



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
PIRHUA

# MODELO MATEMÁTICO PARA MONITOREAR EL CRECIMIENTO DE LANGOSTINOS

Felipe Burneo-Posavac

Piura, noviembre de 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas

Burneo, F. (2018). *Modelo matemático para monitorear el crecimiento de langostinos* (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

**UNIVERSIDAD DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS**

**FELIPE MIGUEL BURNEO POSAVAC**

**Título: “Modelo matemático para monitorear el crecimiento de langostinos”**

Año 2018, 116 páginas (1 tomo), 04 apéndices, 1 CD

Asesor: Dra. Ing. Susana Vegas Chiyón

### **Resumen**

El estudio busca obtener una solución para la predicción del crecimiento del langostino en la crianza semi-intensiva. Para ello, se planteó crear un modelo estadístico a partir de la información brindada por la empresa BUVA Camarón S.A.C. y estudios similares como los de Carvajal y Nebot (1998), Yu et al. (2006), y Esmaeili y Tarazkar (2011).

Se utilizó información de 7 pozas diferentes durante la campaña de octubre de 2011 a enero de 2012, contando con 23 variables sobre la población de langostinos y características de las pozas. Debido a las características de la información, se usaron técnicas no paramétricas para la imputación de valores perdidos y simulación de acuerdo al método Montecarlo. Finalmente, se plantearon siete especificaciones diferentes de predicción del crecimiento de los langostinos conforme a la literatura y opinión de expertos para demostrar la robustez del modelo.



**UNIVERSIDAD DE PIURA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**Modelo matemático para monitorear el crecimiento de langostinos**

**Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Industrial y de Sistemas**

**Felipe Miguel Burneo Posavac**

**Asesor: Dra. Ing. Susana Vegas Chiyón**

**Piura, noviembre 2018**



## Índice

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1 Cultivos de langostinos .....</b>	<b>3</b>
1.1. Historia.....	3
1.2. Sistemas de cultivo.....	4
1.2.1. Intensivo .....	4
1.2.2. Semi intensivo .....	5
1.2.3. Comparación .....	5
1.3. Enfermedades.....	6
1.4. Evolución .....	6
1.5. Demanda mundial .....	7
1.6. Rol del Perú.....	8
<b>Capítulo 2 La empresa BUVA-CAMARON S.A.C .....</b>	<b>11</b>
2.1. Introducción .....	11
2.2. Ubicación geográfica .....	11
2.3. Infraestructura .....	11
2.3.1. Sistema de estanquería .....	11
2.3.2. Sistema de bombeo.....	11
2.3.3. Canal de distribución.....	12
2.4. Proceso productivo.....	12
2.4.1. Preparación de estanques.....	12
2.4.1.1. Secado.....	12
2.4.1.2. Encalado.....	13
2.4.1.3. Arado .....	13

2.4.1.4. Llenado y fertilizado.....	13
2.4.2. Semilla .....	13
2.4.3. Siembra y ciclos de producción .....	13
2.4.4. Alimentación.....	14
2.4.5. Recambio .....	14
2.4.6. Aireación.....	15
2.5. Fortalezas .....	15
2.6. Limitantes .....	15
<b>Capítulo 3 Descripción del problema .....</b>	<b>17</b>
<b>Capítulo 4 Revisión bibliográfica.....</b>	<b>19</b>
<b>Capítulo 5 Metodología y estimación .....</b>	<b>23</b>
5.1. Definición de variables .....	23
5.1.1. Tiempo .....	23
5.1.2. Nivel de oxígeno .....	23
5.1.3. Potencial de hidrógeno (pH) .....	23
5.1.4. Temperatura del agua.....	24
5.1.5. Visibilidad o nivel de claridad del agua (SECCHI) .....	24
5.1.6. Espejo de agua .....	24
5.1.7. Salinidad.....	24
5.1.8. Supervivencia.....	25
5.1.9. Población inicial.....	25
5.1.10. Población actual .....	26
5.1.11. Peso .....	26
5.1.12. Alimento.....	27
5.1.13. Rendimiento .....	27
5.1.14. Densidad.....	28
5.1.15. Factor de crecimiento (FCR).....	28
5.2. Análisis previo de los datos .....	28
5.2.1. La estructura de los datos.....	28
5.2.2. El Análisis .....	30
5.2.2.1. Variables observadas .....	31

5.2.2.1.1.	Espejo de agua .....	31
5.2.2.1.2.	Oxígeno.....	31
5.2.2.1.3.	Temperatura .....	31
5.2.2.1.4.	pH.....	31
5.2.2.1.5.	SECCHI .....	32
5.2.2.1.6.	Salinidad .....	32
5.2.2.1.7.	Peso del langostino .....	32
5.2.2.2.	Variables calculadas .....	40
5.2.2.2.1.	Increpeso .....	41
5.2.2.2.2.	Población actual.....	41
5.2.2.2.3.	Biomasa .....	41
5.2.2.2.4.	Rendimiento.....	41
5.2.2.2.5.	Alimento semanal balanceado .....	41
5.2.2.2.6.	Rendimiento del alimento balanceado.....	42
5.2.2.2.7.	Factor de crecimiento.....	42
5.2.2.2.8.	Densidad .....	43
5.3.	Estimación de modelo.....	51
5.3.1.	Marco teórico .....	51
5.3.1.1.	Regresión lineal multivariada .....	51
5.3.1.2.	Simulación de montecarlo .....	54
5.3.2.	Resumen estadístico de las variables.....	55
5.3.3.	Estimación y resultados.....	57
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>61</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>65</b>
	<b>Apéndice .....</b>	<b>67</b>
	Apéndice A. Densidades empíricas de estimadores .....	69
	Apéndice B. Interpolación de datos y simulación de Montercarlo.....	76
	Apéndice C. Código de estimación .....	82
	Apéndice D. Código de densidades empíricas .....	95





## Índice de tablas

Tabla 1.	Inversión y rendimientos por métodos de cultivo de langostino .....	4
Tabla 2.	Tabla comparativa de las características entre los sistemas productivos.....	5
Tabla 3.	Áreas y tirantes de agua promedio en estanques de producción en la empresa langostinera BUVA- Camarón .....	12
Tabla 4.	Descripción técnica de las estaciones de bombeo en empresa langostinera BUVA-Camarón†.....	12
Tabla 5.	Capacidad de recambio de toda la unidad productiva en la empresa BUVA Camarón.....	14
Tabla 6.	Formas funcionales .....	20
Tabla 7.	Comparación de bondad de ajuste y precisión ( <i>muestra de validación</i> ).....	20
Tabla 8.	Comparación de bondad de ajuste y precisión ( <i>muestra de estimación</i> ).....	21
Tabla 9.	Tabla de variables empleadas .....	29
Tabla 10.	Resumen estadístico de variables.....	55
Tabla 11.	Resumen de modelos estimados .....	59
Tabla 12.	Resumen de indicadores de los modelos.....	60
Tabla 13.	Resumen de indicadores de los modelos adicionales.....	60
Tabla 14.	Resumen de modelos adicionales .....	60



## Índice de figuras

Figura 1.	Producción histórica de langostinos en el Perú (1990-2010).....	6
Figura 2.	Perspectiva para el aumento del mercado para el langostino en el Perú (2010).....	7
Figura 3.	Países importadores de langostinos .....	8
Figura 4.	Valor FOB de exportaciones (Millones de US\$).....	8
Figura 5.	Espejo agua .....	33
Figura 6.	Nivel de Oxígeno por la mañana y tarde.....	34
Figura 7.	Temperatura por la mañana y tarde.....	35
Figura 8.	Nivel de pH por las mañanas y tardes.....	36
Figura 9.	Nivel de pH por poza por las mañanas y tardes .....	37
Figura 10.	SECCHI o Visibilidad de la poza .....	38
Figura 11.	Nivel de salinidad de la poza .....	39
Figura 12.	Peso del langostino por poza (medido en gramos) .....	40
Figura 13.	Variación del peso por poza (medido en gramos) .....	43
Figura 14.	Población actual por poza .....	44
Figura 15.	Nivel de biomasa por poza.....	45
Figura 16.	Rendimiento por poza .....	46
Figura 17.	Alimento balanceado semanal .....	47
Figura 18.	Rendimiento del alimento balanceado semanal .....	48
Figura 19.	Factor de crecimiento.....	49
Figura 20.	Nivel de densidad de poza .....	50
Figura 21.	Algoritmo simulación de Montecarlo .....	55