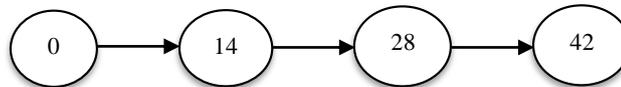
Elaborado por el autor

Gráfico 41 Piscina 30 – Talla 36_40 – Sin Mantenimiento



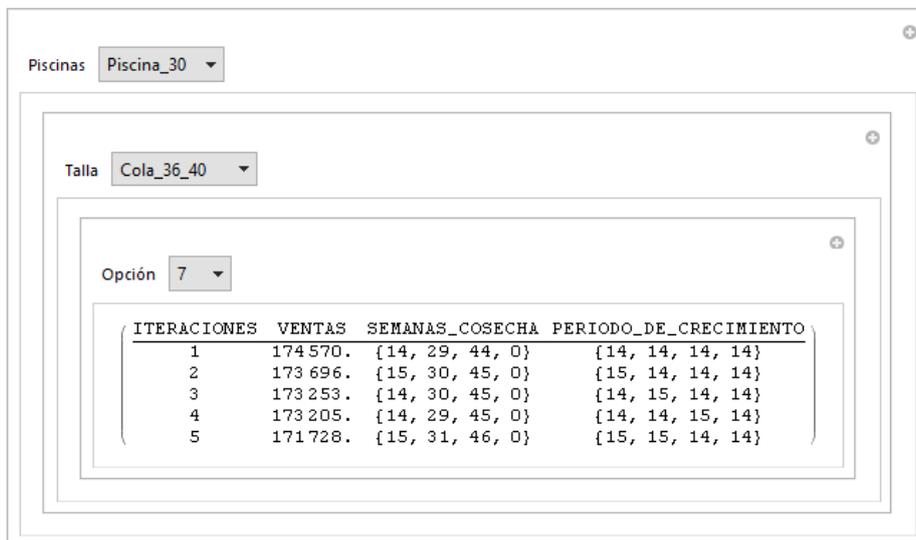
Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 36_40 – Sin Mantenimiento – Estanque 30



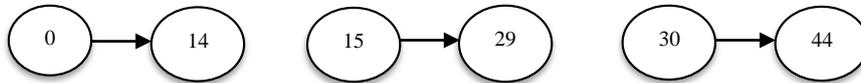
Elaborado por el autor

Gráfico 42 Piscina 30 – Talla 36_40 – Una Semana de Mantenimiento



Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 36_40 – Una Semana de Mantenimiento – Estanque 30



Elaborado por el autor

Gráfico 43 Piscina 30 – Talla 31_35 – Sin Mantenimiento

Piscinas

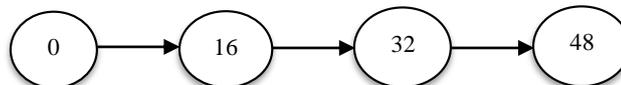
Talla

Opción

ITERACIONES	VENTAS	SEMANAS_COSECHA	PERIODO_DE_CRECIMIENTO
1	174827.	{16, 32, 48}	{16, 16, 16}
2	173419.	{17, 33, 49}	{17, 16, 16}
3	171636.	{16, 33, 49}	{16, 17, 16}
4	171421.	{16, 32, 49}	{16, 16, 17}
5	170216.	{17, 34, 50}	{17, 17, 16}

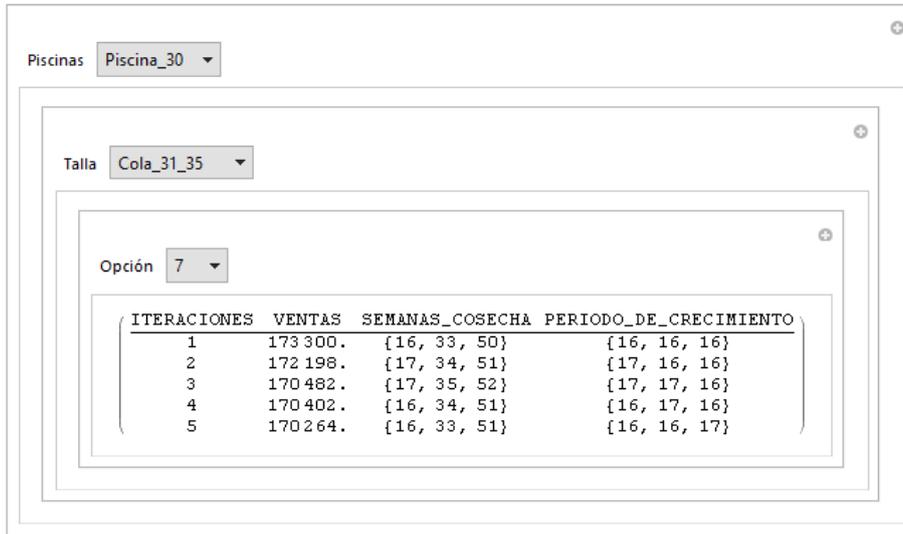
Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 31_35 – Sin Mantenimiento – Estanque 30



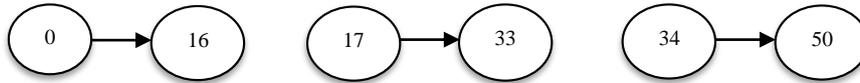
Elaborado por el autor

Gráfico 44 Piscina 30 – Talla 31_35 – Una Semana de Mantenimiento



Elaborado por el autor

Red Operacional Óptima Talla 31_35 – Una Semana de Mantenimiento – Estanque 30



Elaborado por el autor

De forma concisa se resume en el siguiente cuadro las fechas de planeación factibles que maximizan los ingresos durante el periodo de planeación de 52 semanas (Año 2016) para la piscina 30 en las diferentes tallas (k) y en el número de semanas de mantenimiento del suelo (d).

Cuadro 17 – Resumen – Fechas Óptimas – Piscina 30

PISCINA 30	Sin Mantenimiento (d_0)		Una Semana de Mantenimiento (d_1)		Variación Ciclos ($d_1 - d_0$)	
	Tallas	Fechas Óptimas	Fechas Óptimas	Total Ciclos		
		Total Ciclos		Total Ciclos		
	Entero 60_70	12,24,36,48	4	12,25,38,51	4	0
	Entero 50_60	13,26,39,52	4	13,27,41	3	-1
	Entero 40_50	17,34,51	3	17,35	2	-1
	Cola 41_50	13,26,39,52	4	12,26,39,52	4	0
	Cola 36_40	14,28,42	3	14,29,44	3	0
	Cola 31_35	16,32,48	3	16,33,50	3	0

Elaborado por el autor

Para un producto entero, al fijar las tallas 60_70, 50_60 y 40_50 los sets de planeación factibles \mathbf{H} sin considerar mantenimiento del suelo son $\mathbf{H} = \{h(0,12), h(12,24), h(24,36), h(36,48)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,13), h(13,26), h(26,39), h(39,52)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,17), h(17,34), h(34,51)\}$, respectivamente. Cuando se destina una semana de mantenimiento al suelo los sets de planeación factibles son $\mathbf{H} = \{h(0,12), h(13,25), h(26,38), h(39,51)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,13), h(14,27), h(28,41)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,17), h(18,35)\}$. La decisión de postergar la siguiente cosecha por una semana disminuye el número de ciclos factibles dentro del periodo de planeación \mathbf{T} en las tallas 50_60 y 40_50.

Para el producto cola, al fijar las tallas 41_50, 36_40 y 31_35 los sets de planeación factibles \mathbf{H} sin considerar mantenimiento del suelo son $\mathbf{H} = \{h(0,13), h(13,26), h(26,39), h(39,52)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,14), h(14,28), h(28,42)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,16), h(16,32), h(32,48)\}$, respectivamente. Por otro parte, cuando se destina una semana de mantenimiento al suelo los sets de planeación factibles son $\mathbf{H} = \{h(0,12), h(13,26), h(27,39), h(40,52)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,14), h(15,29), h(30,44)\}$, $\mathbf{H} = \{h(0,16), h(17,33), h(34,50)\}$. En este caso, dar mantenimiento al suelo por una semana no reduce el número de ciclos productivos factibles dentro del periodo de planeación \mathbf{T} .

Los ingresos correspondientes a las fechas óptimas de cosecha se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 18 – Resumen – Ingresos Máximos – Redes Operacionales – Piscina 30

PISCINA 30	Sin Mantenimiento (d_0)	Una Semana de Mantenimiento (d_1)	Variación Ingresos ($d_1 - d_0$)
Tallas	Ingresos	Ingresos	
<i>Entero 60_70</i>	\$251,646	\$251,646	\$0
<i>Entero 50_60</i>	\$274,653	\$207,792	-\$66,861
<i>Entero 40_50</i>	\$202,143	\$136,325	-\$65,818
<i>Cola 41_50</i>	\$227,395	\$226,068	-\$1,327
<i>Cola 36_40</i>	\$174,570	\$174,570	\$0
<i>Cola 31_35</i>	\$174,827	\$173,300	-\$1,527

Elaborado por el autor

A continuación se resumen el total de ingresos máximos para ambos estanques productivos en el siguiente cuadro.

Cuadro 19 – Resumen – Ingresos Máximos – Redes Operacionales – Ambas Piscinas

TOTAL PISCINAS 4 - 30	Sin Mantenimiento	Una Semana de Mantenimiento
Tallas	Ingresos	Ingresos
<i>Entero 60_70</i>	\$915,796	\$788,011
<i>Entero 50_60</i>	\$859,299	\$791,344
<i>Entero 40_50</i>	\$636,912	\$570,089
<i>Cola 41_50</i>	\$821,740	\$709,678
<i>Cola 36_40</i>	\$664,094	\$544,091
<i>Cola 31_35</i>	\$549,054	\$542,969

Elaborado por el autor

5.6 Esquema Alternativo de Planeación - Maximización de la Biomasa

Como alternativa al esquema de planeación óptima mediante el enfoque de redes operacionales para cada estanque productivo, cabe la pregunta sobre la determinación de alguna fecha o semana óptima la cual maximice el valor de la biomasa cosechada. Por supuesto, el núcleo de esta tesis es obtener un cronograma de ciclos factibles que garanticen magnánimos ingresos; sin embargo, el cálculo de una fecha que optimice la biomasa podría servir como una herramienta que permita orientar decisiones administrativas en caso de que no se incurra en la metodología de redes operacionales. Para ilustrar lo expuesto, se debe tomar en consideración que la biomasa es resultado de la ganancia de peso y de la sobrevivencia como se expuso en (3) de la siguiente forma:

$$B_t = W_t S_t$$

Donde:

$$W_t = \omega_\infty [1 - e^{-k[t-t_o]}]^b$$

$$S_t = \delta(t - t_i) + S_i$$

Por tanto:

$$B_t = \omega_\infty [1 - e^{-k[t-t_o]}]^b \cdot [\delta(t - t_i) + S_i]$$

Ahora bien, una vez definida la biomasa en cada estanque, el tiempo óptimo será aquel en el que la ganancia marginal de peso de aquellos que sobreviven iguala a la ganancia de peso que se pierde debido a la mortalidad.

$$\frac{\partial w}{\partial t} \cdot S(t) = -\frac{\partial S}{\partial t} \cdot W(t)$$

$$\left\{ b [1 - e^{-k(t-t_o)}]^{b-1} e^{-k(t-t_o)} k \right\} \cdot [\delta(t - t_i) + S_i] = -\delta \cdot [1 - e^{-k(t-t_o)}]^b$$

El tiempo óptimo para cada estanque dependerá de sus parámetros los cuales ya fueron previamente estimados. Así, el tiempo óptimo que maximiza la biomasa durante un ciclo productivo para el estanque 4 es de 12.12 semanas y para el estanque 30 el tiempo óptimo es de 13.12 semanas.

El objetivo de determinar el tiempo en el que la biomasa es máxima es para contrastar si este sencillo criterio de optimización es superior al esquema presentado en esta investigación mediante el enfoque redes operacionales usando un modelo de programación lineal.

Tomar como referencia el tiempo que maximiza la biomasa para fijar una política de talla objetivo a cosechar se traduce a que la talla entero y la talla cola para el estanque 4 son 50-60 y 41-50, respectivamente. Por otra parte, para el estanque 30 las tallas objetivo para entero y cola son 50-60 y 41-50, respectivamente.

Así, en base a los resultados obtenidos mediante este criterio de maximización de la biomasa se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a ingresos por talla y por estanque.

Cuadro 20 - Ingresos Máximos por Estanque – Maximización Biomasa

Estanque	Tallas	Sin Mantenimiento	Una Semana de Mantenimiento	Variación Ingresos
		Ingresos	Ingresos	
4	<i>Entero 50-60</i>	\$588,882.94	\$587,780.87	\$-1,102.07
	<i>Cola 41-50</i>	\$501,546.93	\$498,797.43	\$-2,749.50
30	<i>Entero 50-60</i>	\$206,093.43	\$206,605.45	\$512.02
	<i>Cola 41-50</i>	\$174,844.83	\$175,483.54	\$638.71

Elaborado por el autor

Finalmente, se muestra a continuación el ingreso máximo obtenido de ambos estanques dentro del periodo de planeación de 52 semanas.

Cuadro 21 - Ingresos Máximos Ambos Estanques – Maximización Biomasa

Total Piscinas 4-30	Sin Mantenimiento	Una Semana de Mantenimiento
Tallas	Ingresos	Ingresos
<i>Entero 50-60</i>	\$794,976.37	\$794,386.32
<i>Cola 41-50</i>	\$676,391.76	\$674,280.97

Elaborado por el autor

5.7 Análisis

En cuanto a los resultados del modelo de redes operacionales basado en ingresos cabe indicar que al evaluar las diferentes estrategias de cosecha como talla, producto y periodo de mantenimiento se evidencia como los sets de planeación factible y el volumen de ingresos se pueden ver alterados dentro del periodo de planeación T.

Para ambos estanques, el cosechar como producto entero genera un mayor nivel de ingresos que cosechar como producto cola como se puede apreciar en los cuadros 16 y 18, aunque la decisión de cosechar como entero no depende en la práctica del monto de ingresos a obtener, sino más bien de incurrir en un *Costo Adicional de Aseguramiento de Calidad*¹², CAAC, debido a los estrictos requerimientos para que el camarón pueda ser clasificado como entero. (Carlos Campoverde, entrevista personal, enero del 2017). La limitación de información por parte de la granja camaronera no permitió contar con dicho costo. No obstante, en la práctica real si se tuviese información de dicho costo, siempre que los ingresos adicionales de cosechar como entero superen el costo CAAC, el administrador preferirá cosechar como tal.

La evaluación del periodo de mantenimiento puede afectar de forma considerable el total de ingresos recibidos dentro del periodo de planeación T tal como sucede en el estanque 4 (cuadro 16) en las tallas 60_70, 41_50, y 36_40 en donde hay una disminución de aproximadamente el 20% en promedio en los ingresos a causa de la disminución de un ciclo productivo cuando hay una semana de mantenimiento.

Por otra parte, en el estanque 30 (cuadro 18), ante una semana de mantenimiento del suelo se produce una disminución de aproximadamente el 28% en promedio de los ingresos en las tallas 50_60 y 40_50 debido a que un ciclo productivo es acortado. No obstante, la razón para que en las tallas 60_70 y 36_40 no exista variación alguna en el total de ingresos, considerando que ante la postergación de una semana por mantenimiento las fechas de planeación difieran y los periodos de crecimiento sean los mismos, sería que los precios semanales se han mantenido constantes. Ante ello, resulta importante indicar que la volatilidad de los precios es otro factor a considerar al momento de efectuar la planeación óptima.

¹² El Costo Adicional de Aseguramiento de la Calidad incluye costos adicionales como: costos de tratamiento Premium durante el periodo de crecimiento y costos adicionales de cuidado durante la cosecha.

Por otra parte, se planteó un mecanismo alternativo que consiste en determinar la fecha en que se maximiza la biomasa para establecer el esquema de planificación óptima en cada estanque productivo y así compararlo con la metodología de redes operacionales

Como resultado, el criterio de maximización de la biomasa se vuelve rígido al no considerar muchas de las alternativas de fechas tentativas de cosecha en las que el camarón puede alcanzar una talla específica, ya que la fecha que maximiza la biomasa es única en cada estanque dejando de lado muchas combinaciones de siembra y cosecha en una talla a cosechar.

Una vez que los resultados de ambos criterios han sido develados en los cuadros 19 y 21 se puede mencionar que para el producto cola el criterio de maximización de la biomasa sugiere que cosechar tallas más grandes que la talla 41-50 produciría menores ingresos lo cual es compatible con el enfoque de redes operacionales; no obstante, el método de redes operacionales obtiene mayores ingresos en la talla 41-50 incluso con una semana de mantenimiento. Por otro lado, para el producto entero, el criterio de maximización de la biomasa sugiere que no se debe cosechar a una talla más grande que la talla 50-60 ya que se generarían menores ingresos lo cual es compatible con el método de redes; sin embargo, el método de redes operacionales devela que una talla más pequeña, 60-70, produce mayores ingresos dentro del periodo de planeación T el cual es un hecho que no puede ser determinado por el criterio de maximización de la biomasa.

En base a estas comparaciones entre ambos criterios se puede argumentar que el método de redes operacionales es más flexible al poder considerar muchas más alternativas de siembra y cosecha tanto en la talla objetivo, producto a cosechar y periodo de mantenimiento del suelo; empero, el criterio de maximización de la biomasa podría ser una guía para descartar alguna talla a cosechar.

CONCLUSIONES

El desarrollo de un modelo de planeación óptimo surge como una necesidad a la falta de mecanismos de optimización en las granjas camaroneras ecuatorianas que en su mayoría son producto de una falta de conocimientos técnicos y de una escasa recolección de información estadística de su producción lo que imposibilita tanto tener una lectura de la situación histórica de la operación camaronera como una posible estimación futura de las ganancias mucho menos de un óptimo. Ante este escenario, un modelo bio-económico que emplee información concerniente a producción, sobrevivencia, precios, ingresos, costos de producción e implicaciones biológicas permitiría determinar un esquema de planeación de siembra y cosecha que maximice las ganancias.

No obstante, en este estudio cabe mencionar que a causa de una limitación en la información por parte de la granja camaronera que proveyó la información, un modelo bio-económico basado en ganancias no fue viable debido a la carencia de datos respecto a costos en especial al costo de alimentación del camarón; por tanto, en esta investigación el modelo planteado se enfocó exclusivamente en ingresos y no en ganancias.

Por supuesto, el esquema de planeación óptimo basado en ingresos no sería necesariamente el mismo que si se usara el modelo basado en ganancias, ya que la información de costos de alimentación presenta comportamientos incrementales no lineales a medida que el camarón se desarrolla lo que a su vez impactaría en el nivel de utilidades Run Yu y P. Leung (2005). Sin embargo, se aprovechó la información disponible de la granja camaronera en cuanto a sobrevivencia, ganancia de peso, biomasa y precios para desarrollar un modelo de planeación que maximice ingresos.

Empero, se puede afirmar que estudios de este tipo que busquen mecanismos para tomar mejores decisiones de planeación de siembra y cosecha en acuicultura no existen en Ecuador; por tanto, esta investigación se convierte en la primera herramienta que permite planear óptimamente los ciclos productivos con el objetivo de maximizar los ingresos de una compañía dedicada a la producción del camarón.

Cabe acotar que el modelo propuesto en esta investigación tiene la ventaja de que con ayuda de la metodología de redes operacionales se podría incluir los costos de producción mediante alguna forma funcional idónea, y así efectuar las simulaciones en los

distintos escenarios de producto a cosechar, talla objetivo y mantenimiento del suelo, mediante el modelo de programación lineal y determinar el esquema óptimo de siembra y cosecha.

La metodología de redes operacionales y de los supuestos empleados en el modelo permitió convertir un problema NP - Hard irresoluble en un problema de programación lineal al facilitar la representación del problema y al disminuir el dominio de combinaciones de ciclos factibles. De esta forma, el modelo de programación lineal facilita la determinación del esquema de planeación óptima para cada una de las piscinas productivas. La representación de siembra y cosecha mediante redes operacionales describen perfectamente todas las posibles rutas de planeación que el administrador puede tomar con el fin de maximizar, en este caso los ingresos, lo que convierte a la metodología de redes operacionales en un mecanismo idóneo para representar el problema mediante el modelo propuesto en la sección 5.5

En lo que respecta a la práctica camaronera es común el criterio entre los dueños de granjas que es preferible cosechar a tallas más grandes debido a que los precios de dichas tallas son más altos; sin embargo, no toman en consideración el hecho de que a tallas más grandes los niveles de costos tienden a aumentar y que el número de ciclos productivos dentro de un periodo de planeación T se reducen y a su vez el monto de ingresos. Claro que en este caso no se cuenta con información de costos; empero, el número de ciclos se convierte en un criterio a considerar, ya que al cosechar a tallas más pequeñas podrían producir más ciclos productivos y a un mayor nivel de ingresos a lo largo de un periodo de planeación de $T = 52$ semanas debido a que el camarón necesita menos semanas para alcanzar las tallas más pequeñas lo que disminuye los periodos de crecimiento entre siembra y cosecha en cada ciclo productivo aumentando el número de ciclos productivos al año .

Para la modelación de la variable ganancia de peso, la función Von Bertalanffy permite un ajuste considerable a los datos reales promedio de ganancia de peso en cada estanque productivo lo que permite estimar a su vez la biomasa.

Debido a que no existe una estandarización en la forma de operar de esta camaronera en cada estanque productivo los resultados de los parámetros de la función Von Bertalanffy difieren lo que conlleva a diferentes ritmos de ganancia de peso. Por esa razón no era posible asumir un comportamiento único de ganancia de peso para ambos estanques lo que podría haber llevado a un erróneo esquema de planeación.

La evaluación de diferentes escenarios de administración permite conocer como las decisiones tomadas por los administradores cambian el esquema de planeación óptima. Así, cambios tanto en la talla a cosechar, tipo de producto y mantenimiento del suelo pueden afectar considerablemente los ingresos correspondientes a lo largo del periodo de planeación

Adicionalmente, se comparó el método propuesto en esta investigación con el criterio de maximización de la biomasa en donde se evidenció que el método de redes operacionales posee un mayor espectro de análisis al poder evaluar todas las combinaciones de fechas óptimas de siembra y cosecha a diferentes tallas, tipo de producto y periodo de mantenimiento del suelo ya que la fecha que maximiza la biomasa en cada estanque dentro del periodo de planeación T es tan solo un elemento posible dentro del set de planeación factible que puede considerar la metodología de redes operacionales al fijar una talla a cosechar en cada estanque.

El modelo de cosecha óptima en base a redes operacionales se muestra como una base sólida para posibles extensiones y adecuaciones al problema de planeación óptima, así como la inclusión de aspectos de tipo climático, lo que posibilitaría mejoras a las operaciones de administración acuícolas. A su vez, el modelo puede ser extendido para incluir las etapas de incubación y cuidado del camarón en su etapa pre larva para luego sincronizarlas con la etapa de crecimiento del camarón entre siembra y cosecha.

Finalmente, el modelo de planeación propuesto en esta investigación mediante el uso de redes operacionales claramente es una herramienta que permite visualizar a los tomadores de decisiones de las granjas camaroneras las diferentes alternativas para obtener el mejor escenario posible. Además, si las empacadoras demandan algún rango específico de tallas o algún tipo de producto en particular, el administrador puede elegir la talla y el tipo de producto a vender que maximice los ingresos dentro del periodo de planeación T .

RECOMENDACIONES

- 1) El modelo planteado podría ser extendido a diversas formas de actividades acuícolas como la producción de moluscos como la concha, el mejillón; peces como la tilapia, la trucha; crustáceos como los camarones, cangrejos y langostas al aplicar un mínimo de cambios a la estructura básica del modelo con el propósito de determinar un esquema de planeación óptimo que maximice los ingresos.
- 2) La sobrevivencia podría ser estimada mediante una forma funcional que considere que los cambios en la mortalidad dependen de la densidad poblacional; así, una mejor estimación de la sobrevivencia podría cambiar el esquema de planeación óptimo.
- 3) Sería ideal incorporar como los cambios climáticos pueden alterar la dinámica de crecimiento del camarón mediante la inclusión de la temperatura, niveles de oxigenación del agua, salinidad, los cuales serían factores que determinen la tasa de crecimiento del camarón. De esta forma se puede obtener un mejor esquema de planeación que considere aspectos climáticos.
- 4) Un modelo que incluya la optimización del nivel de producción mediante el cálculo de un óptimo económico para cada factor de producción como la alimentación, horas de recambio de agua, densidad, etc. daría al esquema de planeación de ciclos productivos un enfoque doble al maximizar la rentabilidad y optimizar el nivel de insumos. Esto sería relevante para los productores ya que ayudaría a que conozcan si se encuentran produciendo a niveles que estén por debajo del óptimo y así realizar los correctivos necesarios para que su producción final aumente, además de encontrar el esquema de planeación óptima que maximice la rentabilidad.
- 5) El análisis de planeación óptima podría plantearse en función de la maximización de la utilidad al incluir los costos de producción variables y fijos, lo cual otorgaría un enfoque más cercano a la práctica administrativa.
- 6) Elaborar un análisis de escenarios más detallado al evaluar todas las tallas por tipo de producto sería ideal para conocer el tipo de talla óptimo que maximice los ingresos durante el periodo de planeación de 52 semanas.

REFERENCIAS

- Arnason R. (1992). *Optimal feeding schedules and harvesting time in aquaculture*. Marine Resource Economics. 7 15-35.
- Bjørndal, T. (1988) *Optimal Harvesting of Farmed Fish. Marine Resource Economics* (Vol. 5) pp. 139-159.
- Cacho, O.J. (1997) *Systems Modeling and Bioeconomic Modeling in Aquaculture*. Aquaculture Economics and Management (Vol.1) pp. 45-64
- Cacho O.J., Kinnucan H., Hatch U. (1991). *Optimal control of fish growth*, Am. Agric. Econ. 73 174–183.
- Cámara Nacional de Acuicultura (CNA). *Análisis de las Exportaciones de Camarón*. Retrieved 2016 from <http://www.cna-ecuador.com/comercio-exterior/estadisticas/camaron>
- Campoverde, C. (2017, enero). (J. Cedeño, entrevistador).
- Chavez, H. (2000). *Análisis Estadístico de la Producción Camaronera del Ecuador*. Instituto de Ciencias Matemáticas. Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL.
- Córdova, J. (2015). *Primer Reporte de una Función de Producción Empírica para el Cultivo de Camarón en 64 Granjas Camaroneras de Ecuador*. Tesis de Post Grado. Facultad de Economía y Negocios. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- El Telégrafo. (2017, 25 de marzo). *La tarifa camaronera será de \$0,065 por k/h*. Obtenido de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/la-tarifa-camaronera-sera-de-usd0-065-por-k-h>
- FAO. (n.d.). *Visión general del sector acuícola del Ecuador*. Retrieved from http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_ecuador/es
- Forsberg O.I. (1996). *Optimal stocking and harvesting of size-structured farmed fish: a multi-period linear programming approach*, Math. Comp. Simulat. 42 299–305.
- Guttormsen, A. (2008). *Faustmann in the Sea: Optimal Rotation in Aquaculture*. Marine Resource Economics. (Vol.23), pp 401-410).
- Glover Fred, Klingman Darwin, Phillips. Nancy V. (1992). *Network Models in Optimization and their Applications in Practice*. John Wiley & Sons, New York.
- Haddon Malcolm, *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Second Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011.
- Hean R.L.. (1994). *An optimal management model for intensive aquaculture in Atlantic salmon*, Aust. J. Agric. Econ. 38 (1994) 31-47.
- Karp L., Sadeh y W.L. Griffin. (1986). *Cycles in Agricultural Production. The case of Aquaculture*. American Journal of Agricultural Economics. 68(3):553-61
- Leung P.S., Shang Y.C., (1989). *Modelling prawn production management system: a dynamic Markov decision approach*, Agric.Syst. 29 5–20
- Leung P.S., Lee D.J., Hochan E. (1994) *Bioeconomic modeling of shrimp and*

- prawn: a methodological comparison*, Aquacult. Models Econ. 4 39–53.
- Marriott, F. (2003). *Análisis del Sector Camaronero*. Apunte de Economía No. 29. Ecuador: Banco Central del Ecuador.
 - Pascoe S., Wattage P., Naik A.. (2002) *Optimal harvesting strategies: practice versus theory*, Aquacult. Econ. Manage. 6 295–308.
 - Purwanto. (1997). *Economic optimization in prawn farming*. PhD. Thesis. James Cook University.
 - Rosenberry, B., (1998). *World shrimp farming 1998*. Shrimp News International, San Diego, California, USA. p. 328.
 - Ruales Carpio, A. (2012). *Evaluación de Rendimiento del Camarón (Litopenaeus vannamei) en cautiverio a través de un Sistema de Producción con Aireadores de Paletas*. Retrieved from <http://www.repositorio.ucsg.edu.ec>
 - Springborn R.R., Jensen A.J., Chang W.Y.B., Engle C.. (1992) *Optimum harvest time in aquaculture: an application of economic principles to a Nile Tilapia, Oreochromis niloticus (L.)*, growth model, Aquacult. Fish. Manage. 23) 639–647.
 - Tian Xijun, Leung PingSun (1992). *Shrimp Growth Functions and Their Economic Implications*. Aquacultural Engineering 12 (pp. 81-96)
 - Vera San Martin, T. (2009). *Manejo Ambiental integrado de la acuicultura del camarón en el golfo de Guayaquil apoyado en sistemas de información geográfica*. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
 - Wang, J. & Fast, A.W., 1992. *Shrimp pond engineering considerations*. In: Fast A.W. and Lester L.J. (Eds). Marine shrimp culture: principles and practices. Developments in aquaculture and fisheries science, volume 23. Elsevier Science Publisher B.V., The Netherlands.
 - Winston, L.W., Albright, C.S., Broadie, M. (2000) *Practical Management Science* Duxbury Thomson Learning. USA
 - Yu Run, Leung PingSun, Bienfang Paul. (2005). *Optimal production Schedule in commercial shrimp culture*. Aquaculture 254. 426 - 441
 - Yu Run, Leung PingSun. (2005). *Optimal harvesting strategies for a multi-cycle and multi-pond shrimp operation: A practical network model*. Mathematics and Computers in Simulation 68. Pp. 339-354
 - Yu Run, Leung Pingseun (2006). *Optimal Partial Harvesting Schedules for Aquaculture Operations*. Marine Resource Economics. Vol. 21 (pp. 301-315)
 - Yu Run, Leung P., Bienfang P.. (2007). *Modeling partial harvesting in intensive shrimp culture: A network-flow approach*. European Journal of Operational Research, (pp. 262-271).

ANEXOS

Anexo 1 – Crecimiento Promedio Real Piscina Número 4

PISCINA NÚMERO 4							
Ciclo # 1		Ciclo # 2		Ciclo # 3		Promedio Entre Ciclos	
Semana	Crecimiento Promedio Gramos	Semana	Crecimiento Promedio Gramos	Semana	Crecimiento Promedio Gramos	Semana	Crecimiento Promedio Real (Gramos)
1	3.02	1	1.51	1	4	1	2.84
2	3.29	2	2.7	2	4.46	2	3.48
3	4.49	3	4	3	6.2	3	4.90
4	6.26	4	5.4	4	7.9	4	6.52
5	6.61	5	6.8	5	8.9	5	7.44
6	7.96	6	8.63	6	10.2	6	8.93
7	9.76	7	10.5	7	11.7	7	10.65
8	10.93	8	13.18	8	12.95	8	12.35
9	11.86	9	13.63	9	14.97	9	13.49
10	12.74	10	15.69	10	15.9	10	14.78
11	14.28	11	16.7	11	16.95	11	15.98
12	16	12	18.07	12	17.95	12	17.34

Fuente: Compañía Camaronera
Elaborado por el autor

Anexo 2 – Crecimiento Promedio Real Piscina Número 30

PISCINA NÚMERO 30							
Ciclo # 1		Ciclo # 2		Ciclo # 3		Promedio Entre Ciclos	
Semana	Crecimiento Promedio Gramos	Semana	Crecimiento Promedio Gramos	Semana	Crecimiento Promedio Gramos	Semana	Crecimiento Promedio Real (Gramos)
1	0.31	1	3.00	1	1.26	1	1.52
2	1.84	2	3.85	2	2.5	2	2.73
3	2.64	3	5.19	3	4.13	3	3.99
4	3.08	4	6.49	4	5	4	4.86
5	3.94	5	7.61	5	6.31	5	5.95
6	5.14	6	9.08	6	7.8	6	7.34
7	6	7	10.18	7	8.61	7	8.26
8	7.15	8	14.1	8	10	8	10.42
9	8.2	9	15.79	9	12	9	12.00
10	9.2	10	17.4	10	13.7	10	13.43
11	10.3	11	18.07	11	15.38	11	14.58
12	11.3	12	19.43	12	16.8	12	15.84

Fuente: Compañía Camaronera
Elaborado por el autor

Anexo 3 – Serie de Precios Internacionales Producto Entero Año 2016

Fecha	Semana	Precio Internacional Talla 40_50	Precio Internacional Talla 50_60	Precio Internacional Talla 60_70
4/1/2016	1	3.45	3	2.8
11/1/2016	2	3.45	3	2.8
18/1/2016	3	3.45	3	2.8
25/1/2016	4	3.45	3	2.8
1/2/2016	5	3.45	3	2.8
8/2/2016	6	3.45	3	2.8
15/2/2016	7	3.45	3	2.8
22/2/2016	8	3.45	3	2.8
29/2/2016	9	3.45	3	2.8
7/3/2016	10	3.45	3	2.8
14/3/2016	11	3.45	3	2.8
21/3/2016	12	3.45	3	2.8
28/3/2016	13	3.4	3	2.8
4/4/2016	14	3.4	3	2.8
11/4/2016	15	3.425	3.025	2.825
18/4/2016	16	3.525	3.125	2.925
25/4/2016	17	3.55	3.25	3.05
2/5/2016	18	3.75	3.35	3.15
9/5/2016	19	3.85	3.35	3.15
16/5/2016	20	3.85	3.4	3.2
23/5/2016	21	3.85	3.5	3.25
30/5/2016	22	3.85	3.5	3.25
6/6/2016	23	3.85	3.5	3.25
13/6/2016	24	3.75	3.5	3.25
20/6/2016	25	3.75	3.5	3.25
27/6/2016	26	3.7	3.475	3.25
4/7/2016	27	3.7	3.45	3.25
11/7/2016	28	3.6	3.375	3.15
18/7/2016	29	3.55	3.3	3.05
25/7/2016	30	3.55	3.3	3.05
1/8/2016	31	3.55	3.3	3.05
8/8/2016	32	3.55	3.3	3.05
15/8/2016	33	3.55	3.3	3.05
22/8/2016	34	3.55	3.3	3.05
29/8/2016	35	3.55	3.3	3.05
5/9/2016	36	3.55	3.3	3.05
12/9/2016	37	3.55	3.3	3.05
19/9/2016	38	3.55	3.3	3.05

26/9/2016	39	3.575	3.325	3.075
3/10/2016	40	3.6	3.35	3.1
10/10/2016	41	3.65	3.4	3.15
17/10/2016	42	3.65	3.4	3.15
24/10/2016	43	3.65	3.4	3.15
31/10/2016	44	3.65	3.4	3.2
7/11/2016	45	3.625	3.375	3.2
14/11/2016	46	3.475	3.25	3.15
21/11/2016	47	3.45	3.2	3.1
28/11/2016	48	3.4	3.15	3.05
5/12/2016	49	3.35	3.15	3.05
12/12/2016	50	3.35	3.15	3.05
19/12/2016	51	3.3	3.1	3.05
26/12/2016	52	3.3	3.1	3.05

Fuente: Urner Barry

Elaborado por el autor

Anexo 4 – Serie de Precios Internacionales Producto Cola Año 2016

Fecha	Semana	Precio Internacional Talla 31_35	Precio Internacional Talla 36_40	Precio Internacional Talla 41_50
4/1/2016	1	4.05	3.8	3.75
11/1/2016	2	4.05	3.8	3.75
18/1/2016	3	4.05	3.8	3.75
25/1/2016	4	4.05	3.8	3.75
1/2/2016	5	4.05	3.8	3.75
8/2/2016	6	4	3.75	3.7
15/2/2016	7	3.975	3.75	3.7
22/2/2016	8	3.95	3.75	3.7
29/2/2016	9	3.95	3.75	3.7
7/3/2016	10	3.95	3.75	3.7
14/3/2016	11	3.925	3.725	3.675
21/3/2016	12	3.9	3.7	3.65
28/3/2016	13	3.9	3.7	3.65
4/4/2016	14	3.9	3.7	3.65
11/4/2016	15	3.925	3.725	3.675
18/4/2016	16	4.075	3.875	3.825
25/4/2016	17	4.2	3.95	3.9
2/5/2016	18	4.2	4	3.9
9/5/2016	19	4.2	4	3.9
16/5/2016	20	4.2	4	3.9
23/5/2016	21	4.25	4.05	3.9
30/5/2016	22	4.3	4.1	3.95
6/6/2016	23	4.3	4.1	3.95
13/6/2016	24	4.325	4.125	3.975
20/6/2016	25	4.35	4.15	4
27/6/2016	26	4.4	4.2	4.05
4/7/2016	27	4.45	4.25	4.05
11/7/2016	28	4.5	4.3	4.05
18/7/2016	29	4.55	4.3	4.05
25/7/2016	30	4.6	4.3	4.05
1/8/2016	31	4.65	4.35	4.05
8/8/2016	32	4.675	4.35	4.05
15/8/2016	33	4.7	4.35	4.05
22/8/2016	34	4.725	4.375	4.075
29/8/2016	35	4.8	4.45	4.15
5/9/2016	36	4.85	4.5	4.2
12/9/2016	37	4.85	4.5	4.25
19/9/2016	38	4.85	4.5	4.25

26/9/2016	39	4.85	4.5	4.25
3/10/2016	40	4.85	4.5	4.275
10/10/2016	41	4.85	4.55	4.3
17/10/2016	42	4.85	4.55	4.3
24/10/2016	43	4.875	4.55	4.3
31/10/2016	44	4.9	4.55	4.3
7/11/2016	45	4.875	4.525	4.25
14/11/2016	46	4.725	4.4	4.2
21/11/2016	47	4.65	4.35	4.15
28/11/2016	48	4.6	4.3	4.1
5/12/2016	49	4.525	4.275	4.075
12/12/2016	50	4.45	4.2	4
19/12/2016	51	4.4	4.15	3.95
26/12/2016	52	4.4	4.15	3.95

Fuente: Urner Barry

Elaborado por el autor