



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“Modelamiento Ambiental de Sistemas Dinámicos de nutrientes
(Fosfatos y nitratos) en la Bahía Interior de Puno, 2016 - 2026”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

Sifuentes Pizán, Angel Alfredo Salvador

ASESOR

Dr. Elmer Benites Alfraro

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Conservación y Manejo de la Biodiversidad

LIMA – PERÚ

2016 - II

Jurado

.....
PRESIDENTE

Dr. Gilberto Lorgio Valdiviezo

.....
SECRETARIO

Mgtr. Munive Cerron, Rubén

.....
VOCAL

Ing. Elmer Benites Alfaro

Dedicatoria

La presente investigación se la dedico a Dios y a mis padres Antero Sifuentes y Jacoba Pizán, que son los pilares fundamentales en mi vida, desde que tengo uso de razón. A mis hermanos por su gran apoyo a lo largo de mi vida universitaria y a mi novia Mayra Rodriguez por su paciencia, dedicación y vehemencia en demostrarme su apoyo incondicional en el largo recorrido de mi vida universitaria.

Agradecimiento

Un agradecimiento singular le debo a la Universidad Cesar Vallejo, Universidad Nacional del Altiplano que me permitió desarrollar parte de mi tesis en uno de sus laboratorios, a sus profesores que siempre mostraron mucho interés en apoyarme y a mis asesores que me han orientado, apoyado y corregido en mi labor científica con interés, además agradezco esta tesis a la universidad que me dio la bienvenida y al mundo como tal por las grandes oportunidades que me ha brindado.

Declaración de autenticidad

Yo, Sifuentes Pizán Angel Alfredo Salvador, con DNI 7271326, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 21 de diciembre del 2016

.....
Sifuentes Pizán, Angel Alfredo
DNI: 72701326

Presentación

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “**Modelamiento ambiental de sistemas dinámicos de nutrientes fundamentales de eutrofización, principalmente fosfatos y nitratos, en la bahía interior de puno, 2016**”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

El autor: Sifuentes Pizán Angel Alfredo Salvador

Indice

| | Paginas |
|---|---------|
| Jurado | ii |
| Dedicatoria | iii |
| Agradecimiento | iv |
| Declaración de autenticidad | v |
| Presentación | vi |
| Indice | vii |
| Indice de tabla | x |
| Indice de figura | xiii |
| Resumen | xvii |
| Abstract | xviii |
| I. INTRODUCCIÓN | |
| 1.1 Realidad Problemática | 2 |
| 1.2 Trabajos Previos | 5 |
| 1.3 Trabajos Relacionados | 9 |
| 1.3 Formulación del Problema | 18 |
| 1.4 Justificación del Estudio | 19 |
| 1.5 Objetivos | 19 |
| 1.6 Hipótesis | 20 |
| II. MÉTODO | |
| 2.1 Diseño de Investigación | 21 |
| 2.2 Variable | 22 |
| 2.3 Población y Muestra | 30 |
| 2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad | 31 |
| 2.5 Métodos de Análisis de datos | 32 |
| 2.6 Aspectos Éticos | 32 |
| III. RESULTADOS | |
| 3.1 ETAPA I: Definición e identificación de los puntos de monitoreo de la Bahía Interior de Puno. | 33 |
| 3.2 ETAPA II: Análisis, procesamiento e interpretación de la información histórica de los puntos de monitoreo de la Bahía Interior de Puno. | 34 |

| | |
|--|-----|
| 3.3 ETAPA III: Elaboración de diagramas de correspondencias de sistemas dinámicos en los Puntos de Monitoreo de la Bahía Interior | 70 |
| 3.4 ETAPA IV: Análisis, procesamiento e interpretación de la información básica para la formulación matemática del método predictivo | 83 |
| 3.5 ETAPA V: Modelamiento 2026 | 126 |
| IV. DISCUCIONES | 127 |
| V. CONCLUSIONES | 128 |
| VI. RECOMENDACIONES | 130 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 131 |
| ANEXOS | |
| ANEXO N° 1 | 139 |
| ANEXO N° 2 | 140 |
| ANEXO N° 3: Ecuación BI – 01 | 141 |
| ANEXO N° 4: Ecuación BI – 02 | 144 |
| ANEXO N° 5: Ecuación BI – 03 | 148 |
| ANEXO N° 6: Ecuación BI – 04 | 152 |
| ANEXO N° 7: Ecuación BI – 05 | 157 |
| ANEXO N° 8: Ecuación BI – 06 | 162 |
| ANEXO N° 9: Ecuación BI – 07 | 165 |
| ANEXO N° 10: Ecuación BI – 08 | 170 |
| ANEXO N° 11: Ecuación BI – 09 | 175 |
| ANEXO N° 12: Ecuación BI – 10 | 180 |
| ANEXO N° 13: Ecuación BI – 11 | 185 |
| ANEXO N° 14: Ecuación BI – 12 | 190 |
| ANEXO N° 15: D.S 002 – 2008 – MINAM. Categoría 4 de agua | 194 |
| ANEXO N° 16: D.S 015 – 2015 – MINAM. Categoría 4 de agua | 196 |
| ANEXO N° 17: Rangos de Erosión | 198 |
| ANEXO N° 18: Tabla de valores por parámetro (2008 – 2026) BI – 01 | 199 |
| ANEXO N° 19: Tabla de valores por parámetro (2008 – 2026) BI – 02 | 200 |
| ANEXO N° 20: Tabla de valores por parámetro (2008 – 2026) BI – 03 | 201 |
| ANEXO N° 21: Tabla de valores por parámetro (2008 – 2026) BI – 04 | 202 |
| ANEXO N° 22: Tabla de valores por parámetro (2008 – 2026) BI – 05 | 203 |
| ANEXO N° 23: Tabla de valores por parámetro (2008 – 2026) BI – 06 | 204 |

| | |
|---|-----|
| ANEXO N° 24: Tabla de valores por parámetro (2008 – 2026) BI – 07 | 205 |
| ANEXO N° 25: Tabla de valores por parámetro (2008 – 2026) BI – 08 | 206 |
| ANEXO N° 26: Tabla de valores por parámetro (2008 – 2026) BI – 09 | 207 |
| ANEXO N° 27: Tabla de valores por parámetro (2008 – 2026) BI – 10 | 208 |
| ANEXO N° 28: Tabla de valores por parámetro (2008 – 2026) BI – 11 | 209 |
| ANEXO N° 29: Tabla de valores por parámetro (2008 – 2026) BI – 12 | 210 |
| ANEXO N° 30: MATRIZ DE CONSISTENCIA | 211 |
| ANEXO N° 31: Validación de instrumentos (1er experto) | 214 |
| ANEXO N° 32: Validación de instrumentos (2do experto) | 215 |
| ANEXO N° 33: Validación de instrumentos (3er experto) | 216 |

Indice de tabla

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 1. | Ubicación geográfica y parámetros morfométricos | 3 |
| Tabla 2. | Operacionalización de Variables | 22 |
| Tabla 3. | Indicadores de la Operacionalización de Variables | 23 |
| Tabla 4. | Estaciones de Monitoreo | 30 |
| Tabla 5. | Definición e identificación de los puntos de control | 33 |
| Tabla 6. | Variables que influyen en el cambio de concentraciones de nutrientes | 34 |
| Tabla 7. | Oxígeno Disuelto 2008 | 35 |
| Tabla 8. | Oxígeno Disuelto 2009 | 36 |
| Tabla 9. | Oxígeno Disuelto 2010 | 36 |
| Tabla 10. | Oxígeno Disuelto 2011 | 37 |
| Tabla 11. | Oxígeno Disuelto 2013 | 38 |
| Tabla 12. | Fórmula Polinómica para regresión de Oxígeno Disuelto del año 2013 | 38 |
| Tabla 13. | Oxígeno Disuelto 2014 | 39 |
| Tabla 14. | Oxígeno Disuelto 2015 | 39 |
| Tabla 15. | DBO5 2008 | 40 |
| Tabla 16. | DBO5 2009 | 40 |
| Tabla 17. | DBO5 2010 | 41 |
| Tabla 18. | DBO5 2012 | 41 |
| Tabla 19. | DBO5 2013 | 42 |
| Tabla 20. | Fórmula Polinómica para regresión de DBO5 del año 2013 | 42 |
| Tabla 21. | DBO5 2014 | 43 |
| Tabla 22. | Nitratos 2008 | 43 |
| Tabla 23. | Nitratos 2010 | 44 |

| | |
|--|----|
| Tabla 24. Nitratos 2010 | 44 |
| Tabla 25. Fórmula Polinómica para regresión de nitratos del año 2010 | 45 |
| Tabla 26. Nitratos 2011 | 45 |
| Tabla 27. Nitratos 2012 | 46 |
| Tabla 28. Nitratos 2013 | 46 |
| Tabla 29. Nitratos 2014 | 47 |
| Tabla 30. Nitratos 2015 | 47 |
| Tabla 31. Fosfatos 2008 | 48 |
| Tabla 32. Fosfatos 2009 | 48 |
| Tabla 33. Fosfatos 2010 | 49 |
| Tabla 34. Fórmula Polinómica para regresión de Fosfatos del año 2010 | 49 |
| Tabla 35. Fosfatos 2011 | 50 |
| Tabla 36. Fosfatos 2012 | 50 |
| Tabla 37. Fosfatos 2013 | 51 |
| Tabla 38. Fosfatos 2014 | 51 |
| Tabla 39. Fosfatos 2015 | 52 |
| Tabla 40. Temperatura 2008 | 52 |
| Tabla 41. Temperatura 2009 | 53 |
| Tabla 42. Temperatura 2010 | 53 |
| Tabla 43. Temperatura 2011 | 54 |
| Tabla 44. Temperatura 2012 | 54 |
| Tabla 45. Temperatura 2013 | 55 |
| Tabla 46. Fórmula Polinómica para regresión de temperatura del año 2013 | 55 |
| Tabla 47. Temperatura 2014 | 56 |
| Tabla 48. Temperatura 2015 | 56 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 49. pH 2008 | 57 |
| Tabla 50. pH 2009 | 57 |
| Tabla 51. pH 2010 | 58 |
| Tabla 52. pH 2011 | 58 |
| Tabla 53. pH 2012 | 59 |
| Tabla 54. pH 2013 | 59 |
| Tabla 55. Fórmula Polinómica para regresión de pH del año 2013 | 60 |
| Tabla 56. pH 2014 | 60 |
| Tabla 57. Fórmula Polinómica para regresión de pH del año 2014 | 61 |
| Tabla 58. pH 2015 | 61 |
| Tabla 59. Instituto Nacional de Estadística e Informática | 65 |
| Tabla 60. Proyección de crecimiento de caudal | 66 |
| Tabla 61. Promedio DBO5 | 83 |
| Tabla 62. Promedio Temperatura | 84 |
| Tabla 63. Promedio Oxígeno Disuelto | 84 |
| Tabla 64. Promedio pH | 85 |
| Tabla 65. Promedio Nitratos | 85 |
| Tabla 66. Promedio Fosfatos | 86 |
| Tabla 67. Proyecciones de indicadores para el año 2026 | 126 |

Indice de figura

| | Paginas |
|--|---------|
| Figura 1. Fórmulas para cálculo del TSI, obtenido de la investigación Diaz, Ana y Sotomayor | 7 |
| Figura 2. Elementos de construcción del Stella 9.0.2 | 17 |
| Figura 3. Estableciendo Puntos de Control | 33 |
| Figura 4. Relación entre erosión y precipitación | 63 |
| Figura 5. Mapa de ubicación de hectáreas de totora en la Bahía Interior de Puno | 67 |
| Figura 6. BI – 01 (elaboración propia) | 71 |
| Figura 7. BI – 02 (elaboración propia) | 72 |
| Figura 8. BI – 03 (elaboración propia) | 73 |
| Figura 9. BI – 04 (elaboración propia) | 74 |
| Figura 10. BI – 05 (elaboración propia) | 75 |
| Figura 11. BI – 06 (elaboración propia) | 76 |
| Figura 12. BI – 07 (elaboración propia) | 77 |
| Figura 13. BI – 08 (elaboración propia) | 78 |
| Figura 14. BI – 09 (elaboración propia) | 79 |
| Figura 15. BI – 10 (elaboración propia) | 80 |
| Figura 16. BI – 11 (elaboración propia) | 81 |
| Figura 17. BI – 12 (elaboración propia) | 82 |
| Figura 18. BI – 01 Concentración anual promedio histórico de nitratos | 88 |
| Figura 19. BI – 01 Concentración anual promedio Stella de nitratos | 89 |
| Figura 20. BI – 01 | 89 |
| Figura 21. BI – 01 Concentración anual promedio histórico de fosfatos | 90 |
| Figura 22. BI – 01 Concentración anual promedio Stella de fosfatos | 90 |

| | |
|---|-----|
| Figura 23. BI – 01 | 91 |
| Figura 24. BI – 02 Concentración anual promedio histórico de nitratos | 91 |
| Figura 25. BI – 02 Concentración anual promedio Stella de nitratos | 92 |
| Figura 26. BI – 02 | 93 |
| Figura 27. BI – 02 Concentración anual promedio histórico de fosfatos | 93 |
| Figura 28. BI – 02 Concentración anual promedio Stella de fosfatos | 94 |
| Figura 29. BI – 02 | 94 |
| Figura 30. BI – 03 Concentración anual promedio histórico de nitratos Tendencia de nitratos basada en datos históricos del punto de muestreo BI – 03, se obtiene un comportamiento oscilatorio con un comportamiento inicial al aumento y que paulatinamente continúa con disminución, sin embargo en el año 2015 manifiesta un aumento. | 95 |
| Figura 31. BI – 03 Concentración anual promedio Stella de nitratos | 95 |
| Figura 32. BI – 03 | 96 |
| Figura 33. BI – 03 Concentración anual promedio histórico de fosfatos | 96 |
| Figura 34. BI – 03 Concentración anual promedio Stella de fosfatos | 97 |
| Figura 35. BI – 03 | 97 |
| Figura 36. BI – 04 Concentración anual promedio histórico de nitratos | 98 |
| Figura 37. BI – 04 Concentración anual promedio Stella de nitratos | 98 |
| Figura 38. BI – 04 | 99 |
| Figura 39. BI – 04 Concentración anual promedio histórico de nitratos | 99 |
| Figura 40. BI – 04 Concentración anual promedio Stella de fosfatos | 100 |
| Figura 41. BI – 04 | 100 |
| Figura 42. BI – 05 Concentración anual promedio histórico de nitratos | 101 |
| Figura 43. BI – 05 Concentración anual promedio Stella de nitratos | 101 |
| Figura 44. BI – 05 | 102 |

| | |
|--|-----|
| Figura 45. BI – 05 Concentración anual promedio histórico de fosfatos | 102 |
| Figura 46. BI – 05 Concentración anual promedio Stella de fosfatos | 103 |
| Figura 47. BI – 05 | 103 |
| Figura 48. BI – 06 Concentración anual promedio histórico de nitratos | 104 |
| Figura 49. BI – 06 Concentración anual promedio Stella de nitratos | 104 |
| Figura 50. 49: BI – 06 | 105 |
| Figura 51. BI – 06 Concentración anual promedio histórico de fosfatos | 105 |
| Figura 52. BI – 06 Concentración anual promedio Stella de fosfatos | 106 |
| Figura 53. BI – 06 | 106 |
| Figura 54. BI – 07 Concentración anual promedio histórico de nitratos | 107 |
| Figura 55. BI – 07 Concentración anual promedio Stella de nitratos | 107 |
| Figura 56. BI – 07 | 108 |
| Figura 57. BI – 07 Concentración anual promedio histórico de fosfatos | 108 |
| Figura 58. BI – 07 Concentración anual promedio Stella de fosfatos | 109 |
| Figura 59. BI – 07 | 109 |
| Figura 60. BI – 08 Concentración anual promedio histórico de nitratos | 110 |
| Figura 61. BI – 08 Concentración anual promedio Stella de nitratos | 110 |
| Figura 62. BI – 08 | 111 |
| Figura 63. BI – 08 Concentración anual promedio histórico de fosfatos | 111 |
| Figura 64. BI – 08 Concentración anual promedio Stella de fosfatos | 112 |
| Figura 65. BI – 08 | 112 |
| Figura 66. BI – 09 Concentración anual promedio histórico de nitratos | 113 |
| Figura 67. BI – 09 Concentración anual promedio Stella de nitratos | 113 |
| Figura 68. BI – 09 Comportamiento de nitratos en el punto de monitoreo BI – 09, con proyección al 2026, que tiene una tendencia oscilatoria. | 114 |

| | |
|---|-----|
| Figura 69. BI – 09 Concentración anual promedio histórico de fosfatos | 114 |
| Figura 70. BI – 09 Concentración anual promedio Stella de fosfatos | 115 |
| Figura 71. BI – 09 | 115 |
| Figura 72. BI – 10 Concentración anual promedio histórico de nitratos | 116 |
| Figura 73. BI – 10 Concentración anual promedio Stella de nitratos | 116 |
| Figura 74. BI – 10 | 117 |
| Figura 75. BI – 10 Concentración anual promedio histórico de fosfatos | 117 |
| Figura 76. BI – 10 Concentración anual promedio Stella de fosfatos | 118 |
| Figura 77. BI – 10 | 118 |
| Figura 78. BI – 11 Concentración anual promedio histórico de nitratos | 119 |
| Figura 79. BI – 11 Concentración anual promedio Stella de nitratos | 119 |
| Figura 80. BI – 11 | 120 |
| Figura 81. BI – 11 Concentración anual promedio histórico de fosfatos | 120 |
| Figura 82. BI – 11 Concentración anual promedio Stella de fosfatos | 121 |
| Figura 83. BI – 11 | 121 |
| Figura 84. BI – 12 Concentración anual promedio histórico de nitratos | 122 |
| Figura 85. BI – 12 Concentración anual promedio Stella de nitratos | 122 |
| Figura 86. BI – 12 | 123 |
| Figura 87BI – 12. Concentración anual promedio histórico de fosfatos | 123 |
| Figura 88. BI – 12 Concentración anual promedio Stella de fosfatos | 124 |
| Figura 89. BI – 12 | 125 |

Resumen

La presente investigación comprende el modelamiento de sistemas dinámicos de nutrientes principalmente fosfatos y nitratos, a través del Software Stella 9.0.2 que permite pronosticar el estado futuro no sólo nutricional del cuerpo receptor, sino también de factores como crecimiento poblacional de ciudadanos y microorganismos, demanda biológica de oxígeno, erosión, precipitación, aguas residuales expulsadas, entre otros más indicadores que intervienen en el cambio de magnitud de fosfatos y nitratos en la Bahía Interior de Puno, 2016 – 2026. El Software Stella es una herramienta muy aplicada para explicar sistemas complejos dinámicos y permite establecer diversos escenarios que a su vez son ajustables para su reproducción a la realidad en que se aplica.

Palabras claves: Nutrientes, fosfatos, nitratos, sistema dinámico, Stella, microorganismos, PTAR, erosión.

Abstract

The present investigation includes the modeling of dinámica systems of nutrients mainly phosphates and nitrates, through the Software Stella 9.0.2 that allows predict the future status not only nutritional of the receptor body, but also the factos like the poblacional growth of the citizens and microorganisms, biological demand of oxigen, erosion, precipitation, expelled residual waters, among other indicators that intervene in the change of magnitud of phosphates and nitrates in the Interior Bay of Puno, 2016-2026. The Software Stella is a tool very diligent at explaining complex dynamic systems and it allows establish several scenarios that at the same time are ajustable for the reproduction to the reality that is applied.

Keywords: Nutrients, phosphates, nitrates, dynamic system, Stella, microorganisms, PTAR, erosion.