

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**MODELAMIENTO EXPERIMENTAL DE LA VELOCIDAD
DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR EL EFECTO
DEL USO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS POZAS DE
RETENCIÓN DE ARUNTA - TACNA - 2019**

TESIS

PRESENTADA POR:

M.Sc. JOSÉ ANTONIO FLORES CANO

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

TACNA –PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
ESCUELA DE POSGRADO


DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES


**MODELAMIENTO EXPERIMENTAL DE LA VELOCIDAD DE LA
CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR EL EFECTO DEL USO DE
AGUAS RESIDUALES DE LAS POZAS DE RETENCIÓN
DE ARUNTA – TACNA 2019**

Tesis sustentada y aprobada el 22 de marzo del 2024; estando el jurado calificador
integrado por:

PRESIDENTE : 
Dr. Nataniel Mario Linares Gutiérrez

SECRETARIO : 
Dr. Eleocadio Dionisio Tirado Paz

MIEMBRO : 
Dr. Alberto Savino Pacheco Pacheco

ASESOR : 
Dr. Alberto Savino Pacheco Pacheco

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Alberto Savino Pacheco Pacheco, en mi condición de asesor acreditado con Resolución de Escuela de Posgrado N° 8301-2019-ESPG/UNJBG de 23 de abril del 2019, del trabajo de tesis titulado: *"Modelamiento Experimental de la velocidad de la contaminación de suelos por el efecto del uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta – Tacna - 2019"*, presentado por el Sr. José Antonio Flores Cano, para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias Ambientales.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 10%.

Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis y está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado a solicitud del interesado con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención del Grado Académico de Doctor en Ciencias Ambientales.

Tacna, 10 de octubre de 2024.

FIRMA ASESOR
Nombres y apellidos


.....
Dr. Alberto Savino Pacheco Pacheco
DNI N° 00419686



FIRMA TESISTA
Nombres y apellidos


.....
Sr. José Antonio Flores Cano
DNI N° 00421699



DEDICATORIA

*El presente trabajo se lo dedico a la memoria de:
mis padres Óscar y Delia*

*A quienes les debo todos los logros alcanzados y siempre
les estaré eternamente agradecido por su infinito amor y
apoyo.*

A mis hijos Jefferson José y José Antonio

*Quienes me motivan a superarme día a día y a quienes les
dedico con todo mi amor.*

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento muy especial a mi asesor de la presente tesis:

Dr. Alberto Savino Pacheco Pacheco

Por su invaluable asesoramiento y guía en el desarrollo del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1.1. Antecedentes del problema	3
1.1.2. Problemática de la investigación	4
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.2.1. Problema general	6
1.2.2. Problemas específicos.....	6
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	7
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES	7
1.5. OBJETIVOS	8
1.5.1. Objetivo General.....	8
1.5.2. Objetivo Específicos.....	9
1.6. HIPÓTESIS	9
1.6.1. Hipótesis general.....	9
1.6.2. Hipótesis específicas.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	10
2.1.1. Antecedentes locales.....	10
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	12
2.1.3. Antecedentes internacionales.....	14
2.2. BASES TEÓRICAS.....	19

2.2.1.	Caracterización de las aguas residuales urbanas.....	19
2.2.2.	Caracterización de suelos agrícolas	25
2.2.3.	Caracterización de suelos contaminados	28
2.2.4.	Diseño Experimental.....	31
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	33
CAPÍTULO III: MARCO FILOSÓFICO		46
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO		48
4.1.	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	48
4.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	52
4.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	52
4.3.1.	Variables de control de contaminación de suelos.	52
4.3.2.	Criterios para la calidad de agua.....	53
4.3.3.	Criterios para evaluación de la contaminación de suelos.	54
4.3.4.	Definición operacional de las variables.....	55
4.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	56
4.5.	MATERIALES Y/O INSTRUMENTOS.....	57
4.6.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	62
4.6.1	Evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA).....	62
4.6.2.	Evaluación de impactos ambientales (I.A.)	62
4.6.3.	Evaluación de los riesgos ambientales (R.A.)	64
CAPÍTULO V: RESULTADOS		66
5.1.	CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL Y SUELOS..	66
5.2.	EJECUCIÓN Y RESULTADOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL... ..	67

5.3.	INCREMENTO DE LOS CONTAMINANTES EN EL DESARROLLO EXPERIMENTAL	69
5.4.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DEL INCREMENTO DE CADA CONTAMINANTE	72
5.4.1.	Evaluación del Incremento de pH.....	72
5.4.2.	Evaluación del Incremento de Coliformes.....	76
5.4.3.	Evaluación del Incremento de Nitritos	80
5.4.4.	Evaluación del Incremento del Sulfato	84
5.4.5.	Evaluación del Incremento del Arsénico	88
5.4.6.	Evaluación del Incremento del Boro	92
5.4.7.	Evaluación del Incremento del Cadmio.....	96
5.4.8.	Evaluación del Incremento del Calcio	100
5.4.9.	Evaluación del Incremento del Cobalto.....	104
5.4.10.	Evaluación del Incremento del Fósforo	108
5.4.11.	Evaluación del Incremento del Litio.....	112
5.4.12.	Evaluación del Incremento del Magnesio.....	116
5.4.13.	Evaluación del Incremento del Manganeso	116
5.4.14.	Evaluación del Incremento del Potasio.....	124
5.4.15.	Evaluación del Incremento del Sodio	128
	DISCUSIONES	132
	CONCLUSIONES	150
	RECOMENDACIONES.....	151
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
	ANEXOS	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Contenido de material orgánico, fósforo, potasio, nitrógeno en los suelos....</i>	27
Tabla 2 <i>Matriz de Diseño Hexagonal Codificado</i>	49
Tabla 3 <i>Tiempo de regadío y matriz de diseño hexagonal modificado.....</i>	51
Tabla 4 <i>Matriz de Diseño Codificado y Natural del Diseño Hexagonal.....</i>	55
Tabla 5 <i>Matriz de requerimiento de agua residual y tierra para pruebas</i>	57
Tabla 6 <i>Matriz valoración del impacto ambiental.....</i>	62
Tabla 7 <i>Matriz valoración del daño ambiental por el uso de agua sin tratar.....</i>	63
Tabla 8 <i>Matriz del impacto ambiental ocasionado por el uso de agua sin tratar.....</i>	63
Tabla 9 <i>Matriz valoración de la probabilidad del riesgo ambiental.....</i>	64
Tabla 10 <i>Matriz valoración de la gravedad de riesgo ambiental.....</i>	64
Tabla 11 <i>Matriz del riesgo ambiental al suelo por uso de agua sin tratar</i>	65
Tabla 12 <i>Caracterización del agua residual descargada de las pozas de Arunta</i>	66
Tabla 13 <i>Caracterización del suelo del sector 18 de la ampliación Viñani.....</i>	67
Tabla 14 <i>Contaminación de las muestras de suelos regados experimentalmente.....</i>	68
Tabla 15 <i>Otras contaminaciones de suelos regados experimentalmente</i>	69
Tabla 16 <i>Incremento de contaminantes en muestras regadas experimentalmente.....</i>	70
Tabla 17 <i>Otros incrementos de contaminantes regados experimentalmente.....</i>	71
Tabla 18 <i>Matriz de correlación del incremento de pH (%)</i>	72
Tabla 19 <i>Análisis de varianza de la correlación del incremento de pH (%).....</i>	72
Tabla 20 <i>Matriz de correlación del incremento de coliformes (%)</i>	76
Tabla 21 <i>Varianza de la correlación del incremento de coliformes (%).....</i>	76
Tabla 22 <i>Matriz de correlación del incremento del nitrito (%).....</i>	80
Tabla 23 <i>Varianza de la correlación del incremento del nitrito (%).....</i>	80
Tabla 24 <i>Matriz de correlación del incremento del sulfato (%).....</i>	84
Tabla 25 <i>Varianza de la correlación del incremento del sulfato (%).....</i>	84
Tabla 26 <i>Matriz de correlación del incremento de arsénico (%).....</i>	88
Tabla 27 <i>Varianza de la correlación del incremento de arsénico (%).....</i>	88
Tabla 28 <i>Matriz de correlación del incremento del boro (%).....</i>	92
Tabla 29 <i>Varianza de la correlación del incremento del boro (%).....</i>	92

Tabla 30 <i>Matriz de correlación del incremento del cadmio (%)</i>	96
Tabla 31 <i>Varianza de la correlación del incremento del cadmio (%)</i>	96
Tabla 32 <i>Matriz de correlación del incremento del calcio (%)</i>	100
Tabla 33 <i>Varianza de la correlación del incremento del calcio (%)</i>	100
Tabla 34 <i>Matriz de correlación del incremento del cobalto (%)</i>	104
Tabla 35 <i>Varianza de la correlación del incremento del cobalto (%)</i>	104
Tabla 36 <i>Matriz de correlación del incremento del fósforo (%)</i>	108
Tabla 37 <i>Varianza de la correlación del incremento del fósforo (%)</i>	108
Tabla 38 <i>Matriz de correlación del incremento del litio (%)</i>	112
Tabla 39 <i>Varianza de la correlación del incremento del litio (%)</i>	112
Tabla 40 <i>Matriz de correlación del incremento del magnesio (%)</i>	116
Tabla 41 <i>Varianza de la correlación del incremento del magnesio (%)</i>	116
Tabla 42 <i>Matriz de correlación del incremento del manganeso (%)</i>	120
Tabla 43 <i>Varianza de la correlación del incremento del manganeso (%)</i>	120
Tabla 44 <i>Matriz de correlación del incremento del potasio (%)</i>	124
Tabla 45 <i>Varianza de la correlación del incremento del potasio (%)</i>	124
Tabla 46 <i>Matriz de correlación del incremento del sodio (%)</i>	128
Tabla 47 <i>Varianza de la correlación del incremento del sodio (%)</i>	128
Tabla 48 <i>Composición de aguas residuales de diferentes lugares y LMP exigidos en el agua de riego</i>	133
Tabla 49 <i>Modelos de incremento del contaminante en el suelo, por el uso de agua residual no tratada en Arunta – Tacna</i>	136
Tabla 50 <i>Matriz para evaluar la importancia del impacto ambiental y nivel de riesgo ambiental y a la salud (ERSA)</i>	138
Tabla 51 <i>Incremento de contaminantes respecto a la cantidad de agua residual utilizada</i>	139
Tabla 52 <i>Importancia de cada elemento contaminante de la Tabla 47</i>	140
Tabla 53 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento de nitritos</i>	141
Tabla 54 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento de sulfatos</i>	141

Tabla 55 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento de coliformes</i>	142
Tabla 56 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento de arsénico</i>	143
Tabla 57 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del boro</i>	143
Tabla 58 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del cadmio</i>	144
Tabla 59 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del calcio</i>	145
Tabla 60 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del cobalto</i>	145
Tabla 61 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del fósforo</i>	146
Tabla 62 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del litio</i>	147
Tabla 63 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del magnesio</i>	147
Tabla 64 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del manganeso</i>	148
Tabla 65 <i>Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del potasio</i>	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Imagen del área de influencia de las pozas de retención de Arunta.....	8
Figura 2 <i>Superficie repuesta de un modelo cuadrático para dos factores</i>	33
Figura 3 <i>Representación gráfica del Diseño Hexagonal Codificado</i>	50
Figura 4 <i>Caja para experimentación: largo 120 cm, ancho 60 cm, alto 20 cm</i>	56
Figura 5 <i>Abastecimiento de aguas residuales para pruebas experimentales</i>	58
Figura 6 <i>Homogenización de tierras para las pruebas experimentales</i>	58
Figura 7 <i>Balanza electrónica Accūra de 300 kg x 50 g</i>	59
Figura 8 <i>Pesada de caja vacía</i>	60
Figura 9 <i>Pesada de caja llena de tierra para las pruebas experimentales</i>	60
Figura 10 <i>Ejecución de las pruebas experimentales</i>	61
Figura 11 <i>Diagrama de superficie y contorno del pH por el uso de AR no tratada</i>	73
Figura 12 <i>Diagrama de superficie y contorno de coliformes por el uso de AR no tratada</i>	77
Figura 13 <i>Diagrama de superficie y contorno de nitritos por el uso de AR</i>	81
Figura 14 <i>Diagrama de superficie y contorno de sulfatos por el uso de AR</i>	85
Figura 15 <i>Diagrama de superficie y contorno del arsénico por el uso de AR</i>	89
Figura 16 <i>Diagrama de superficie y contorno del boro por el uso de AR</i>	93
Figura 17 <i>Diagrama de superficie y contorno del cadmio por el uso de AR</i>	97
Figura 18 <i>Diagrama de superficie y contorno del calcio por el uso de AR</i>	101
Figura 19 <i>Diagrama de superficie y contorno del cobalto por el uso de AR</i>	105
Figura 20 <i>Diagrama de superficie y contorno del fósforo por el uso de AR</i>	109
Figura 21 <i>Diagrama de superficie y contorno del litio por el uso de AR</i>	113
Figura 22 <i>Diagrama de superficie y contorno del magnesio por el uso de AR</i>	117
Figura 23 <i>Diagrama de superficie y contorno del manganeso por el uso de AR</i>	121
Figura 24 <i>Diagrama de superficie y contorno del potasio por el uso de AR</i>	125
Figura 25 <i>Diagrama de superficie y contorno del sodio por el uso de AR</i>	129

RESUMEN

El uso de las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa para el cultivo de tunales y plantas de tallo largo, está produciendo efectos adversos en la calidad del suelo, lo que afecta la salud de las personas y el medio ambiente.

Se estableció que a medida que se incrementa el uso de agua residual de las pozas de retención de Arunta, mayor será la probabilidad de contaminación de los suelos.

El trabajo de investigación tuvo por finalidad determinar experimentalmente la velocidad de contaminación de los suelos por efecto del uso de las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta – Tacna; para ello se utilizó un modelo experimental de diseño hexagonal para comprobar las hipótesis relacionadas con la velocidad de contaminación del suelo por el uso de aguas residuales de los pozos de retención de Arunta, mediante la manipulación del tiempo de regadío y el caudal del agua residual utilizado.

La muestra utilizada fue de 1 782 litros de aguas residuales provenientes de la descarga de las pozas de aguas residuales de Arunta y de 1,30 m³ de tierra libre de contaminación. Se concluye que, la remoción de los contaminantes en las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta no cumple con los LMP exigidos por ECA agua (DS 002-2008-MINAM). Además, no es controlable la contaminación de suelos utilizando estas aguas residuales mal tratadas para su empleo en el riego. Asimismo, se debe convertir estas pozas en una PTAR, por el riesgo al que está expuesta la salud humana por la contaminación del suelo y que la velocidad de contaminación del suelo es directamente proporcional al mayor uso de agua residual mal tratada.

Palabras clave: modelo experimental de diseño hexagonal, velocidad de contaminación del suelo y aguas residuales.

ABSTRACT

The use of wastewater from the Arunta retention pools in the Gregorio Albarracín Lanchipa district for the cultivation of tunales and long-stemmed plants is producing adverse effects on the quality of the soil, which affects the health of people and the environment.

It was established that as the use of residual water from the Arunta retention pools increases, the greater the probability of soil contamination.

The purpose of the research work was to determine experimentally the speed of soil contamination due to the use of wastewater from the retention pools of Arunta - Tacna; For this, an experimental model of hexagonal design was used to verify the hypotheses related to the rate of soil contamination by the use of wastewater from the Arunta retention wells, by manipulating irrigation time and the flow of wastewater used.

The sample used was 1 782 liters of wastewater from the discharge from the Arunta wastewater pools and 1,30 m³ of soil free of contamination. It is concluded that the removal of pollutants in the wastewater from the Arunta retention pools does not comply with the LMP required by ECA water (DS 002-2008-MINAM). In addition, soil contamination is not controllable using these poorly treated wastewater for use in irrigation. Likewise, these pools should be converted into a WWTP, due to the risk to which human health is exposed due to soil contamination and because the rate of soil contamination is directly proportional to the greater use of poorly treated residual water.

Keywords: experimental model of hexagonal design, velocity of soil contamination and wastewater.

RESUMO

A utilização das águas residuais das lagoas de retenção de Arunta, no distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, para o cultivo de túneis e plantas de haste longa está a produzir efeitos adversos na qualidade do solo, afetando a saúde das pessoas e o ambiente.

Estabeleceu-se que, à medida que o uso de águas residuais das lagoas de retenção de Arunta aumenta, maior a probabilidade de contaminação do solo.

O objetivo do trabalho de pesquisa foi determinar experimentalmente a taxa de contaminação do solo devido ao uso de águas residuais das lagoas de retenção de Arunta – Tacna; Para tal, foi utilizado um modelo experimental de desenho hexagonal para testar as hipóteses relacionadas com a taxa de contaminação do solo pela utilização de águas residuais dos poços de retenção de Arunta, através da manipulação do tempo de irrigação e do caudal das águas residuais utilizadas.

A amostra utilizada foi de 1 782 litros de águas residuais provenientes da descarga das piscinas de águas residuais de Arunta e de 1,30 m³ de solo não contaminado. Concluiu-se que a remoção de poluentes nas águas residuais das lagoas de retenção de Arunta não cumpre os LMPs exigidos pelo ECA água (DS 002-2008-MINAM). Além disso, a contaminação do solo que utiliza estas águas residuais mal tratadas para utilização na irrigação não é controlável. Do mesmo modo, estas piscinas devem ser convertidas em ETAR, devido ao risco a que a saúde humana está exposta devido à contaminação do solo e ao facto de a velocidade de contaminação do solo ser diretamente proporcional à maior utilização de águas residuais mal tratadas.

Palavras-chave: modelo experimental de delineamento hexagonal, taxa de contaminação do solo e águas residuais.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales de las pozas de retención Arunta son utilizadas por los agricultores de la zona para el cultivo de tunales y plantas de tallo largo. Estas pozas de retención son de alto riesgo potencial de contaminación para el suelo y el acuífero de la zona, las mismas que se encuentran cercanas a los pozos de extracción de agua subterránea de propiedad de la EPS Tacna S.A., que abastecen de agua para la zona sur del distrito coronel Gregorio Albarracín Lanchipa.

Pese a esta situación, actualmente no se tiene información documentada sobre el diseño de las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta, se desconoce el nivel de contaminación que generan y no se cuenta aún con estudios de investigación relacionada con la velocidad de contaminación de suelos por el uso de estas aguas residuales de las pozas de retención de Arunta.

El presente trabajo de investigación es importante porque permitirá evaluar el efecto del uso de las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta sobre la velocidad de contaminación de los suelos, empleando un modelo experimental que permita diagnosticar en forma oportuna la contaminación de los suelos; asimismo, permitirá evaluar los riesgos en la salud y en el medio ambiente por el uso de dichas aguas residuales, minimizando el uso de las mismas.

Los resultados obtenidos y el modelamiento del sistema de tratamiento solo serán para uso de las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta.

El objetivo del presente trabajo de investigación es evaluar experimentalmente la velocidad de contaminación de los suelos por el uso de las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta. Asimismo, determinar la eficiencia de remoción de los contaminantes de las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta, determinar el modelo experimental de la contaminación de suelos por el uso de las aguas residuales y

evaluar los riesgos en la salud y en el medio ambiente por el uso de aguas residuales provenientes de las pozas de retención de Arunta

El presente trabajo de investigación concluye que la remoción de los contaminantes en las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta no cumple con los LMP exigidos por los ECA agua (DS 002-2008-MINAM). Además, no es controlable la contaminación de suelos utilizando estas aguas residuales mal tratadas para su empleo en el riego. Asimismo, se debe convertir estas pozas en una PTAR, por el riesgo al que está expuesta la salud humana por la contaminación del suelo y que la velocidad de contaminación del suelo es directamente proporcional al mayor uso de agua residual no tratada.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Antecedentes del problema

Las pozas de retención de aguas residuales de Arunta reciben aproximadamente 120 l/s (310 000 m³ mensuales), que son utilizadas por la Asociación de Agricultores Arunta para el cultivo de tunales y explotación de la cochinilla.

Estas pozas de retención son de alto riesgo potencial de contaminación para el suelo y el acuífero de la zona.

Aproximadamente a 100 m. y 1 000 m. de distancia de las pozas de retención de Arunta - Viñani se encuentran los pozos de extracción de agua subterránea PV3 y PV4 respectivamente, de propiedad de la EPS Tacna S.A. que abastecen de agua para la zona sur del distrito coronel Gregorio Albarracín Lanchipa.

Se han realizado estudios de rastreo geoquímico aplicando el método de trazadores del sistema de bombeo de los pozos PV3 y PV4, ejecutada por la Consultora MIRSO S.A.C. la que informa que existe influencia de las filtraciones de las aguas servidas provenientes de las pozas de retención Arunta hacia el pozo PV-03, según la evidencia de los trazadores, información proporcionada por la EPS Tacna S.A., preparado por el Analista de Control de Calidad Ms. Sc. Blgo. Giancarlo Franco Díaz.

Con respecto a la velocidad de contaminación de los suelos por el uso de las aguas residuales no tratadas de las pozas de retención de Arunta, a la fecha no se ha hecho ningún estudio de investigación.

1.1.2. Problemática de la investigación

Según OEFA (2014) el Perú genera aproximadamente 2 217 946 m³/día de aguas residuales descargadas directamente a la red de alcantarillado de las empresas prestadoras de saneamiento. El 32 % de estas reciben tratamiento, el resto vierte directamente sus aguas residuales sin tratamiento al mar, ríos, lagos, quebradas o las emplean para el riego de cultivos.

La ciudad de Tacna tiene problemas sanitarios similares, las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta del distrito coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, son utilizados para regar tunales y plantas de tallo largo.

Tacna está ubicada en la costa meridional del Perú, está a 558 m.s.n.m., Tacna es cabecera del desierto de Atacama, uno de los más áridos del planeta. La escasez de agua es una de las mayores limitantes para su desarrollo. La ciudad cuenta a la fecha con una población aproximada de 290 000 habitantes, cuyas actividades son el comercio, el transporte, agroindustria y la construcción. El consumo de agua potable promedio mensual es de 1 590 000 m³, generando 890 000 m³ de aguas residuales, de las cuales 580 000 m³ son tratadas en las PTAR Magollo y PTAR de Cono Sur, y 310 000 m³ sin tratamiento son desviadas a las pozas de Arunta (EPS Tacna S.A., 2012).

La poca disponibilidad de agua para la agricultura y una creciente demanda para el consumo humano, ha obligado que en Tacna se perfore pozos con fines agrícolas en La Yarada y Los Palos.

En el año 1978 se instaló una planta piloto en el Sector Copare para el tratamiento de aguas residuales que permitiera el desarrollo agrícola, tratando 130 l/s de aguas crudas que en ese entonces producía la ciudad. Esta planta que se ubicaba a 4 Km. del centro de la ciudad, quedando a la fecha dentro del casco urbano (ahora denominada planta de Cono Sur).

La autoridad municipal de Tacna para incrementar la capacidad de tratamiento de la planta de Copare mediante la instalación de una nueva planta de tratamiento de aguas residuales en la zona de Magollo, conformada por seis pares de lagunas facultativas primarias y secundarias, con una capacidad instalada de 180 l/s. tenía como objetivo reducir los impactos ambientales negativos presentes en la planta antigua.

Por otro lado, tenemos que Tacna tiene una nueva zona de crecimiento, el cono sur, conformada principalmente por las pampas de Viñani, que está generando aproximadamente 150 l/s de aguas residuales (MINSA), aguas que son conducidas a unas pozas de retención Arunta, y estas sin tratamiento son usadas por las asociaciones de agricultores que se han instalado en la zona, quienes cultivan tunales, chala para forrajes, sauces, higuierillas, eucaliptos, entre otros.

La Organización Mundial de la Salud establece que las aguas servidas utilizadas en cultivos agrícolas, pastizales y árboles, o para bebida de animales, deberá realizar remoción completa de nematodos intestinales. Lo que no se cumple, presentando en la descarga de ARU de las pozas de retención de Arunta, la siguiente composición: 5×10^8 de coliformes termotolerantes/100 (Del Carpio Olga, 2002), soporta una carga orgánica operacional promedio de 365 mg/L de DBO_5 .

En esta última década por la escasez del recurso hídrico en la cuenca del Caplina se han presentado conflictos entre la población urbana, agricultores y mineros, por lo que es urgente la reutilización de las aguas residuales tratadas para la agricultura y minería.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En Tacna, el 34,83 % de aguas residuales que genera la ciudad sin tratamiento son desviadas a las pozas de retención de Arunta, provocando la contaminación de las aguas subterráneas y suelos (EPS Tacna S.A., 2012).

El vertido de aguas residuales sin tratar o con tratamiento inadecuado tendrá consecuencias que se clasifican en tres grupos, según tengan:

- a) Efectos en la salud humana por la reducción de la calidad del agua;
- b) Efectos ambientales negativos debido a la degradación de las masas de agua y de los ecosistemas; y
- c) Efectos en las actividades económicas.

En el contexto mundial las instalaciones de saneamiento de los hogares han mejorado cada vez más desde 1990, los riesgos para la salud pública permanecen debido a la mala contención y derrames en los alcantarillados, tratamiento ineficaz de las aguas residuales. Se estima que solo el 26 % de los servicios urbanos de saneamiento y de gestión de aguas residuales, y el 34 % de los servicios rurales provienen del contacto de los humanos con excrementos en forma efectiva (UNESCO, 2017).

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto del uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta sobre la velocidad de contaminación de los suelos?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Qué eficiencia de remoción de contaminantes en las aguas residuales se tienen en las pozas de retención de Arunta?
- b) ¿Cuál es el modelo experimental que representa la contaminación de suelos por el uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta?
- c) ¿Cuál es el riesgo en la salud y en el ambiente por el uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La creciente escasez mundial de agua para consumo humano, agricultura, industria y minería justifica investigar las fuentes alternativas de reutilización de aguas residuales para las actividades agrícolas.

En América Latina causa especial preocupación la baja cobertura de tratamiento de aguas residuales (OPS-AEIP, 2000).

Frente al problema mundial de escasez de agua y contaminación ambiental, cualquier intento de conocer el mecanismo de contaminación del uso de aguas residuales no tratadas en la actividad agrícola, justifican por sí solo la investigación planteada en esta Tesis de Doctorado.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

Área geográfica

Las pozas de retención de aguas residuales de Arunta se encuentran en la zona sur del distrito coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, abasteciendo agua residual no tratada para regar 478,0633 has. de predios agrícolas del comité de regantes de Arunta, según información proporcionada por la Administración Técnica de Distrito de Riego Tacna.

Geográficamente, las tierras cultivables se encuentran al norte en 361 752 mE y 7 999 333 mS y al sur en el punto 366 755 mE y 7 998 187 mS, correspondiente a la zona 19 K en coordenadas universal transversal de Mercator (UTM) del sistema geodésico mundial WGS 84, como se puede observar en la figura 1.

Figura 1

Imagen del área de influencia de las pozas de retención de Arunta



Nota. Aerofotografía de Google Earth.

Información documentada

Actualmente, en Tacna no se tiene información documentada sobre el diseño y uso de las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta, se desconoce el nivel de contaminación que genera el uso para regar las tierras de cultivo de la zona.

Los resultados obtenidos y modelamiento del sistema de tratamiento solo serán para uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General.

Evaluar experimentalmente la velocidad de contaminación de los suelos, por el uso de las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta.

1.5.2. Objetivo Específicos.

- a) Determinar la eficiencia de remoción de los contaminantes de las aguas residuales tratadas en las pozas de retención de Arunta.
- b) Determinar el modelo experimental de la contaminación de suelos por el uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta
- c) Evaluar los riesgos en la salud y el ambiente (ERSA) por el uso de aguas residuales provenientes de las pozas de retención de Arunta.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

A medida que se incrementa el uso de agua residual de las pozas de retención de Arunta, será mayor la probabilidad de contaminación de los suelos.

1.6.2. Hipótesis específicas

- a) La remoción de los contaminantes en las aguas residuales en las pozas de retención de Arunta no cumple con los LMP exigidos por ECA agua.
- b) El uso del modelo experimental diagnosticará en forma oportuna la contaminación de suelos.
- c) La evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) obligará a minimizar el uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. Antecedentes locales

Del Carpio (2002) en el estudio complementario de tratamiento de aguas residuales de Tacna, indica:

Que en el año 2001 el sistema de alcantarillado de Tacna constaba de dos colectores principales y tres descargas de efluentes. A través del colector principal se conducía las aguas residuales a la planta de tratamiento del Cono Sur y, pasando por esta, a la planta de Magollo. A través de otro colector principal se canalizaban a la parte sureste de la ciudad, llevándolo hasta las pozas de retención de Arunta, en la zona baja de Viñani. De esta manera, se trataban el 86 % (320 l/s) de las aguas residuales en las plantas del Cono Sur y Magollo, y se dejaba de tratar el 14 %, equivalente a 52 l/s que se descargan en la zona de Arunta. Asimismo, indica que la capacidad de tratamiento de la planta de Magollo es de 180 l/s, no obstante, ingresaban a esa fecha 270 l/s, lo que representa una sobrecarga de su capacidad instalada y la pérdida en la calidad sanitaria de los efluentes. Por otro lado, se subutiliza la capacidad de la planta de Copare (150 l/s), donde solo son tratados entre 60 a 50 l/s, incurriéndose en costos de mantenimiento bastante altos.

Comentario:

En el año 2002, el 14 % de aguas residuales generadas por la población de Tacna sin tratamiento descargaban a las pozas de retención de Arunta. Por el incremento de la población en el sector de Viñani, el año 2018 ha aumentado a 34,83 % el volumen de aguas residuales que son desviadas a las pozas de Arunta, incrementado el problema ambiental en esta zona.

La CAR Tacna (2005) en el Plan para la Gestión Integral de las aguas servidas en la Región Tacna, indica que:

La ciudad de Tacna a la fecha tenía 277 864 habitantes que representan cerca del 90 % de la población de la región, cuyas aguas servidas son tratadas por las plantas de: Cono Sur 60 l/s con 2,1 x 10⁴ coliformes fecales NMP/100 ml en la descarga y Magollo 300 l/s. con 3,5 x 10⁵ coliformes fecales NMP/100 ml. Asimismo, la Comisión Técnica indica que hay otro punto de vertimiento: los pozos de almacenamiento de Arunta, en la que se descarga 60 l/s de aguas servidas sin tratar, utilizadas directamente por los agricultores.

Comentario:

La Comisión Ambiental Regional (CAR) en el 2005 advierten que los agricultores están utilizando las aguas residuales sin tratar, problema que no ha sido solucionado a la fecha.

La EPS Tacna S.A. (EPS, 2012), publicó en el Plan Maestro Optimizado Actualizado 2013 – 2043 que los colectores

- a) Colector Vista Alegre: En la actualidad este colector conduce solo los desagües de la Asociación de Vivienda Las Magnolias y Vista Alegre, mediante tuberías de 200, 250 y 300 mm. de diámetro, hasta descargar en el Colector Cono Sur.
- b) Colector Cono Sur: Conduce los desagües provenientes de las habilitaciones asentadas en el Centro Poblado Menor Nueva Tacna. Este colector tiene un diámetro de 300 mm., se inicia en la avenida La Cultura y descarga actualmente en las pozas de retención de Arunta.

Comentario:

El Plan Maestro de la EPS Tacna S.A. de 2012 no contribuye a solucionar el problema del uso de aguas residuales sin tratar en la agricultura. Los colectores instalados lo que hace es incrementar el volumen de agua descargada en las pozas de retención de Arunta. Este Plan no contempla la construcción de una PTAR.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Álvaro et al. (2002). En la evaluación que realizaron financiado por el convenio IDRC - OPS/CEPIS de los sistemas de aprovechamiento de las aguas residuales en la zona agropecuaria del distrito de Villa El Salvador, Lima, Perú. Concluyeron:

El plan de gestión ambiental prioriza las actividades preventivas y de adecuación, como capacitación, fortalecimiento institucional, tratamiento y monitoreo permanente del efluente tratado. En el año 2002 se contaba con 95 hectáreas de forrajes y 31 hectáreas de plantas ornamentales. Se propuso incorporar 82 hectáreas de áreas baldías, de las cuales 50 se destinarán al cultivo de hortalizas y el resto, a la actividad forrajera y al cultivo de plantas ornamentales.

Comentario:

Las PTAR de Villa Salvador permiten incrementar la frontera agrícola, lo que no ocurre en la zona de Arunta, por incumplimiento del ECA agua.

Espinoza (2010). En su tesis de evaluación que realiza a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en San Juan de Miraflores, manifiesta:

Es necesario desarrollar y evaluar tecnologías intermedias que puedan ser empleadas como medidas provisionales o paliativas para mejorar las condiciones existentes de reutilización descontrolada de las aguas residuales que presentan graves riesgos para la salud. Se debe poner un énfasis especial en la determinación de configuraciones de diseño óptimas y en los períodos de retención mínimos que se requieren para una remoción efectiva de helmintos en las lagunas anaeróbicas utilizadas para el tratamiento primario o en sistemas similares con períodos de retención relativamente cortos. (p 218).

Comentario:

El autor le da importancia a los periodos de retención de las lagunas de tratamiento de aguas residuales, que garantizan una remoción de los contaminantes de las aguas.

Larios et al. (2015) en la publicación de: Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. Indican:

La población de América Latina se encuentra concentrada en ciudades en más de un 80 %. Sin embargo, la provisión de agua es insuficiente. Más aún, el 70 % de las aguas residuales no tienen tratamiento, lo cual dificulta alcanzar el ciclo del agua, particularmente por el reúso del agua debido a su contaminación. En Perú, solamente se ha ejecutado el 30 % de la inversión pública en tratamiento de agua, de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento Urbano y Rural 2006-2015. La contaminación del agua ocurre a niveles primario, secundario y terciario de las fuentes de agua. Las sustancias que contaminan el agua son orgánicas e inorgánicas. En todos los casos, la contaminación del agua pone a la Salud Pública en peligro, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS). Una preocupación es la contaminación del agua, que proviene de la presencia de altos niveles de arsénico inorgánico, plomo y cadmio por las consecuencias negativas tales como cáncer, diabetes mellitus, y enfermedades cardiovasculares. En el caso de los distritos de Lima, La Oroya y Juliaca, el rango de la concentración de arsénico inorgánico fue de 13 a 193 mg/l para las aguas subterráneas y superficiales, más alto que el límite de 10 mg/l según lo recomendado por la OMS. (pp. 12-23)

Comentario:

El autor enfoca los problemas que genera a nivel nacional el uso de aguas residuales no tratadas y sus consecuencias en la salud humana. Para que se solucione esto se debe ejecutar el 70 % Plan Nacional de Saneamiento Urbano y Rural pendiente.

2.1.3. Antecedentes internacionales

Méndez et al. (2000) los investigadores indican:

Que la problemática del valle de Atlixco, estado de Puebla (México), de suelos contaminados que se presentan en la zona de estudio es por el riego con aguas residuales, y que es semejante a lo que ha venido sucediendo en el valle del Mezquital, Hidalgo, donde, al igual que en esta zona, el pH alcalino de los suelos ha estado favoreciendo la precipitación de los metales pesados, como el Cd, Pb y Cr. Sin embargo, el riesgo de que dichos metales se solubilizan podrá disminuir en la medida en que se conserve la alcalinidad en los suelos.

Comentario:

El autor analiza la contaminación de suelos en Puebla por el uso de aguas residuales y la precipitación de metales pesados en el suelo.

Guadarrama y Galván (2015), en el estudio realizado del impacto del uso de agua residual en la agricultura en las zonas rurales de México, han determinado que:

Los riesgos reales de regar con agua residual que contiene metales pesados, es el daño provocado al suelo en el caso del Mn, dado que en el experimento rebasa la Normatividad en 32,7 %. El suelo, una vez que alcanza saturación, ya no puede retener más contaminantes y entrará en fase de salinización. Así, en este estudio ha determinado que el impacto de regar cultivos con aguas residuales los impactos al medio ambiente son graves, por la salinización que provoca la pérdida parcial o total de terrenos agrícolas, y que a su vez dicha pérdida impacta en el entorno alimentario y económico del ser humano.

Comentario:

Este otro estudio analiza la contaminación de suelos por metales pesados y la salinización que ocasiona en las tierras de cultivo. Experimentación similar realizaremos en este proyecto de investigación para cuantificar la velocidad de contaminación.

Rascón et al. (2008) realizaron el estudio en el campus de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo México, regando una superficie de 1 200 m² con aguas residuales de las lagunas facultativas de la universidad y de la ciudad. El agua residual utilizada sobrepasó el límite de grasas y aceites de 15 mg/l en 17,84 %, alto contenido de coliformes fecales, la DBO₅ con un contenido de 30 mg/l, concluyendo que: “impactaron levemente en forma negativa la contaminación del suelo (p. 70)”.

Comentario:

Los autores analizan la contaminación de suelos por la presencia de coliformes, grasas, aceites y material orgánico en las aguas residuales en Saltillo – México.

Murcia et al. (2014) en la investigación Impacto de aguas grises en propiedades físicas del suelo, experimento realizado en los laboratorios de suelos y agua de la Universidad del Valle, en el municipio de Santiago de Cali, siendo sus resultados:

Evaluaron los cambios en algunas propiedades físicas del suelo irrigado con agua gris sintética. El diseño experimental involucró: un factor: agua en el hogar y dos tratamientos; sin agua tratada (T1) y agua tratada (T2). Las variables a considerar en el suelo fueron: conductividad eléctrica (EC), porcentaje de sodio intercambiable (ESP), diámetro ponderado promedio (MWD) y retención de humedad del suelo (RHS). El agua utilizada en la alta frecuencia de riego por goteo se controló mediante un tensiómetro para producir un cultivo de frijol (*Phaseolous vulgaris* L). Como sistema de filtración utilizado se empleó una unidad compuesta por un filtro de arena (FLA) y un flujo subsuperficial de humedal artificial (HFSS). Los tratamientos mostraron diferencias significativas

en el PSI y el RHS. El sistema FLA + HFSS es una alternativa al tratamiento de aguas grises debido al aumento de la retención de sodio (p. 58).

Comentario:

Los autores evalúan experimentalmente el cambio de las propiedades físicas de los suelos, como consecuencia de la contaminación de los suelos. En el presente proyecto de investigación realizaremos la velocidad de contaminación de los suelos, teniendo en cuenta diferentes dosificaciones.

Méndez et al. (2006) la investigación fue realizada en la Universidad Agraria de la Habana y Universidad de la Habana, con la finalidad de evaluar el uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana, para lo cual utilizaron agua residual tratada con un promedio de 48 mg/l de DBO₅, siendo sus resultados:

Los análisis físicos, químicos, biológicos y bacteriológicos indican que esta agua puede usarse para regar cultivos que no se consuman directamente. Cuando se dispone de un buen sistema de filtrado y se limpian los emisores sistemáticamente, las aguas residuales pueden aplicarse sin ningún inconveniente a través de los sistemas de riego por goteo, en cultivos que no se consuman frescos (pp. 17-21).

Comentario:

Los autores demuestran que el agua residual producto de una planta de tratamiento que opera correctamente puede ser utilizado sin inconvenientes en la agricultura.

Izquierdo (2017) en el trabajo experimental: Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la Parroquia San Joaquín. Realizada en la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, concluye:

El principal objetivo del estudio realizado fue establecer la contaminación del suelo ocasionado por el uso indiscriminado de plaguicidas, en la parroquia de San Joaquín, con una extensión de 185,1 km². Los plaguicidas que más utilizan fueron los organofosforados y fosfatos. En cuanto a la obtención e interpretación de los resultados de compuestos organofosforados le dio valores que se encontraban por debajo de los límites de detección del equipo, el límite de detección mínimo del equipo fue < 0,01 ug/l. Comparó los resultados de fosfatos con un suelo no cultivado, es decir, donde no existe actividad agrícola, sin embargo, los resultados tenían un comportamiento uniforme en todos los puntos de muestreo (pp. 34-36).

Comentario:

Otros elementos contaminantes de los suelos son el uso indiscriminado de plaguicidas, como también los detergentes que se encuentran disueltos en las aguas residuales sin tratar.

Cornejo et al. (2012). En la investigación realizada: Degradación del suelo en el Distrito de riego 003 Tula, Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Concluyen:

En el Distrito de Riego 003 Tula, del Valle del Mezquital, Hidalgo, México, se usan aguas residuales para irrigar los cultivos desde hace más de 100 años. Realizaron análisis comparativo de dos muestreos, uno en 1984 y otro en 2009 a dos profundidades (0-10 y 10-50 cm) con el propósito de cuantificar los cambios en las características físicas y químicas del suelo, y la concentración de metales pesados en suelo y en alfalfa (*Medicago sativa* L.), cultivo de importancia en el distrito. La mayoría de las características del suelo en ambas profundidades mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), excepto el porcentaje de arcilla y la conductividad eléctrica (CE s). La textura del suelo cambió de franco arcillo arenoso a franco arcilloso. La CE disminuyó 0,1 dSm a 25 °C a profundidades de 0 a 10 cm. El pH se modificó de alcalino a neutro. La CIC y la materia orgánica (MO) se incrementaron. Las bases intercambiables disminuyeron significativamente su concentración. En la alfalfa, el Ni con 3,01 mg kg⁻¹ y el Cd

con 0,9 mg kg⁻¹ sobrepasaron el valor establecido en la norma. Se determinó que en los últimos 25 años, la textura del suelo se modificó y existió una tendencia a la acidificación y a la pérdida de bases intercambiables por el incremento de la MO debido al uso de las aguas residuales, las prácticas agrícolas de riego por inundación con deficientes sistemas de aplicaciones y la cercanía a zonas industriales de la Región Tula, los cuales conducen a una degradación física y química del suelo influyendo en la productividad agrícola; la presencia de metales tóxicos en la alfalfa representa un riesgo para la salud y el medio ambiente. (p. 873).

Comentario:

La evaluación realizada muestra cómo se va degradando el suelo con el tiempo, por los efectos residuales de los elementos contaminantes de las aguas residuales. Estudio que nos motiva realizar esta investigación para determinar la velocidad de contaminación de los suelos que utilizan las ARU de las pozas de Arunta.

Murcia et al. (2014) en la investigación realizada en la Universidad del Valle, Colombia: Impacto de aguas grises en propiedades físicas del suelo. Concluyeron:

El riego con aguas grises sintéticas sin tratar y aguas grises sintéticas tratadas mostró una tendencia al aumento de la retención de humedad del suelo, comportamiento que puede estar asociado a la carga de tensos activos. Igualmente, observaron que se presentó un incremento en el contenido de sodio en el suelo. El empleo de aguas grises en irrigación prolongada exige tratamiento, debido a que se pueden presentar cambios negativos de la estructura del suelo, asociados a la acumulación de Ion Sodio en el complejo de cambio.

El sistema de tratamiento FLA + HFSS mostró ser una alternativa viable en el tratamiento de aguas grises sintéticas, gracias a la depuración de ion sodio, lo cual entregó un efluente con una RAS menos nociva, característica reflejada al comparar el porcentaje de sodio intercambiable de los suelos irrigados con aguas

grises sintéticas y aguas grises sintéticas tratadas mediante el sistema FLA + HFSS. El riego con aguas grises sintéticas y aguas grises sintéticas tratadas no afecta de manera negativa la producción del cultivo, pero se nota una leve tendencia de incremento en la producción con las plantas regadas con agua gris sintética sin tratar, asociada a la carga nutricional presente, comportamiento que puede implicar en un corto plazo ahorro en fertilizantes, pero a largo plazo un deterioro en las condiciones físicas del suelo.

La implementación de las aguas grises sintéticas y aguas grises sintéticas tratadas como fuente de riego mostró que el reuso de aguas grises como fuente de riego se debe hacer teniendo en cuenta las características iniciales del suelo, asociando estas a la calidad del agua que se va a emplear, dado que con ello se pueden identificar los posibles impactos y las medidas de mitigación de los mismos, asociadas a la programación y aplicación correctas del riego. (pp. 63-64)

Comentario:

Es otro trabajo que nos ilustra la contaminación de los suelos por el uso de ARU sin tratar.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Caracterización de las aguas residuales urbanas.

Las aguas residuales urbanas en la ciudad de Tacna provienen de los residuos humanos, restaurantes, hospitales, colegios, actividades comerciales, etc. Para cuantificar la contaminación ambiental de las aguas residuales, es necesario caracterizar el agua residual de Arunta que es utilizado para regar.

Las caracterizaciones de las aguas residuales son de tres tipos: biológica, química y física:

a) **Biológica**

Las aguas residuales biológicamente contienen gran cantidad de organismos. Siendo su temperatura y el pH condiciones ambientales de desarrollo de cada organismo.

En las aguas residuales urbanas se encuentran microorganismos de la especie saprofitos que degradan la materia orgánica y microorganismos patógenos agregados a las aguas que mueren rápidamente al encontrarse en un medio o hábitat extraño, como lo describe Armando Cubillos (2007, p. 9).

Los principales microorganismos que se puede encontrar en las aguas residuales son:

- Bacterias: pueden ser de origen fecal o bacterias utilizadas en procesos de biodegradación en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Las bacterias Coliformes se utilizan como indicador de polución de las aguas residuales urbanas, ya que cada persona elimina diariamente de 100 000 a 400 000 millones de Coliformes a través de las heces, (Espigares y Pérez ,2003, p. 18).
- Virus: son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético, ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (RNA), proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias orgánicas particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales. (Metcalf y Eddy/AECOM, 2007, p. 89).
- Algas: su crecimiento se debe a la presencia en las aguas residuales de fósforo, nitrógeno, carbono, hierro y cobalto, dando lugar a procesos de eutrofización.
- Hongos: la mayoría son aerobios estrictos, multicelulares, no fotosintéticos y quimio heterótrofos, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Por esto desempeña una función importante en el tratamiento de aguas residuales urbanas. (Metcalf, 2007, p. 51).

- Protozoos: los que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Estos organismos juegan un papel muy importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y lodos activados. Pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua, ya que estos no sedimentan, evitando la producción de efluentes con turbidez. (Espigares, 2003, p. 19).

b) Química

En las aguas residuales tenemos productos químicos orgánicos e inorgánicos. El aspecto fundamental de la contaminación de productos orgánicos es la disminución del oxígeno como resultante de la utilización del existente en el proceso de degradación biológica, llevando con ello a un desajuste y a serias perturbaciones en el medio ambiente. En el caso de compuestos inorgánicos, el resultado más importante es su posible efecto tóxico, más que una disminución de oxígeno. Sin embargo, hay casos en los cuales los compuestos inorgánicos presentan una demanda de oxígeno, contribuyendo a la disminución del mismo.

Las principales características químicas de las aguas residuales son:

- Demanda bioquímica o biológica de oxígeno (DBO₅).
- Demanda química de oxígeno (DQO).
- Oxígeno disuelto (OD).
- Grasas y aceites
- pH
- Conductividad.
- Metales pesados.

b1. Demanda biológica o bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno requerido para tratar el agua para que exista vida.

La DBO₅ se determina generalmente a 20 °C, después de incubación durante cinco días; se mide el oxígeno consumido por las bacterias durante la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual. En la práctica, la DBO₅ representa la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días de incubación, porque es medida más fácilmente que la demanda bioquímica de oxígeno final (DBO_f), que representa el oxígeno necesario para la completa biooxidación del agua residual.

b2. Demanda química de oxígeno (DQO)

Mide la cantidad de materia disuelta o suspendida que puede ser oxidado por medios químicos, se mide en mgO₂/l.

Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica.

La DQO mide la demanda de oxígeno generada por los materiales inorgánicos.

b3. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es solo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos:

- 1) Solubilidad del gas;
- 2) Presión parcial del gas en la atmósfera;
- 3) Temperatura, y

4) Pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, etc.).

b4. pH

La concentración del ion hidrogeno (H^+) es un importante parámetro de calidad tanto para aguas naturales como aguas residuales. El intervalo de concentración para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua industrial con una concentración adversa de ion de hidrógeno es difícil de tratar con métodos biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales.

El pH de los sistemas acuosos puede medirse convencionalmente con un pH-metro, así como se pueden utilizar indicadores que cambian de color a determinados valores de pH.

$$pH = -\log[H^+]$$

La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidroxilo, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco, esta alcalinidad la va adquiriendo del agua de suministro, del agua subterránea y de materias añadidas durante el uso doméstico. La concentración de alcalinidad en el agua residual es importante que deba efectuarse un tratamiento químico o muestras en que se deba eliminar el amoníaco.

b5. Conductividad

Las determinaciones de conductividad son de gran importancia, pues nos dan una idea del grado de mineralización del agua residual. La conductividad es un parámetro regulado por los límites máximos permisibles en descarga de agua residual, al alcantarillado o a cuerpos receptores.

b6. Metales pesados

Como constituyentes importantes de aguas residuales, también se encuentran cantidades a nivel de traza de muchos metales.

Entre ellos podemos destacar el níquel (Ni), el manganeso (Mn), el plomo (Pb), el cromo (Cr), el cadmio (Cd), el zinc (Zn), el cobre (Cu), el hierro (Fe) y el mercurio (Hg).

c) Física

Las características físicas más importantes del agua residual según Metcalf & Eddy (2007) son:

- Sólidos totales, término que engloba la materia en suspensión
- Sólidos sedimentables
- Materia coloidal
- Materia disuelta
- Olor
- Temperatura
- Densidad
- Color
- Turbiedad; originada por los sólidos en suspensión.

La temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles, como el caso de las aguas provenientes de las plantas industriales, relativamente calientes después de ser usadas en intercambiadores. La temperatura de las aguas residuales puede ser superior a la del agua de consumo, por el aporte de agua caliente procedente del aseo y las tareas domésticas. Oscila entre 10°C y 21°C, con un valor medio de 15°C, aproximadamente.

El color, el cual determina cualitativamente el tiempo de las aguas residuales, es por ello, que si el agua es reciente esta suele ser gris; sin embargo, como quiera que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual, se reduce a cero y el color cambia a negro.

Los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica.

El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

2.2.2. Caracterización de suelos agrícolas

Suelo agrícola es aquel que se utiliza para el cultivo y plantaciones. El suelo agrícola debe ser un suelo fértil que permita el desarrollo de diferentes tipos de cultivo, que luego serán cosechados y utilizados, para lo cual debe contar con nutrientes como son: nitratos, amonio, fósforo, potasio, sulfato, magnesio, calcio, sodio, cloruro, etc.

Parámetros de los suelos que deben ser analizados, según Andrade y Martínez, (2014):

- **Textura del suelo:**

La textura indica la proporción de partículas de diferente tamaño que hay en el suelo. Tenemos suelos gruesos, suelos finos, suelos con mucha arcilla, etc. El análisis de textura puede dar información para mejorar el manejo del suelo y la fertilización.

Científicamente, las texturas se dividen en cuatro grandes grupos según la proporción de arcillas, limos y arenas de los suelos. Las categorías son: suelos arcillosos,

suelos arenosos, suelos limosos y suelos francos (ninguna fracción predominante). Puede haber también suelos entre dos categorías, por ejemplo, suelos franco-arcillosos.

- **El pH del suelo: la estabilidad es la clave**

El pH es un parámetro químico que indica si una materia es ácida o básica. La escala de resultados va de 0 a 14. Siendo los suelos de pH 7 neutros, los de más de 7 básicos y los de menos de 7 ácidos. Como más próximo a 0 es el valor más ácido en el suelo y como más próximo a 14, el más básico.

El pH afecta a la disponibilidad de nutrientes y al crecimiento de los cultivos. Los suelos con pH muy extremos no son fértiles, ya que no hay nutrientes disponibles para las plantas.

- **Materia orgánica: la clave para un suelo fértil**

La materia orgánica es clave para tener un suelo fértil y productivo. La materia orgánica del suelo son aquellos compuestos del suelo que son orgánicos. A grosso modo se puede saber si un suelo tiene mucha materia orgánica observando el color: los suelos oscuros suelen tener más materia orgánica.

La materia orgánica afecta muchas propiedades del suelo y aumenta la actividad biológica. Ayuda a hacer disponibles los nutrientes del suelo para la planta, mantiene el pH del suelo estable y reduce el riesgo de erosión. En la Tabla 1 se visualiza la calidad del suelo en función del contenido de materia orgánica, fosfatos y nitrógenos.

Tabla 1

Contenido de material orgánico, fósforo, potasio, nitrógeno en los suelos

Materia Orgánica (%)	Interpretación
<1	Muy baja
1-2	Baja
2-3	Media
3-4	Alta
>4	Muy alta

Niveles de fósforos (P) en el suelo en ppm	Interpretación
<12	Muy baja
12 – 24	Baja
24 – 36	Media
36 – 80	Alta
>80	Muy alta

Niveles de potasio (K) en el suelo en ppm	Interpretación
<125	Muy baja
125 – 175	Baja
175 – 250	Media
250 – 350	Alta
>350	Muy alta

Niveles de nitrógeno (N) en el suelo en %	Interpretación
<125	Muy baja
125 – 175	Baja
175 – 250	Media
250 – 350	Alta
>350	Muy alta

Nota. Fertilidad del suelo y parámetros que la definen (Andrade y Martínez, 2014).

- **Conductividad eléctrica: saber la salinidad de tus suelos**

Como sabes, los cultivos no crecen correctamente en suelos salinos.

Los suelos se pueden salinizar debido a aguas con muchas sales disueltas y falta de buen drenaje.

- **El fósforo: la clave del crecimiento**

El fósforo es uno de los macronutrientes que requieren los cultivos para crecer correctamente. Según la humedad, la temperatura del suelo y el tipo de raíces del cultivo, este podrá estimar el requerimiento de fósforo del suelo.

- **El potasio: una producción de calidad**

El potasio es otro de los macronutrientes necesarios para el correcto desarrollo del cultivo. El potasio se ve modificado por varias técnicas agrícolas como: fertilización mineral y/u orgánica, manejo del suelo, quitar los residuos vegetales que son ricos en potasio, etc. Aun así, es un elemento poco móvil en el suelo. Por este motivo, realizar análisis de control cada 5 años es suficiente para saber si dispones de los niveles correctos en tus suelos y poder planificar la fertilización.

- **El nitrógeno: maximizar el rendimiento**

El nitrógeno es el principal macronutriente. El contenido de nitrógeno en el suelo es muy variable tanto en el espacio como en el tiempo. La lluvia, el manejo del suelo, la fertilización y el manejo de residuos, entre otros, afectan directamente al contenido de nitrógeno nítrico del suelo.

2.2.3. Caracterización de suelos contaminados

Según Wikipedia, la contaminación del suelo es una degradación de la calidad del suelo asociada a la presencia de sustancias químicas. Se define como el aumento en la concentración de compuestos químicos, que provoca cambios perjudiciales en el suelo y reduce su empleo potencial en la actividad humana.

El Ministerio del Ambiente emite el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM por medio del cual se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. En el año 2014 publica la guía para muestreo de suelos, estableciendo las especificaciones para:

- i) determinar la existencia de contaminación en el suelo,
- ii) determinar la dimensión (extensión horizontal y vertical) de la contaminación,
- iii) determinar las concentraciones de nivel de fondo, y/o
- iv) determinar si las acciones de remediación lograron reducir la concentración de los contaminantes en el suelo, de acuerdo a las metas planteadas.

En función al objetivo del muestreo de suelos, la guía establece los siguientes tipos:

- i) muestreo de identificación,
- ii) muestreo de detalle,
- iii) muestreo de nivel fondo, y
- iv) muestreo de comprobación de la remediación.

En la guía se especifica, además, diferentes técnicas de muestreo, criterios para la determinación del número de muestras, así como medidas de calidad para la toma y el manejo de muestras de suelos.

Esta guía es aplicable para el muestreo de suelos de proyectos nuevos, actividades en curso, y para sitios contaminados en los que la autoridad competente o la entidad de fiscalización ambiental determine, que no se cumplieron con los objetivos de remediación previstos en el instrumento de gestión ambiental.

Principales contaminantes del suelo

Según Andrés Navarro et al. (1996) los principales elementos contaminantes del suelo son:

Metales pesados: Resultan tóxicos incluso en bajas concentraciones. Estos contaminantes se deben a vertidos industriales y a vertederos.

Microorganismos patógenos: Son contaminantes biológicos que pueden provenir de grandes concentraciones de animales, por ejemplo, en establecimientos ganaderos, o de vertederos.

Hidrocarburos: Son compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno, que están presentes en el petróleo. Contienen además nitrógeno, oxígeno y azufre. La contaminación por hidrocarburos ocurre por derrames en operaciones de transporte y de carga y descarga, fugas de conductos o instalaciones industriales, accidentes.

Plaguicidas: Son las sustancias que se utilizan para destruir, combatir o repeler plagas. Las mismas pueden utilizarse durante la producción, el almacenamiento, el transporte o la elaboración de alimentos. Si se utilizan para evitar la presencia de insectos, se denominan insecticidas. Si se utilizan para evitar la presencia de hierbas indeseadas. Los plaguicidas contaminan el suelo cuando se aplican en las plantaciones.

Por otro lado, los herbicidas son absorbidos por las hierbas que, antes de morir, pueden ser tomadas como alimentos por los pájaros. Los fungicidas son la clase de plaguicidas que se utilizan para combatir los hongos. Contienen azufre y cobre, que son sustancias contaminantes.

Basura: Los desperdicios creados por las grandes concentraciones urbanas, así como por las diferentes industrias, son uno de los principales contaminantes del suelo. La

basura orgánica, además de contaminar el suelo, genera gases tóxicos que contaminan el aire.

Ácidos: Los ácidos contaminantes en el suelo provienen principalmente de actividades industriales. Los ácidos vertidos son ácido sulfúrico, nítrico, fosfórico, acético, cítrico y carbónico. Pueden provocar la salinización de los suelos, impidiendo el crecimiento de vegetales.

Minería: El impacto ambiental de la minería afecta el agua, el aire e incluso destruye el paisaje por el enorme movimiento de tierras que requiere. Las aguas de relave (el agua utilizada para eliminar los residuos mineros) depositan en el suelo mercurio, arsénico, plomo, cadmio, cobre y otras sustancias contaminantes.

2.2.4. Diseño Experimental

Es el arreglo de las unidades experimentales utilizado para controlar el error experimental, a la vez que acomoda los tratamientos. Existe en la literatura una amplia variedad de arreglos diseñados para controlar el error experimental y se observa una tendencia natural a diseñar los experimentos de acuerdo con diseños ya existentes (Kuehl, 2001).

2.2.4.1. Planeación de la investigación

Según Gutiérrez y De La Vara (2008) la planeación de la investigación experimental debe tener las siguientes etapas:

1. Entender y delimitar el problema u objeto de estudio. Se deben hacer investigaciones preliminares que permitan entender y delimitar el problema y el contexto de estudio, de tal forma que quede claro lo que se va a investigar.
2. Elegir las variables respuesta que serán evaluadas. También conocido como función objetivo, esta variable de control es vital, ya que en ella se refleja el

resultado de las pruebas. Por ello, se deben elegir aquellas que mejor describan los objetivos de la investigación.

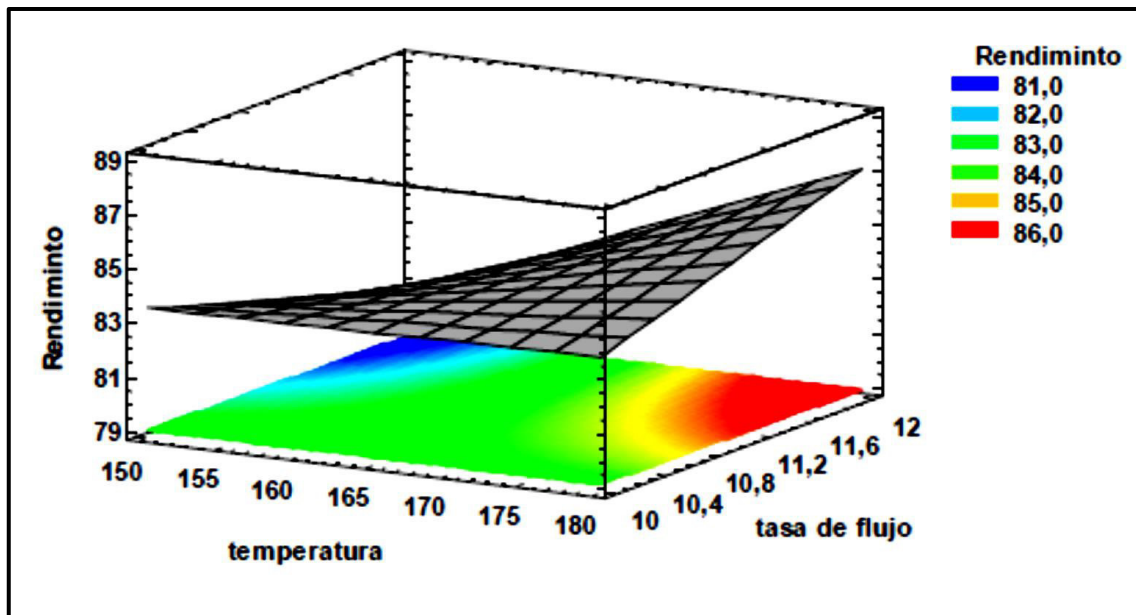
3. Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse. No se trata de que el experimentador tenga que saber a priori cuáles factores influyen, puesto que precisamente para eso es el experimento.
4. Seleccionar los niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado. Este paso también implica determinar cuántas repeticiones se harán para cada tratamiento, tomando en cuenta el tiempo, el costo y la precisión deseada.
5. Organizar el trabajo experimental. Con base en el diseño seleccionado, organizar y planear con detalle el trabajo experimental, por ejemplo, las personas que van a intervenir, la forma operativa en que se harán las cosas, etc.
6. Realizar el experimento. Ejecutar con el plan previsto en la etapa anterior.

2.2.4.2. Metodología de superficie respuesta (MSR)

La Metodología de Superficies de Respuesta (MSR) es un conjunto de técnicas matemáticas estadísticas utilizadas en la solución de problemas operativos, en los que una variable respuesta de interés depende de varios factores independientes de carácter cuantitativo. El propósito de esta técnica es diseñar un conjunto de experimentos que proporcionen valores razonables de las variables respuestas, para luego determinar el modelo matemático que mejor se ajusta al proceso. El objetivo final es establecer los valores de los factores que optimizan el valor de la variable respuesta, Manual de Usuario de Statgraphics (p. 282).

Figura 2

Superficie repuesta de un modelo cuadrático para dos factores



Nota. Manual de usuario de Statgraphics p. 282.

En esta investigación experimental utilizaremos un modelo de segundo orden:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

Donde:

- Y = es la función respuesta
- x_i, x_j = variables del proceso
- β = valores de los parámetros
- ε = error experimental.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Acuífero: Capa en el suelo que es capaz de transportar un volumen significativo de agua subterránea (UNESCO, 2017, p. 5).

Aerobio: Proceso que ocurre en presencia de oxígeno molecular (Espigares y Pérez, 2003, p. 173).

Agentes contaminantes biodegradables: Sustancias que son capaces de ser descompuestas bajo condiciones ambientales estándar (UNESCO, 2017, p. 7).

Agua cruda: Agua que no ha recibido ningún tipo de tratamiento, o agua que entra a una planta para tratamiento posterior (UNESCO, 2017, p. 2).

Agua residual doméstica: Agua proveniente de los desechos de una comunidad (UNESCO, 2017, p. 6).

Agua residual industrial: Agua descargada resultante de un proceso industrial, y que no tiene ningún valor inmediato para éste (UNESCO, 2017, p. 7).

Agua: Sustancia que a la temperatura media del planeta Tierra es un líquido normalmente inodoro, insípido e incoloro; fundamental para la existencia de la vida. Por su elevada constante dieléctrica puede disociar, descomponer y transportar numerosas sustancias. En la naturaleza contiene pequeñas cantidades de gases y sólidos disueltos (principalmente sales) (DS 031-2010-SA, p. 9).

Aguas negras: Aguas que contienen los residuos de seres humanos, animales o alimentos (UNESCO, 2017, p. 2).

Aguas residuales: Agua desechada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida (UNESCO, 2017, p. 2).

Aireación mecánica: Uso de la energía mecánica para inyectar aire al agua y causar una corriente residual para que absorba oxígeno (Espinoza, 2010, p. 165).

Aireación: Introducción de aire en un líquido (Espinoza, 2010, p. 162).

Aleatorización: Consiste en hacer corridas experimentales en orden aleatorio (al azar); este principio aumenta la posibilidad de que el supuesto de independencia de los errores se cumpla (MINAM, 2014, p. 40).

Anaerobio: Proceso que ocurre en ausencia de oxígeno molecular (Espigares y Pérez, 2003, p. 3).

Área de Potencial Interés: Extensión de terreno sobre el que se realizarán efectivamente las labores de muestreo. Se trata de áreas identificadas durante la Fase de Identificación en las cuales existe alguna evidencia de potencial contaminación del suelo (Zamora, 2006, p. 216).

Bacterias coliformes: Indicador de contaminantes y patógenos cuando son encontradas en las aguas. Usualmente encontradas en el tracto intestinal de los seres humanos y otros animales de sangre caliente (Espigares y Pérez, 2003, p. 18).

Bioacumulación: Acumulación neta, en función del tiempo, de metales y otras sustancias persistentes en un organismo a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticas (suelo, aire y agua) (OEFA, 2004, p. 22).

Biopelícula: Población de varios microorganismos, contenidos en una capa de productos de excreción, unida a una superficie (Zamora, 2006, p. 216).

Cadena de custodia: Procedimiento documentado de la obtención de muestras, su transporte, conservación y entrega de estas al laboratorio para la realización de pruebas de análisis físico-químico, realizado por el personal responsable (MINAM, 2014, p. 26).

Calidad de suelos: Es la capacidad natural del suelo de cumplir diferentes funciones: ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales. Es el estado del suelo en función de sus características físicas, químicas y biológicas que le otorgan una capacidad de sustentar un potencial ecosistémico, natural y antropogénicas (DS 011-2017, p. 13).

Caudal: Flujo de agua superficial en un río o en un canal (DS 031-2010-SA, p. 21).

Cloración: Proceso de desinfección del agua en el cual el cloro es añadido para el control de organismos presentes. También usado en procesos de oxidación de productos contaminantes en el agua (Espinoza, 2010, p. 232).

Coagulación química: Procedimiento que consiste en agregar un producto químico (el coagulante) destinado a la desestabilización de las materias coloidales dispersas y a su agregación bajo la forma de flóculos (Espinoza, 2010, p. 218).

Coagulantes: Partículas líquidas en suspensión que se unen para formar partículas con un volumen mayor (Espinoza, 2010, p. 91).

Conductancia específica: Método para estimar el contenido de sólidos disueltos en el suministro de agua comprobando su conductividad (<https://es.wikipedia.org/wiki/Conductancia>).

Contaminantes tóxicos del agua: Compuestos que no son encontrados de forma natural en el agua pura y vienen dados en concentraciones que causan la muerte, enfermedad, o defectos de nacimiento en organismos que los ingieren o absorben (UNESCO, 2017, p. 5).

DBO: La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica (Cubillos, 2007, p.9).

DBO₅: La demanda biológica de oxígeno cinco, se emplea para medir el contenido de materia orgánica presente en una muestra de agua. Es un parámetro indirecto, pues indica el oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos presentes en una muestra de agua para la oxidación de materia orgánica al cabo de 5 días. Se expresa como concentración de oxígeno (Cubillos, 2007, p.9).

Derrame: Cualquier descarga, liberación, rebose o vertido debido a una práctica inadecuada o hecho accidental de hidrocarburos o líquidos peligrosos en el suelo (Espinoza, 2010, p. 178).

Diseño experimental: Es el arreglo de las unidades experimentales utilizado para controlar el error experimental, a la vez que acomoda los tratamientos. Existe en la literatura una amplia variedad de arreglos diseñados para controlar el error experimental y se observa una tendencia natural a diseñar los experimentos de acuerdo con diseños ya existentes. Pero desarrollar un diseño de experimento que satisfaga la demanda del experimento que se está realizando es una actitud más adecuada (Kuehl, 2001, p. 27).

Diseños de experimentos: Consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras (Kuehl, 2001, p. 27).

DQO: La demanda química de oxígeno se emplea para medir el equivalente en oxígeno de la materia orgánica que puede ser oxidada químicamente utilizando dicromato en solución ácida. La DQO, es un parámetro análogo a la DBO₅, pero en este caso es una

determinación exclusivamente química. También se expresa como concentración de oxígeno (Cubillos, 2007, p.9).

Dureza Total: Es la suma de la dureza del calcio y el magnesio en el agua, expresada como carbonato de calcio equivalente (https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_dura).

Efluente: Agua descargada proveniente de procesos industriales o sistemas de tratamiento.

En general, cuando se quiere mejorar un proceso, existen dos maneras básicas de obtener la información necesaria para ello: una es observar o monitorear vía herramientas estadísticas, hasta obtener señales útiles que permitan mejorarlo; se dice que esta es una estrategia pasiva. La otra manera consiste en experimentar, es decir, hacer cambios estratégicos y deliberados al proceso para provocar dichas señales útiles (Gutiérrez y de la Vera, 2008).

Envase: Recipiente de diferente material, forma y tamaño destinado a contener muestras de suelos para su conducción desde el lugar de muestreo hacia el laboratorio, y que reúne características para conservar las propiedades de la muestra a ser analizadas (MINAM, 2014, p. 3).

Error aleatorio: Es la variabilidad observada que no se puede explicar por los factores estudiados; resulta del pequeño efecto de los factores no estudiados y del error experimental (Kuehl, 2001, p. 34).

Error experimental: Componente del error aleatorio que refleja los errores del experimentador en la planeación y ejecución del experimento (Kuehl, 2001, p. 27).

Estándar de Calidad Ambiental (ECA): Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos (OEFA, 2004, p. 2).

Estratificación: La existencia o formación de distintos climas o capas en un cuerpo de agua, identificado por sus características térmicas o salinas o por diferencias en el contenido de oxígeno o nutrientes (MINAM, 2014, p. 19).

Eutroficación: El enriquecimiento del agua, tanto dulce como salina, por nutrientes, especialmente compuestos de nitrógeno y fósforo. que aceleran el crecimiento de algas y formas vegetales superiores (Espigares y Pérez, 2003, p. 19).

Experimentación: Constituye uno de los elementos claves de la investigación científica y es fundamental para ofrecer explicaciones causales. En un experimento se consideran todas las variables relevantes que intervienen en el fenómeno, mediante la manipulación de las que presumiblemente son su causa, el control de las variables extrañas y la aleatorización (o randomización) de las restantes (Wikipedia).

Experimentos: Es la manipulación física de las variables. Un experimento es un procedimiento mediante el cual se trata de comprobar (confirmar o verificar) una o varias hipótesis relacionadas con un determinado fenómeno, mediante la manipulación y el estudio de las correlaciones de las variables que presumiblemente son su causa (Wikipedia).

Factores controlables: Son variables de proceso y/o características de los materiales y los métodos experimentales que se pueden fijar en un nivel dado (Kuehl, 2001, p. 427).

Factores estudiados: Son las variables que se investigan en el experimento para observar cómo afectan o influyen en la variable de respuesta (Kuehl, 2001, p. 428).

Factores no controlables: Son variables que no se pueden controlar durante el experimento o la operación (Kuehl, 2001, p. 414).

Floculación: Formación de partículas gruesas por aglomeración de partículas pequeñas; el proceso es generalmente acelerado por medios mecánicos, físicos, químicos o biológicos (Espigares y Pérez, 2003, p. 20).

Flujo: Es la proporción del caudal de un recurso, expresado en volumen por unidad de tiempo ([https://es.wikipedia.org/wiki/Caudal_\(fluido\)\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Caudal_(fluido)))

Geo-referenciación: Es el procedimiento técnico-científico por el cual se define la localización espacial de un objeto, en un sistema de coordenadas y DATUM determinado (MINAM, 2014, p. 67).

GPS: Sistema de posicionamiento Global o, NAVSTAR GPS (NAVigation System and Ranging - Global Positioning System, sistema de navegación y determinación de alcance, y sistema de posicionamiento mundial') es el sistema que permite determinar la posición geográfica en cualquier parte del mundo de un objeto, persona o nave y funciona mediante una red de satélites en órbita sobre el planeta (MINAM, 2014, p. 3).

Inóculo: Es una suspensión de microorganismos vivos que se han adaptado para reproducirse en un medio específico (DS 004-2017-MINAM).

Laguna aireada: Depósito para el tratamiento de aguas que acelera la descomposición biológica de la materia orgánica, estimulando el crecimiento y la actividad de las bacterias, que son responsables de la degradación (Espinoza, 2010, p. 107).

Laguna de aguas residuales: Estanque natural o artificial o depósito utilizado con fines diversos tales como decantación, descomposición, enfriamiento y almacenamiento de las aguas residuales y lodos (Espinoza, 2010, p. 107).

Laguna de oxidación: Cuerpo de agua construido por el hombre en el cual los residuos son consumidos por las bacterias (Espinoza, 2010, p. 104).

Lodo activado: Residuo semisólido que contiene microorganismos y sus productos, de cualquier sistema de tratamiento de aguas (Pérez, 2016, p. 72).

Muestra compuesta: Es aquella constituida por un conjunto de muestras simples (sub muestras), convenientemente mezcladas, y llevadas al laboratorio para su correspondiente análisis, siendo el resultado un valor analítico medio de la propiedad o compuesto analizado. El número de sub muestras dependerá de la variabilidad de la sustancia o propiedad a analizar en el área de estudio y tiene la ventaja de permitir un muestreo mayor sin aumentar el número de muestras a analizar. Guía para Muestreo de Suelos (MINAM, 2014, p. 9).

Muestreo de Comprobación: Es aquel orientado a verificar si se alcanzaron los niveles establecidos en el ECA para suelo, los niveles de fondo, los niveles de remediación determinados en el ERSA u otros objetivos de remediación establecidos para suelos (D.S. N°002-2013-MINAM).

Muestreo de Detalle: Es aquel orientado a identificar el área y el volumen del suelo impactado, y de ser el caso, de otros medios afectados por las sustancias señaladas en el D.S. N°002-2013-MINAM.

Muestreo de Identificación: Es aquel orientado a identificar si el suelo está contaminado. Entiéndase que toda referencia hecha al muestreo exploratorio en el D.S. N° 002-2013-MINAM, se entenderá como referida al muestreo de identificación.

Muestreo de Nivel de Fondo: Es aquel orientado a identificar el nivel de fondo en el suelo (MINAM, 2014, p. 19).

Muestreo dirigido: Es la actividad por medio de la cual se toman muestras representativas sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado y/o es evidente la extensión de la afectación (MINAM, 2014, p. 11).

Muestreo simple: Las muestras colectadas en un tiempo y en un lugar particular son llamadas muestras simples. Este tipo de muestras representa las condiciones puntuales de una muestra de la población en el tiempo que fue colectado. Estas muestras siempre se aplicarán para compuestos orgánicos volátiles (COV's), Hidrocarburos y Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos (BTEX) (MINAM, 2014, p. 18).

Nitrificación: Proceso biológico durante el cual bacterias nitrificantes convierten el amoníaco tóxico en nitrato para disminuir su efecto dañino. Esto es comúnmente utilizado para eliminar sustancias de nitrógeno de las aguas residuales, pero en lagos y en pantanos, esto ocurre de forma natural (Espinoza, 2010, p. 122).

Nivel de fondo: Concentración en el suelo de los químicos que no fueron generados por la actividad objeto de análisis y que se encuentran en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la actividad bajo análisis (OEFA, 2004, p, 21).

Niveles y tratamientos: Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman niveles. Una combinación de niveles de todos los factores estudiados se llama tratamiento o punto de diseño. Por ejemplo, si en un experimento se estudia la influencia de la velocidad y la temperatura, y se decide probar cada una en dos niveles, entonces cada combinación de niveles (velocidad, temperatura) es un tratamiento. En este caso habría cuatro tratamientos (OEFA, 2004, p, 21).

Patrón de muestreo: Es la distribución espacial de los puntos de muestreo en el plano horizontal, para cada sitio en particular, en base a las características y el objetivo del muestreo. Los patrones pueden ser i) de distribución uniforme (rejillas regulares, rejillas triangulares, rejillas circulares, sobre una línea, diagonales múltiples), ii) de distribución aleatoria (aleatorios, aleatorios en una rejilla regular, aleatorios desalineados en una rejilla regular), iii) de muestreo con distribución heterogénea (diagonal simple, diagonales cruzadas rotantes) (MINAM, 2014, p. 10).

Plan de muestreo: Documento que contiene la información y programación relacionada con cada una de las etapas que conforman el muestreo y señala los criterios para la toma de muestras (OEFA, 2004, p, 29).

Planeación experimental: Son actividades encaminadas a entender, delimitar el problema u objeto de estudio y seleccionar variables de respuesta y factores. Concluye con la especificación de los tratamientos a realizar y con la organización del trabajo experimental (Kuehl, 2001, p. 2).

Punto de muestreo: Lugar (punto o área determinada) del suelo donde se toman las muestras, sean estas superficiales o de profundidad (OEFA, 2004, p. 29).

Riesgo: Probabilidad o posibilidad de que un contaminante pueda ocasionar efectos adversos a la salud humana, en los organismos que constituyen los ecosistemas o en la calidad de los suelos y del agua, en función de las características y de la cantidad que entra en contacto con los receptores potenciales, incluyendo la consideración de la magnitud o intensidad de los efectos asociados y el número de individuos, ecosistemas o bienes que, como consecuencia de la presencia del contaminante, podrían ser afectados tanto en el presente como en el futuro. Guía para Muestreo de Suelos (ISO 14001:2015, 3.2.10).

Sedimento: Materiales de depósito o acumulados por arrastre mecánico de las aguas superficiales o el viento depositados en los fondos marinos, fluviales, lacustres y depresiones continentales (Espigares y Pérez, 2003, p. 19).

Sistema de Coordenadas Cartográficas UTM: Sistema de Coordenadas Transversal Universal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator, UTM), identifica un punto de la superficie "terrestre", y tiene como unidad de medida el metro. Es un sistema cilíndrico transverso conforme, secante al globo terráqueo, el cual se encuentra relacionado con el elipsoide del Sistema de Referencia Geodésico 1980 - Geodetic Reference System 1980 (GRS80), siendo de utilización más idónea, del cual deriva el World Geodetic Systems – WGS84. (Resolución Jefatural N° 112-2006-IGN/OAJ/DGC/J) (MINAM, 2014, p. 5).

Sitio contaminado: Aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentraciones tal que en función del uso actual o previsto del sitio y sus alrededores representa un riesgo a la salud humana o el ambiente (MINAM, 2014, p. 5).

Suelo contaminado: Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, según lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM.

Suelo: Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad (D.S. N°002-2013-MINAM).

Textura de suelo: Es la propiedad física derivada de la composición granulométrica, constituida por arena, limo y arcilla, cuyos diámetros están contempladas en la escala de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (D.S. N°002-2013-MINAM).

Turbiedad: Disminución de la transparencia de una masa de agua debido a la presencia de partículas finamente dispersas en suspensión (DS 004-2017-MINAM).

Xenobiótico: Cualquier sustancia no sintetizada por un organismo, capaz de alterar sus procesos biológicos en sus diferentes niveles de organización, generalmente de origen antropogénico (K. Murray, 2015)

CAPÍTULO III

MARCO FILOSÓFICO

Se debe tomar en cuenta la fundamentación ontológica del investigador, precisando las corrientes de la investigación y el análisis del marco epistemológico que permita tomar una posición filosófica al respecto. La tesis de doctorado describe, analiza y explica los hechos o fenómenos de la investigación; mientras que la tesis doctoral se caracteriza por la rigurosidad epistemológica, científica y metodológica. Por su naturaleza, la tesis doctoral es un documento de alto rigor científico que, describiendo, analizando y explicando los datos, aporta nuevos conocimientos, nuevas teorías, nuevos modelos, nuevas tecnologías e innovaciones que contribuye a la solución de problemas de la sociedad.

La filosofía es un pilar de la ciencia en el acto de la investigación. Este presupone exploración, reflexiones y análisis del objeto en cuestión, la ciencia realiza la búsqueda, examen e indagación de las particularidades y causas que lo produce el fenómeno.

Muchos investigadores en la materia tienen un criterio común: los instrumentos de una y otra poseen un elemento común en la utilización de la racionalidad, pero no la ejecutan del mismo modo, pues posee herramientas muy específicas para utilizarla. Pueden ambas coincidir en algunos parámetros, pero cada una de estas áreas del saber humano, conservarán y cultivarán su identidad propia. Una y otra se benefician recíprocamente entre sí.

En las primeras etapas de la evolución filosófica, la ciencia se encontraba en una situación de mayor dependencia respecto a la primera, desarrollado durante el esplendor de la civilización griega entre el 600 y el 200 a.c. Siendo importante el aporte de los filósofos: Sócrates, Platón, Aristóteles, Pitágoras, etc.

En la actualidad no sucede así. Algunos llegan a pensar equívocamente que la actividad científica puede prescindir totalmente de la reflexión filosófica. Pero

posteriormente se percatan de tal imposibilidad y reconsideran su valoración de la actividad filosófica, aunque se desempeñen en este mundo de triunfo del espíritu pragmático impuesto por la racionalidad instrumental.

Cuando se poseen los instrumentos imprescindibles para conocer el desarrollo de un proceso, entonces se plantea con mayor fuerza la necesidad de ejecutar la búsqueda investigativa del mismo. Pero en otras ocasiones no existen las mínimas condiciones que posibilitan el conocimiento de algún hecho y en este caso la reflexión metodológica está muy limitada. En esos momentos pueden presentarse dos opciones:

- 1) Renunciar definitivamente a la posibilidad de conocer la naturaleza del fenómeno.
- 2) Plantearse asumir los instrumentos epistemológicos necesarios.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación se encuentra dentro de la línea de investigación del Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales: Gestión y conservación de recursos naturales.

El trabajo de investigación es:

Tipo de estudio: Aplicada (Villegas, 2011, p. 86).

Nivel de Investigación: es experimental, descriptivo y correlacional. (Villegas, 2011, p. 97).

Diseño: Experimental, porque tratamos de comprobar (confirmar o verificar) una o varias hipótesis en forma experimental relacionadas con la velocidad de contaminación del suelo por el uso de aguas residuales de los pozos de retención de Arunta, mediante la manipulación del tiempo de regadío y el caudal del agua residual utilizado (Villegas, 2011, p. 97).

Descriptivo: se pretende describir las características de la calidad del suelo antes y pos regadío utilizando aguas residuales de las pozas de retención de Arunta (Villegas, 2011, p. 97).

Correlacional: se pretende correlacionar las variables independientes y dependientes, con el objetivo de determinar el nivel de contaminación de los suelos que utilizan aguas residuales provenientes de las pozas de retención de Arunta (Villegas, 2011, p. 97).

Es una investigación experimental, donde se hacen variar intencionalmente las variables independientes. Para determinar experimentalmente la velocidad de contaminación de los suelos que utilizan aguas servidas de las pozas de retención de Arunta, tendremos en cuenta las siguientes condiciones (Ayala, 1995, p. 195).

Para esta investigación aplicaremos el modelo de diseño hexagonal, siendo la matriz y gráfico de diseño codificado los siguientes:

Tabla 2

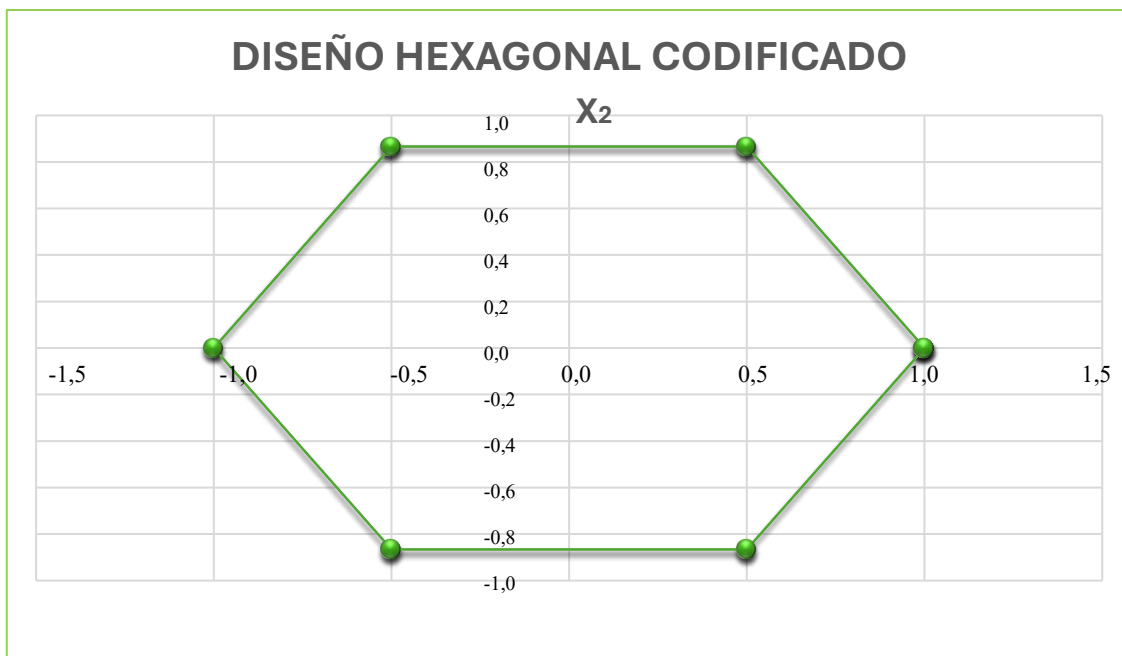
Matriz de Diseño Hexagonal Codificado

N°	CODIFICADO	
	x1	x2
1	1,000	0,000
2	0,500	0,866
3	-0,500	0,866
4	-1,000	0,000
5	-0,500	-0,866
6	0,500	-0,866
7	0,000	0,000
8	0,000	0,000
9	0,000	0,000

Nota. Ayala y Pardo (1995) p. 195.

Figura 3

Representación gráfica del Diseño Hexagonal Codificado



Nota. Elaboración propia.

Para utilizar este modelo debemos identificar los factores que influyen en la velocidad de contaminación de los suelos por el uso del agua residual de las pozas de retención de Arunta.

Se ha observado en el campo que la velocidad de contaminación depende de la cantidad de agua residual utilizada y del tiempo de uso.

Se ha observado que en la zona de Arunta para regar en un día utilizan de 3 a 6 litros/m² de suelo.

Para esta experimentación se aplicará un tiempo de regadío de 32 a 56 días y finalmente debemos convertir la matriz de diseño hexagonal codificado a matriz de diseño hexagonal real.

Tabla 3

Tiempo de regadío y matriz de diseño hexagonal modificado.

Factor	Unidad	Mínimo	Máximo
Dosificación de AR	litro/m ² /día	3	6
Tiempo de regadío	día	32	56

Factor	Unidad	Mínimo	Máximo	Radio	V. Central
Dosificación de AR	litro/m ² /día	3	6	1,5	4,5
Tiempo de regadío	día	32	56	12	44

Para convertir la matriz de diseño codificado a matriz de diseño real, aplicaremos la siguiente ecuación:

$$\text{Valor}_{\text{real}} = \text{Valor}_{\text{codificado}} * \text{Radio} + \text{Valor}_{\text{central}}$$

Tabla 4

Matriz de Diseño Codificado y Natural del Diseño Hexagonal

Nº	CODIFICADO		NATURAL	
	x1	x2	Dosificación litro/m ² /día	Tiempo día
1	1,000	0,000	6,00	44,00
2	0,500	0,866	5,25	54,39
3	-0,500	0,866	3,75	54,39
4	-1,000	0,000	3,00	44,00
5	-0,500	-0,866	3,75	33,61
6	0,500	-0,866	5,25	33,61
7	0,000	0,000	4,50	44,00
8	0,000	0,000	4,50	44,00
9	0,000	0,000	4,50	44,00

Nota. Adaptación al propuesto por Ayala y Pardo (1995) p. 195.

4.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Para desarrollar las pruebas experimentales se requiere las siguientes muestras:

- a) Aguas Residuales: La muestra que se utilizará para este estudio provendrá de un muestreo que se tomará en la descarga de las pozas de aguas residuales de Arunta, que serán de acuerdo a los protocolos de manejo y toma de muestras. Se requiere juntar para el experimento 1 782 litros de aguas residuales.
- b) Tierra Sin Contaminación: Se requiere 1,30 m³ de tierra libre de contaminación, sin material orgánico, piedras, plásticos, maderas, etc.

4.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

4.3.1. Variables de control de contaminación de suelos.

Variables dependientes (Y_i):

- Temperaturas
- Sulfato
- Nitrito
- pH
- Coliformes fecales
- P, Na, As, K
- MO

Variables independientes (X_i):

- Tiempo de regadío.
- Caudal de regadío de aguas residuales.

4.3.2. Criterios para la calidad de agua.

Dentro de los parámetros de calidad de agua se encuentran una serie de variables que se consideran relevantes para la determinación de la calidad de agua (DS N° 003-2010-MINAM).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Es el parámetro de mayor importancia que nos indica el grado de contaminación en aguas residuales a partir de su contenido de sustancias biodegradables. Ese contenido se expresa en función de la demanda de oxígeno de los microorganismos participantes en la degradación de la materia orgánica.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La demanda química de oxígeno (DQO) se refiere al oxígeno consumido en la degradación química de sustancias oxidables. Este consumo incluye las cargas orgánicas e inorgánicas. Se expresa en mg por litro de oxígeno equivalente a la cantidad de oxidante empleado. Un valor DQO elevado indica un agua residual con muchas sustancias oxidables (DQO).
- **Oxígeno Disuelto (OD):** El análisis de oxígeno disuelto mide la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto (O_2) en una solución acuosa. El oxígeno se introduce en el agua mediante difusión desde el aire que rodea la mezcla acuática. Se mide en el campo en mg/L.
- **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Corresponde a la cantidad de material (sólidos) que es retenido después de realizar la filtración de un volumen de agua residual. Es importante como indicador, puesto que su presencia disminuye el paso de la luz a través de agua, evitando su actividad fotosintética, importante para la producción de oxígeno.
- **Aceites y grasas:** Son materiales flotantes constituidos por partículas de grasa y/o películas de aceite que pueden dispersarse sobre una extensa superficie. Dan un aspecto estético desagradable y disminuyen el paso de la luz.
- **Potencial de Hidrógeno (pH):** Monitorear el pH del agua residual, ya que si se llega a tener una concentración de iones hidrogeno muy bajo, son difíciles de tratar por medios biológicos.

- **Coliformes:** Son grupos de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y de los alimentos.
- **Tiempo:** Constituye la variable independiente de mayor incidencia, pues en función a esta se van a monitorear cada una de las variables dependientes descritas anteriormente, en ese sentido se elaborarán cuadros, cálculos y gráficas que van a reflejar el comportamiento de cada una de las variables dependientes durante el tiempo de duración del ensayo.
- **Caudal:** Es el flujo volumétrico que ingresa y sale de las pozas de retención.

4.3.3. Criterios para evaluación de la contaminación de suelos.

Se tendrá en cuenta el DS 011-2017-MINAM, que aprueba el estándar de Calidad Ambiental para el suelo (ECA suelos).

4.3.4. Definición operacional de las variables.

Operacionalización de las variables en contaminación de suelos

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES DE MEDIDA
VARIABLES DEPENDIENTES (Y_i)	Temperatura	<u>Nivel:</u>	
	Potencial de Hidrógeno (pH)	Bajo	mg/kg
	Sulfato	Medio	
	Nitrito	Alto	%
	Coliformes fecales	<u>En el caso de pH</u>	
	P, Na, As, K	Ácido	NMP/100g
	Presencia de material orgánico	Neutro	
VARIABLES INDEPENDIENTES (X_i)	Tiempo	<u>Nivel</u>	Día
		Bajo	
	Caudal de contaminantes	Medio	l/m ² /día
		Alto	

Nota. Elaboración propia.

4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

a) Parte experimental.

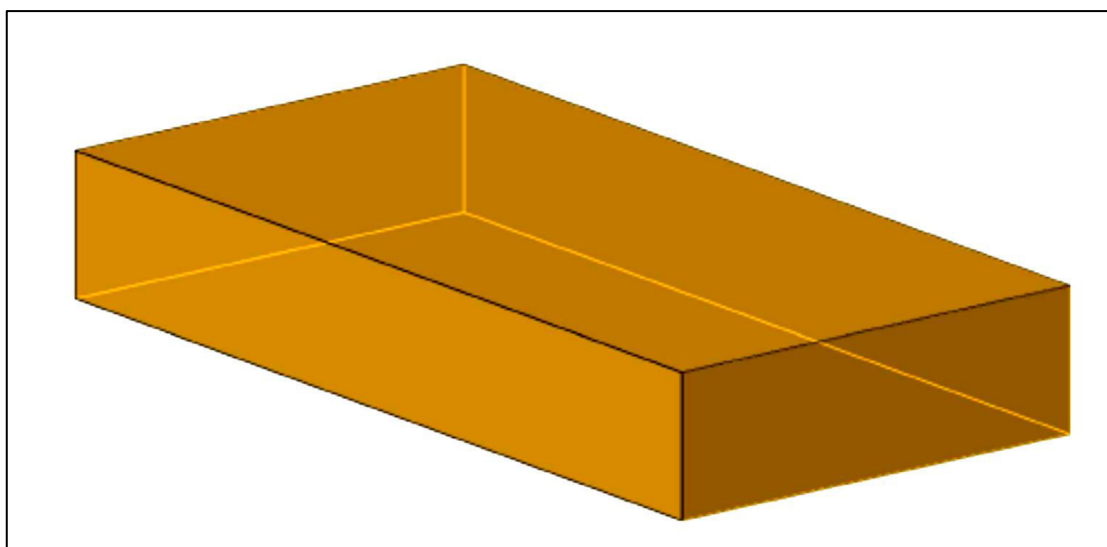
Iniciaremos la investigación haciendo la recolección de las muestras, y se debe proceder de la siguiente forma:

- a. Muestreo en la entrada y descarga de las pozas de retención de aguas residuales de Arunta: Para efectuar la composición química, biológica y bacteriológica de las aguas residuales.
- b. Tomar en la descarga de las pozas 1 782 litros de aguas residuales: Las que deben ser trasladadas al laboratorio habilitado para las pruebas experimentales.
- c. Buscar en la zona cercana a las pozas tierras sin contaminación: Se requiere juntar $1,30 \text{ m}^3$ de tierra y que deben estar completamente homogenizada

Para la parte experimental se debe construir nueve (9) cajas de madera iguales, de dimensiones interiores (largo 1,20 m, ancho 0,60 m y alto 0,20 m). Cada caja debe contener $0,144 \text{ m}^3$ y $0,72 \text{ m}^2$ de tierra, sumando un total de $1,30 \text{ m}^3$.

Figura 4

Caja para experimentación: largo 120 cm, ancho 60 cm, alto 20 cm



Nota. Elaboración propia, se han fabricado 9 cajas.

4.5. MATERIALES Y/O INSTRUMENTOS

Los materiales y equipos son los proporcionados por los laboratorios que han de brindar los servicios: toma de muestra, transporte, conservación de muestra y análisis de las aguas residuales.

Para el desarrollo de la investigación se han utilizado en total 1 782 litros de agua residual y 150 kg. de tierra por caja, como se detalla en la Tabla 5.

Tabla 3

Matriz de requerimiento de agua residual y tierra para pruebas

Prueba	Requerimiento de AR en litros	Requerimiento de tierra en kilogramos
1	264	150
2	286	150
3	204	150
4	132	150
5	126	150
6	176	150
7	198	150
8	198	150
9	198	150
Total	1782	1350

Nota. Elaboración propia.

Para garantizar la disponibilidad de agua residual se ha almacenado 2 500 litros en bidones de plástico con tapa.

Se ha recogido 2 000 kilogramos de tierra de la zona, libres de piedra y otros materiales, los que han sido mezclados y homogenizados, como se aprecia en las figuras 5 y 6.

Figura 5

Abastecimiento de aguas residuales para las pruebas experimentales



Nota. Elaboración propia

Figura 6

Homogenización de tierras para las pruebas experimentales



Nota. Elaboración propia

Para pesar la tierra que se llenó a cada caja se utilizó una balanza electrónica Accüra calibrada, como se aprecia en las figuras 7, 8 y 9.

Figura 7

Balanza electrónica Accüra de 300 kg x 50 g



Nota. Elaboración propia

Figura 8

Pesada de caja vacía



Nota. Elaboración propia

Figura 9

Pesada de caja llena de tierra para las pruebas experimentales



Nota. Elaboración propia

Se procedió a ejecutar la investigación dosificando agua residual y teniendo en cuenta el tiempo que se especifica en la Tabla 4.

En la figura 10 se aprecia las nueve cajas, para medir el volumen de agua se utilizó probetas graduadas de 1 litro.

Figura 10

Ejecución de las pruebas experimentales



Nota. Elaboración propia

4.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Las muestras generadas durante la ejecución del experimento fueron realizadas en el Laboratorio de Ensayo Acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL: CERPER con registro N° I.E. 003.

Para el procesamiento de datos se ha utilizado la hoja electrónica Excel y el software Statgraphics Centurión XV edición de Evaluación.

Los resultados del procesamiento se muestran en el capítulo V.

4.6.1 Evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA)

Para evaluar los riesgos a la Salud y el ambiente (ERSA), lo realizaremos en dos etapas:

- a) Evaluación del impacto ambiental al suelo por el uso del agua residual sin tratar.
- b) Evaluación de riesgos del uso de agua residual sin tratar.

4.6.2. Evaluación de impactos ambientales (I.A.)

La valoración del impacto ambiental (V.Imp.) se determina en función del incremento del contaminante en el suelo, teniendo en cuenta el siguiente cuadro.

Tabla 4

Matriz valoración del impacto ambiental

Nivel de Importancia	Valoración del Impacto (V.Imp.)	% de Incremento
Bajo	1	< 10 %
Leve	2	< 30 %
Moderado	3	< 50 %
Serio	4	<100 %
Desastroso	5	>100 %

Para proyectar el posible daño del impacto se tiene en cuenta la tabla siguiente.

Tabla 5

Matriz valoración del daño ambiental por el uso de agua sin tratar

Nivel de Importancia	Valoración de Daño (V. Daño)
Bajo	1
Leve	2
Moderado	3
Serio	4
Desastroso	5

Para construir la matriz del Impacto Ambiental (I.A.) se tiene en cuenta la siguiente relación:

$$I.A. = (V. Imp.) * (V. Daño)$$

Tabla 6

Matriz del impacto ambiental ocasionado por el uso de agua sin tratar

		VALORACIÓN DEL DAÑO				
		Bajo (1)	Leve (2)	Moderado (3)	Serio (4)	Desastroso (5)
VALORACION DEL IMPACTO	Bajo (1)	< 10 COMPATIBLES	< 10 COMPATIBLES	< 10 COMPATIBLES	< 10 COMPATIBLES	< 10 COMPATIBLES
	Leve (2)	< 10 COMPATIBLES	< 10 COMPATIBLES	< 10 COMPATIBLES	< 10 COMPATIBLES	De 10 a 14 LEVES
	Moderado (3)	< 10 COMPATIBLES	< 10 COMPATIBLES	< 10 COMPATIBLES	De 10 a 14 LEVES	De 15 a 19 SEVEROS
	Serio (4)	< 10 COMPATIBLES	< 10 COMPATIBLES	De 10 a 14 LEVES	De 15 a 19 SEVEROS	De 20 a más CRITICOS
	Desastroso (5)	< 10 COMPATIBLES	De 10 a 14 LEVES	De 15 a 19 SEVEROS	De 20 a más CRITICOS	De 20 a más CRITICOS

Nota. Adaptado del IPER según Ley 29783 Seguridad y Salud en el Trabajo.

4.6.3. Evaluación de los riesgos ambientales (R.A.)

El valor de la probabilidad (P) del riesgo ambiental de que ocurra la contaminación del suelo, es determinado también en función del incremento del contaminante en el suelo, la que es mostrada en el siguiente cuadro.

Tabla 7

Matriz valoración de la probabilidad del riesgo ambiental

Clasificación	Probabilidad (P)	% de Incremento
Baja	3	< 15 %
Media	5	< 50 %
Alta	9	> 50 %

El puntaje de la gravedad (Grav) de riesgo ambiental, se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 8

Matriz valoración de la gravedad de riesgo ambiental

Clasificación	Gravedad (Grav)	Puntaje
LIGERAMENTE DAÑINO	Bajo impacto en la calidad del suelo, se puede cultivar.	4
DAÑINO	Para recuperar la calidad del suelo, se requiere tratamiento de descontaminación.	6
EXTREMADAMENTE DAÑINO	El daño es irreversible,	8

Para construir la matriz del Riesgo Ambiental (R.A.) se tiene en cuenta la siguiente relación:

$$R.A. = (P) * (Grav)$$

Tabla 9*Matriz del riesgo ambiental al suelo por uso de agua sin tratar*

		Gravedad del Riesgo (Gray)		
		LIGERAMENTE DAÑINO (4)	DAÑINO (6)	EXTREMADAMENTE DAÑINO (8)
Probabilidad (P)	BAJA (3)	12 a 20 Riesgo Bajo	12 a 20 Riesgo Bajo	24 a 36 Riesgo Moderado
	MEDIA (5)	12 a 20 Riesgo Bajo	24 a 36 Riesgo Moderado	40 a 54 Riesgo Importante
	ALTA (9)	24 a 36 Riesgo Moderado	40 a 54 Riesgo Importante	60 a 72 Riesgo Crítico

Nota. Fuente adaptado del IPER según Ley 29783 Seguridad y Salud en el Trabajo.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL Y SUELOS

La calidad del agua residual de los efluentes de las pozas de retención está muy por encima de lo exigido por el DS N° 003-2010-MINAM, como se puede apreciar en la Tabla 12.

Tabla 10

Caracterización del agua residual descargada de las pozas de Arunta

Parámetro	Contenido	Unidades	Parámetro	Contenido	Unidades
DBO ₅	293	mg/l	Calcio	136	mg/l
DQO	577	mg/l	Cobalto	0,00057	mg/l
pH	7,38	mg/l	Fósforo	11,2	mg/l
Coliformes	35000000	mg/l	Litio	0,03309	mg/l
Nitritos	0,001	mg/l	Magnesio	21,6	mg/l
Sulfatos	260	mg/l	Manganeso	0,0678	mg/l
Arsénico	0,00909	mg/l	Potasio	33,2	mg/l
Boro	1,08	mg/l	Sodio	181	mg/l
Cadmio	0,00035	mg/l			

Nota. 1) Informe de ensayo de agua residual N° 2-01994/19 – CERPER – Laboratorio de ensayo acreditado por INACAL – Registro N° LE 003

2) DS N° 003-2010-MINAM, LMP para efluentes de PTAR: DBO₅ 100 mg/L; DQO 200 mg/L; coliformes termotolerantes 10 000 NMP/100 mL; etc.

La calidad del suelo del sector 18 de la ampliación Viñani, que aún no han sido regados con aguas residuales, los parámetros analizados están por debajo de lo que exige el DS N° 011-2017-MINAM (Estándares de Calidad Ambiental – ECA para suelos).

Tabla 11

Caracterización del suelo del sector 18 de la ampliación Viñani

Parámetro	Contenido	Unidades	Parámetro	Contenido	Unidades
pH	7,53	mg/kg	Cobalto	3,29	mg/kg
Nitritos	0,15	mg/kg	Fósforo	1013	mg/kg
Sulfatos	7222	mg/kg	Litio	8,23	mg/kg
Coliformes	18	NMP/100g	Magnesio	6508	mg/kg
Arsénico	18,8	mg/kg	Manganeso	208	mg/kg
Boro	28	mg/kg	Potasio	1506	mg/kg
Cadmio	0,09	mg/kg	Sodio	9148	mg/kg
Calcio	21620	mg/kg			

Nota. 1) Informe de ensayo de suelos N° 2-01994/19 – CERPER – Laboratorio de ensayo acreditado por INACAL – Registro N° LE 003.

2) En el D.S. 011-2017-MINAM, en el suelo para fines agrícolas el contenido de Cd debe ser menor de 1,4 mg/kg y del As 50 mg/kg

5.2. EJECUCIÓN Y RESULTADOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Se observa que los parámetros contaminantes del suelo de las nueve cajas experimentales tienden a incrementar, como se muestra en las Tablas 14 y 15.

Tabla 12*Contaminación de las muestras de suelos regados experimentalmente*

Caja N°	Dosificación de AR l/m ² /día	Tiempo de regadío (días)	pH	Coliformes	Contenido en mg/kg					
					Nitritos	Sulfatos	Arsénico	Boro	Cadmio	Calcio
1	6,00	44,00	8,03	4500	1,5	16230	22	39,1	0,13	21885
2	5,25	54,39	8,02	14000	1,46	14249	25,6	34,4	0,098	22076
3	3,75	54,39	8,14	1700	1,76	15202	20	38,3	0,11	25131
4	3,00	44,00	8,15	4500	1,65	16412	24,2	43,1	0,12	23779
5	3,75	33,61	8,16	1800	1,4	19860	26,5	47,5	0,142	25561
6	5,25	33,61	7,98	7800	2,7	15374	21	33,5	0,112	22456
7	4,50	44,00	8,11	4500	1,15	16180	26	41,3	0,12	24803
8	4,50	44,00	8,02	7800	1,5	15413	25,3	37,1	0,13	24448
9	4,50	44,00	8,10	1700	1,35	15634	26,437	43,52	0,13299	23959

Nota. Informe de ensayo de suelos N° 2-01994/19 – CERPER – Laboratorio de ensayo acreditado por INACAL – Registro N° LE 003.

Tabla 13*Otras contaminaciones de suelos regados experimentalmente*

Caja N°	Dosificación de AR l/m2/día	Tiempo de regadío (días)	Contenido en mg/kg						
			Cobalto	Fósforo	Litio	Magnesio	Manganeso	Potasio	Sodio
1	6,00	44,00	4,13	1351	13	8566	250	2153	769
2	5,25	54,39	3,89	1062,1	8,91	7638	254	1590	454
3	3,75	54,39	3,9	1143,2	8,32	8007	291	1648	1388
4	3,00	44,00	4,24	1507	8,9	8689	254	2119	1725
5	3,75	33,61	4,74	1727	17,5	10745	279	2331	3119
6	5,25	33,61	3,44	1358	12,8	8100	212	1769	786
7	4,50	44,00	4,78	1585	15,4	9487	288	2343	1426
8	4,50	44,00	4,76	1467	14	9023	286	2206	744
9	4,50	44,00	4,77	1513	14,265	9381	296	2306	735

Nota. Informe de ensayo de suelos N° 2-01994/19 – CERPER – Laboratorio de ensayo acreditado por INACAL – Registro N° LE 003.

5.3. INCREMENTO DE LOS CONTAMINANTES EN EL DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para determinar el incremento de cada factor contaminante del suelo, se ha aplicado la siguiente ecuación:

$$\text{Incremento contaminante (\%)} = ((V_f - V_i)/V_i) * 100$$

Donde:

V_i = Contenido de contaminante en suelo sin contaminar.

V_f = Contenido de contaminante en suelo contaminado.

Los resultados de la aplicación de la ecuación se tienen en las Tablas 16 y 17.

Tabla 14

Incremento de contaminantes en muestras regadas experimentalmente

Caja N°	Dosificación de AR l/m ² /día	Tiempo de regadío (día)	Incremento de la contaminación en %							
			pH	Coliformes	Nitritos	Sulfatos	Arsénico	Boro	Cadmio	Calcio
1	6,00	44,00	0,07	249,00	9,00	1,25	0,17	0,40	0,44	0,01
2	5,25	54,39	0,07	776,78	8,73	0,97	0,36	0,23	0,09	0,02
3	3,75	54,39	0,08	93,44	10,73	1,10	0,06	0,37	0,22	0,16
4	3,00	44,00	0,08	249,00	10,00	1,27	0,29	0,54	0,33	0,10
5	3,75	33,61	0,08	99,00	8,33	1,75	0,41	0,70	0,58	0,18
6	5,25	33,61	0,06	432,33	17,00	1,13	0,12	0,20	0,24	0,04
7	4,50	44,00	0,08	249,00	6,67	1,24	0,38	0,48	0,33	0,15
8	4,50	44,00	0,07	432,33	9,00	1,13	0,35	0,33	0,44	0,13
9	4,50	44,00	0,08	93,44	8,00	1,16	0,41	0,55	0,48	0,11

Nota. Elaboración propia.

Tabla 15*Otros incrementos de contaminantes regados experimentalmente*

Caja N°	Dosificación de AR l/m ² /día	Tiempo de regadío (día)	Incremento de la contaminación en %						
			Cobalto	Fósforo	Litio	Magnesio	Manganeso	Potasio	Sodio
1	6,00	44,00	0,255	0,33	0,58	0,32	0,20	0,43	-0,92
2	5,25	54,39	0,182	0,05	0,08	0,17	0,22	0,06	-0,95
3	3,75	54,39	0,185	0,13	0,01	0,23	0,40	0,09	-0,85
4	3,00	44,00	0,289	0,49	0,08	0,34	0,22	0,41	-0,81
5	3,75	33,61	0,441	0,70	1,13	0,65	0,34	0,55	-0,66
6	5,25	33,61	0,046	0,34	0,56	0,24	0,02	0,17	-0,91
7	4,50	44,00	0,453	0,56	0,87	0,46	0,38	0,56	-0,84
8	4,50	44,00	0,447	0,45	0,70	0,39	0,38	0,46	-0,92
9	4,50	44,00	0,450	0,49	0,73	0,44	0,42	0,53	-0,92

Nota. Elaboración propia.**ANÁLISIS:**

- 1) El incremento de coliformes fecales en suelos contaminados experimentalmente alcanzan hasta el 776,78 %.
- 2) El incremento de nitritos en suelos contaminados experimentalmente alcanza hasta el 17,00 %.
- 3) El incremento de sulfatos en suelos contaminados experimentalmente alcanza hasta el 1,75 %.
- 4) El incremento de los otros contaminantes en suelos contaminados experimentalmente no supera al 1,00 %.
- 5) En el caso del sodio tiende a bajar, esto sea, posiblemente a la descomposición del ClNa presente en el suelo sin contaminar que han sido lixiviados durante la experimentación.

5.4. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DEL INCREMENTO DE CADA CONTAMINANTE

5.4.1. Evaluación del Incremento de pH

Variable dependiente : Incremento de pH (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 16

Matriz de correlación del incremento de pH (%)

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	0,0723501	0,135461	0,534103	0,6303
AR	-0,013005	0,0308776	-0,42118	0,7020
t	0,00185383	0,00420146	0,441235	0,6889
AR ²	-0,000740741	0,0027048	-0,273861	0,8020
t ²	-0,0000347376	0,0000422813	-0,821584	0,4715
AR*t	0,000320821	0,000427762	0,75	0,5077

Tabla 17

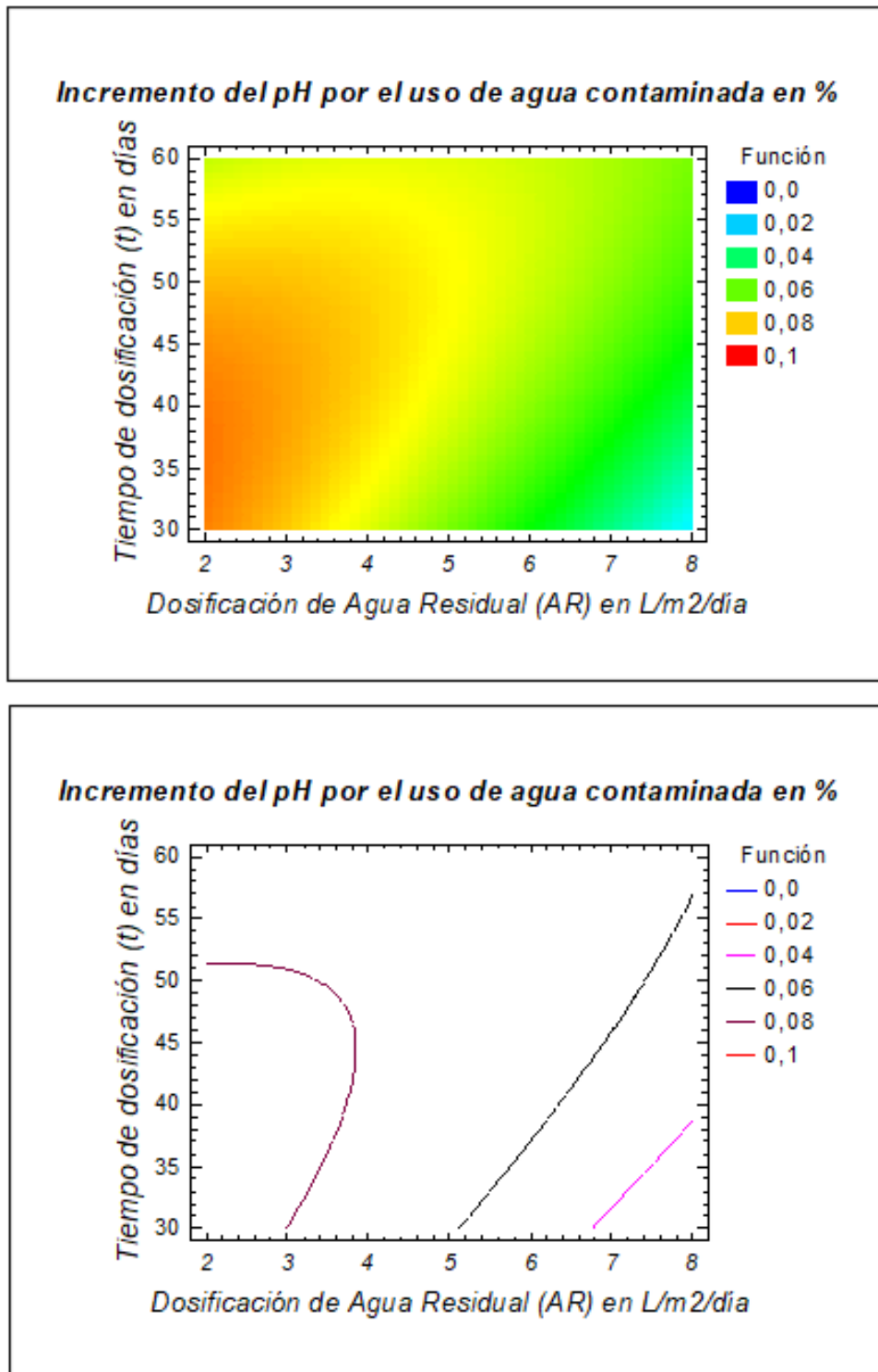
Análisis de varianza de la correlación del incremento de pH (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,000288889	5	0,0000577778	1,30	0,4414
Residuo	0,000133333	3	0,0000444444		
Total (Corr.)	0,000422222	8			

R-cuadrada = 0,684211
 R-cuadrado ajustado = 0,157895
 Error estándar = 0,666667
 Observaciones = 9

Figura 11

Diagrama de superficie y contorno del incremento de pH por el uso de AR no tratada



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del pH en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de pH (\%)} = 0,0723501 - 0,013005*AR + 0,00185383*t - 0,000740741*AR^2 - 0,0000347376*t^2 + 0,000320821*AR*t$$

El valor-P (0,4414) en la tabla ANOVA es mayor que 0,05, nos indica que no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo la variabilidad del incremento del pH es del orden del 68,4211 %.

El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 15,7895 %, lo que es bajo.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,666667.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir las siguientes condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (0,000288889/5)/(0,000133333/3) = 1,30$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$$

Cómo el $F_{\text{modelo}} (1,30)$ es menor que $F_{\text{tablas}} (9,01)$, el modelo propuesto del incremento del pH por el uso de agua residual estadísticamente no tiene aceptación.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (0,0054/1)/(0,00486667/2) = 2,21918$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Cómo el $F_{\text{falta ajuste}} (2,21918)$ es menor que $F_{\text{tablas}} (18,51)$, los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente son aceptables.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual del pH en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

5.4.2. Evaluación del Incremento de Coliformes

Variable dependiente : Incremento de coliformes (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 18

Matriz de correlación del incremento de coliformes (%)

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	3224,95	5623,93	0,573433	0,6065
AR	-344,089	1281,95	-0,268412	0,8058
t	-119,366	174,432	-0,684312	0,5429
AR ²	-4,11407	112,295	-0,0366362	0,9731
t ²	0,874879	1,75539	0,498395	0,6525
AR*t	11,2291	17,7594	0,632289	0,5721

Tabla 19

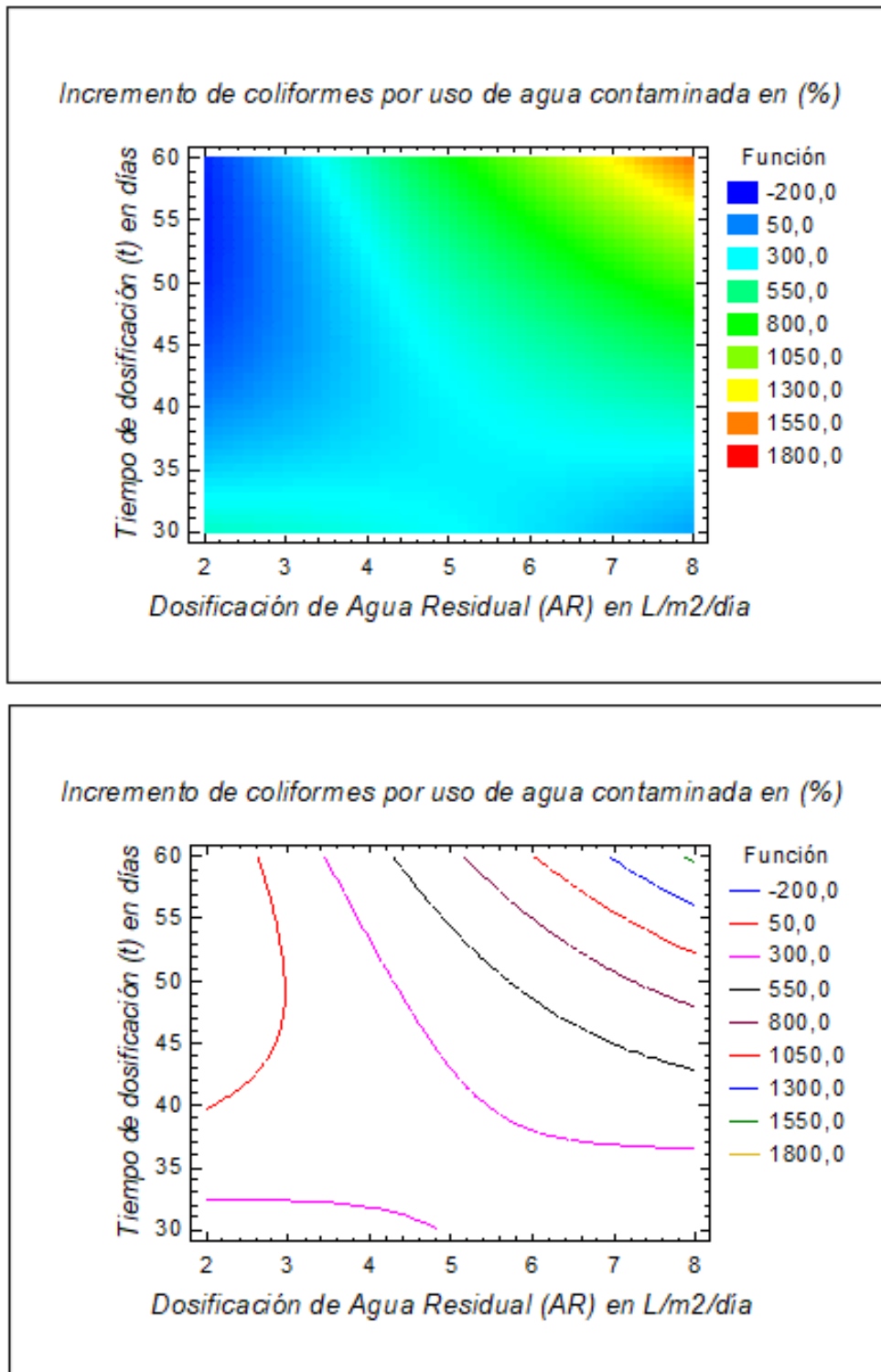
Varianza de la correlación del incremento de coliformes (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	165985,00	5	33197,00	0,43	0,8062
Residuo	229821,00	3	76607,10		
Total (Corr.)	395806,00	8			

R-cuadrada = 0,419359
 R-cuadrado ajustado = 0,0
 Error estándar = 2,7678
 Observaciones = 9

Figura 12

Diagrama de superficie y contorno del incremento de coliformes por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento de coliformes en % en el suelo contaminado y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de Coliformes (\%)} = 3224,95 - 344,089 \cdot \text{AR} - 119,366 \cdot t - 4,11407 \cdot \text{AR}^2 + 0,874879 \cdot t^2 + 11,2291 \cdot \text{AR} \cdot t$$

Puesto que el valor-P (0,8062) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 41,9359 % de la variabilidad en Incremento de Coliformes.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2,7678.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir las siguientes condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (\text{SSM}/g11)/(\text{SSR}/g12) = (165985/5)/(229821/3) = 0,43$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

y $F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$

Como el F_{modelo} (0,43) es menor que F_{tablas} (9,01), el modelo propuesto del incremento de coliformes por el uso de agua residual estadísticamente no tiene aceptación.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (0,0054/1)/(0,00486667/2) = 2,21918$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como el $F_{\text{falta ajuste}}$ (2,21918) es menor que F_{tablas} (18,51), los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente son aceptables.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual de los coliformes en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

5.4.3. Evaluación del Incremento de Nitritos

Variable dependiente : Incremento del Nitrito (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 20

Matriz de correlación del incremento de nitritos (%)

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	10,5789	41,5383	0,254679	0,8154
AR	9,14081	9,46844	0,965398	0,4056
t	-0,968905	1,28835	-0,752049	0,5066
AR ²	0,715556	0,829412	0,862726	0,4517
t ²	0,0269101	0,0129653	2,07554	0,1296
AR*t	-0,342316	0,131171	-2,6097	0,0797

Tabla 21

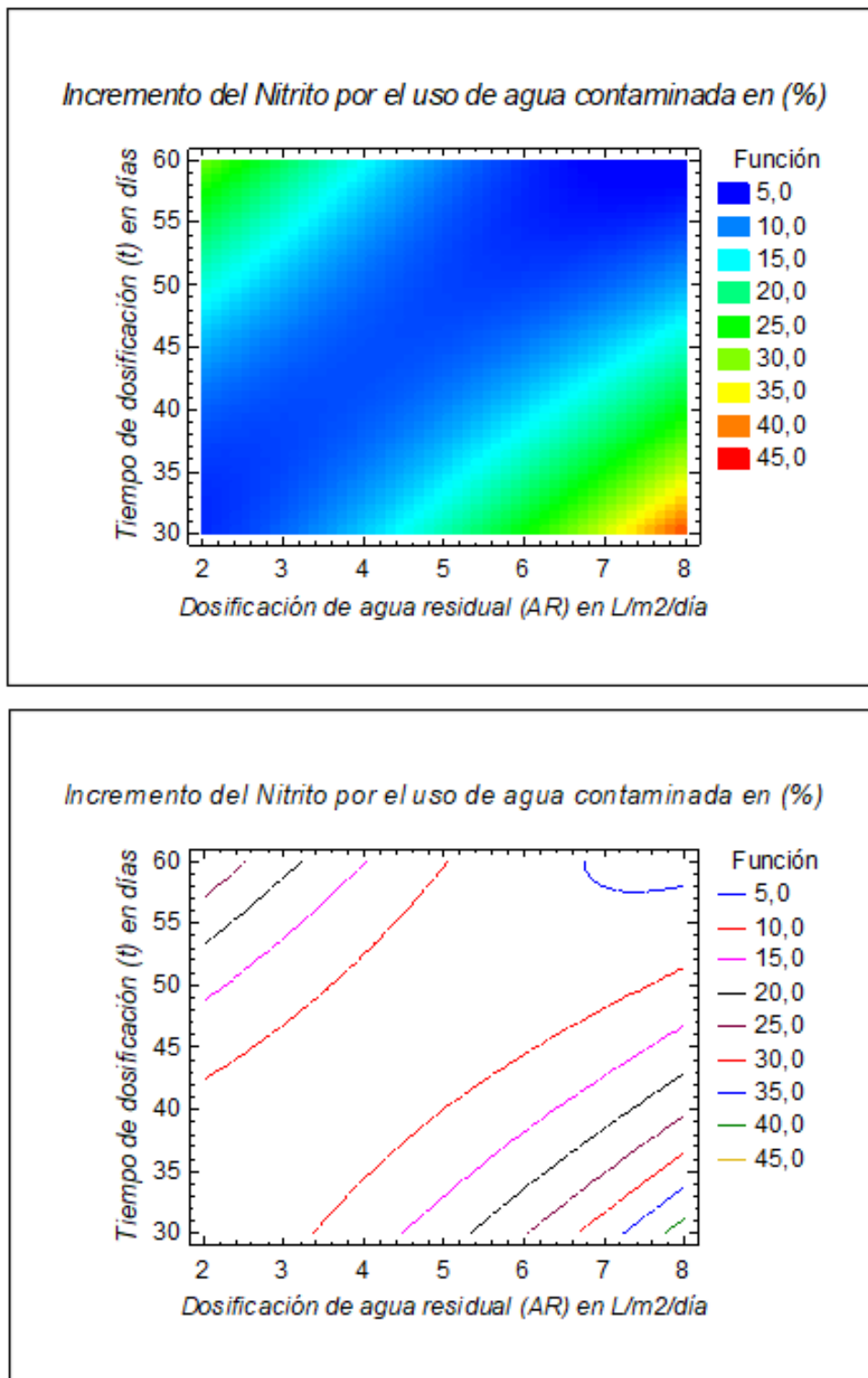
Varianza de la correlación del incremento de nitritos (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	57,7693	5	11,5539	2,76	0,2160
Residuo	12,5374	3	4,17914		
Total (Corr.)	70,3068	8			

R-cuadrada = 0,821676
 R-cuadrado ajustado = 0,524468
 Error estándar = 2,04429
 Observaciones = 9

Figura 13

Diagrama de superficie y contorno del incremento de nitritos por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del nitrato en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento del Nitrito (\%)} = 10,5789 + 9,14081*AR - 0,968905*t + 0,715556*AR^2 + 0,0269101*t^2 - 0,342316*AR*t$$

Puesto que el valor-P (0,216) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05 no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 82,1676 % de la variabilidad en Nitrito.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2,04429 %.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir las siguientes condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (57,7693/5)/(12,5374/3) = 2,76$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

y $F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$

Como el F_{modelo} (2,76) es menor que F_{tablas} (9,01), el modelo propuesto del incremento del nitrito en suelos contaminados por el uso de agua residual estadísticamente no tiene aceptación.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (92,4993/1)/(2,83713333/2) = 65,2063$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como el $F_{\text{falta ajuste}}$ (65,2062) es mayor que F_{tablas} (18,51), los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente no son aceptables.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual de los nitritos en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

5.4.4. Evaluación del Incremento del Sulfato

Variable dependiente : Incremento del Sulfato (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 22

Matriz de correlación del incremento del sulfato (%)

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	7,00919	3,6212	1,93559	0,1484
AR	-1,1128	0,825435	-1,34814	0,2704
t	-0,122838	0,112315	-1,09369	0,3540
AR ²	0,037037	0,0723061	0,512226	0,6438
t ²	0,000370535	0,00113028	0,327825	0,7646
AR*t	0,0157202	0,0114351	1,37473	0,2629

Tabla 23

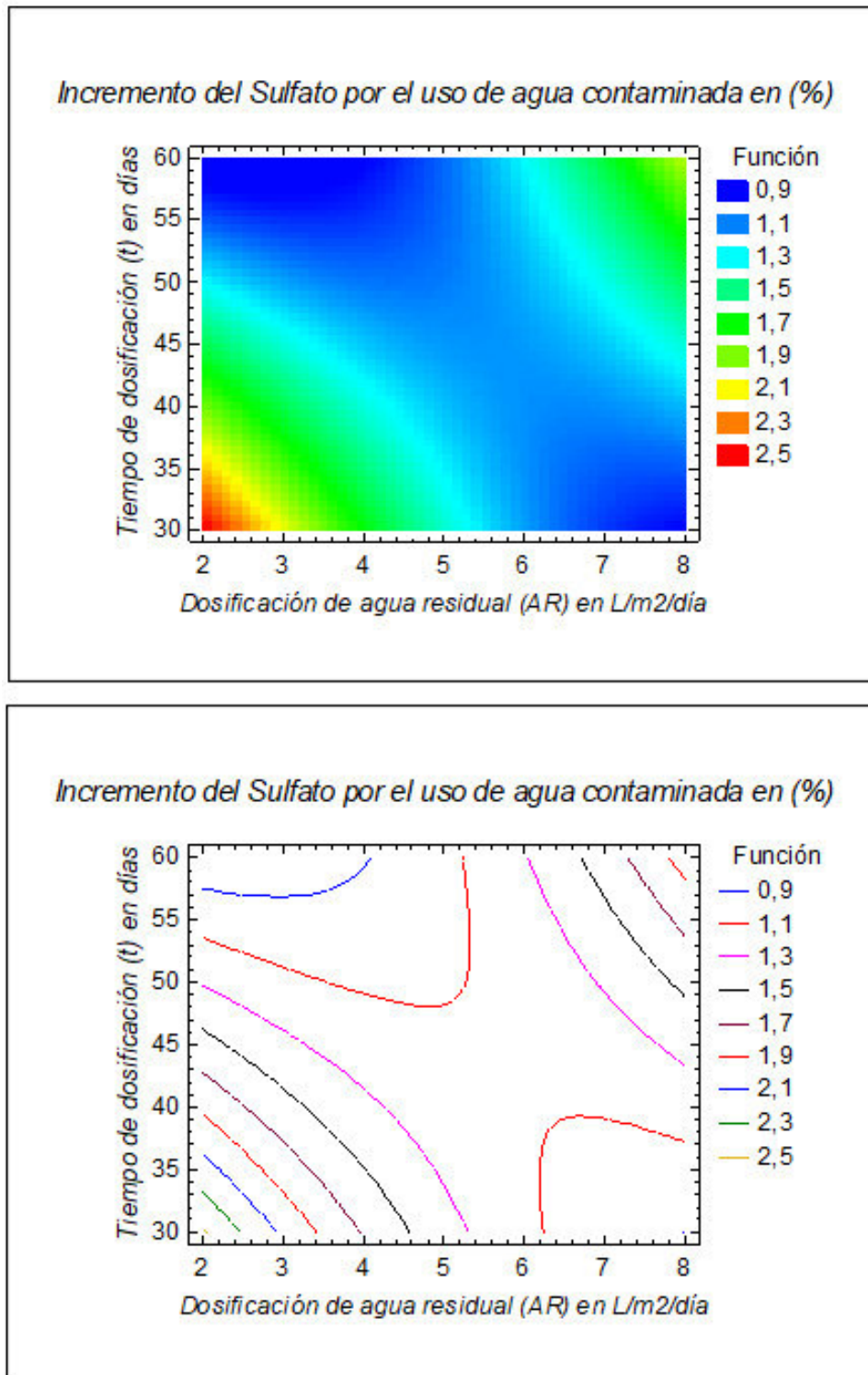
Varianza de la correlación del incremento del sulfato (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,286072	5	0,0572144	1,80	0,3331
Residuo	0,0952833	3	0,0317611		
Total (Corr.)	0,381356	8			

R-cuadrada = 0,750146
 R-cuadrado ajustado = 0,333722
 Error estándar = 0,178216
 Observaciones = 9

Figura 14

Diagrama de superficie y contorno del incremento de sulfatos por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre incremento del sulfato en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento del Sulfato (\%)} = 7,00919 - 1,1128 \cdot \text{AR} - 0,122838 \cdot t + 0,037037 \cdot \text{AR}^2 + 0,000370535 \cdot t^2 + 0,0157202 \cdot \text{AR} \cdot t$$

Puesto que el valor-P (0,3331) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05 no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 75,0146 % de la variabilidad en Sulfato.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,178216.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir estas condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (\text{SSM}/g11)/(\text{SSR}/g12) = (0,286072/5)/(0,0952833/3) = 1,80$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$$

Como el F_{modelo} (1,80) es menor que F_{tablas} (9,01), el modelo propuesto del incremento del sulfato por el uso de agua residual estadísticamente no tiene aceptación.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (280,6159/1)/(142,8365/2) = 3,92919$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

y $F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$

Como el $F_{\text{falta ajuste}}$ (3,92919) es menor que F_{tablas} (18,51), los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente son aceptables.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual de los sulfatos en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

5.4.5. Evaluación del Incremento del Arsénico

Variable dependiente : Incremento de arsénico (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 24

Matriz de correlación del incremento de arsénico (%)

Parámetro	Estimación	Error Estadístico		
		Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	1,12624	0,797093	1,41293	0,2526
AR	-0,258408	0,181693	-1,42222	0,2501
t	-0,00223131	0,0247227	-0,0902538	0,9338
AR ²	-0,0666667	0,0159159	-4,18869	0,0248
t ²	-0,000972654	0,000248796	-3,90944	0,0297
AR*t	0,0189285	0,00251708	7,52001	0,0049

Tabla 25

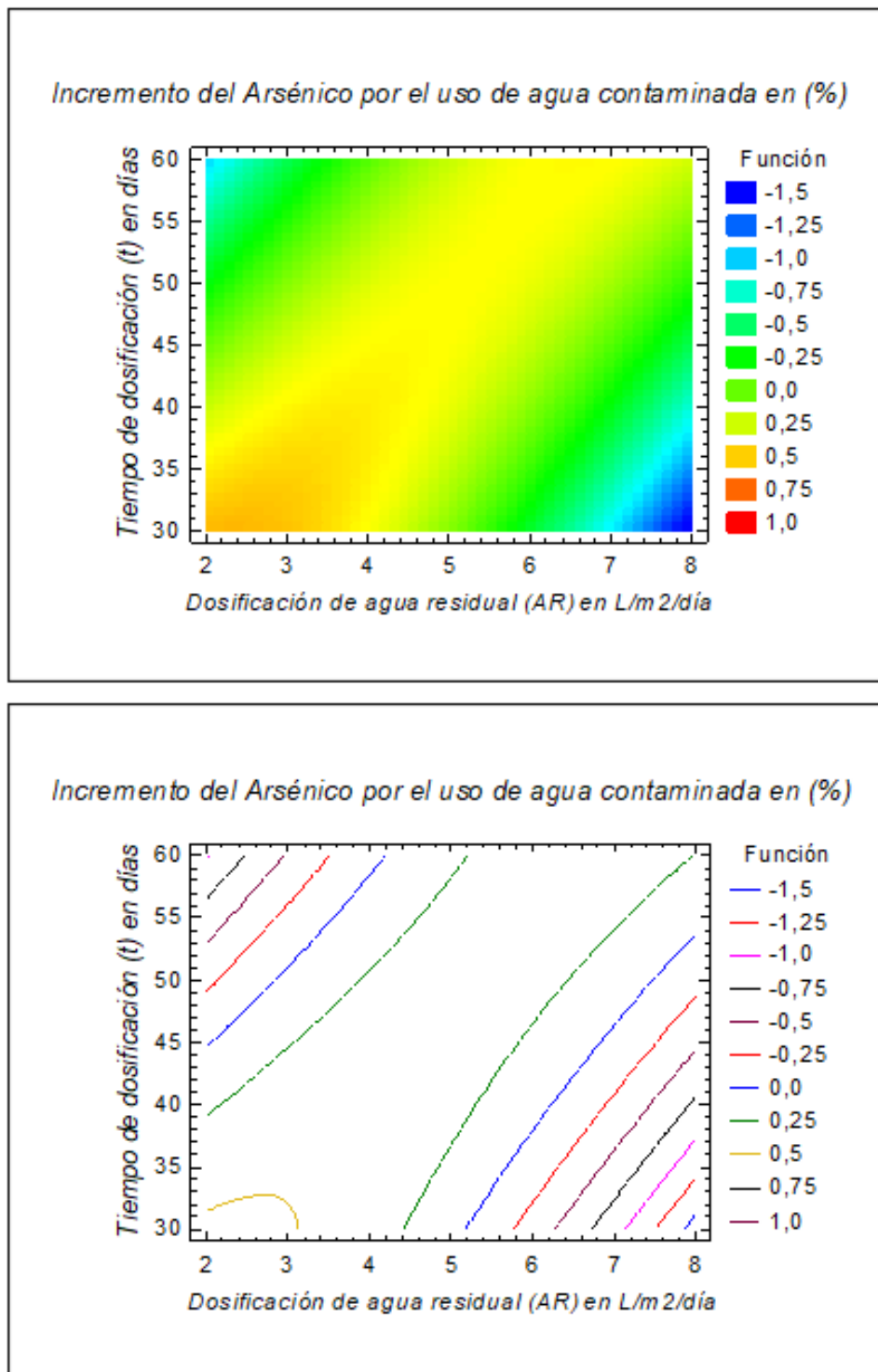
Varianza de la correlación del incremento de arsénico (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,136583	5	0,0273167	17,75	0,0195
Residuo	0,00461667	3	0,00153889		
Total (Corr.)	0,1412	8			

R-cuadrada = 0,967304
 R-cuadrado ajustado = 0,91281
 Error estándar = 0,0392287
 Observaciones = 9

Figura 15

Diagrama de superficie y contorno del incremento de arsénico por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del arsénico en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de Arsénico (\%)} = 1,12624 - 0,258408*AR - 0,00223131*t - 0,0666667*AR^2 - 0,000972654*t^2 + 0,0189285*AR*t$$

Puesto que el valor-P (0,0195) en la tabla ANOVA es menor que 0,05 existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 96,7304 % de la variabilidad en Incremento de Arsénico.

El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 91,2811 %.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0392287.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir estas condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (0,136583/5)/(0,00461667/3) = 17,75$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$$

Como el F_{modelo} (17,75) es mayor que F_{tablas} (9,01), el modelo propuesto del incremento del arsénico por el uso de agua residual estadísticamente es significativa con un nivel de confianza del 95,0 %.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (0,00281667/1)/(0,0018/2) = 3,12963$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como el $F_{\text{falta ajuste}}$ (3,12963) es menor que F_{tablas} (18,51), los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente son aceptables.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente el modelo propuesto y el error experimental cometido tienen aceptación.

5.4.6. Evaluación del Incremento del Boro

Variable dependiente : Incremento del boro (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 26

Matriz de correlación del incremento del boro (%)

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	2,18822	3,03505	0,720982	0,5230
AR	-0,67707	0,691824	-0,978674	0,3999
t	0,00806052	0,0941353	0,085627	0,9372
AR2	0,00740741	0,0606021	0,12223	0,9104
t ²	-0,000764228	0,000947328	-0,80672	0,4789
AR*t	0,0115496	0,00958415	1,20507	0,3146

Tabla 27

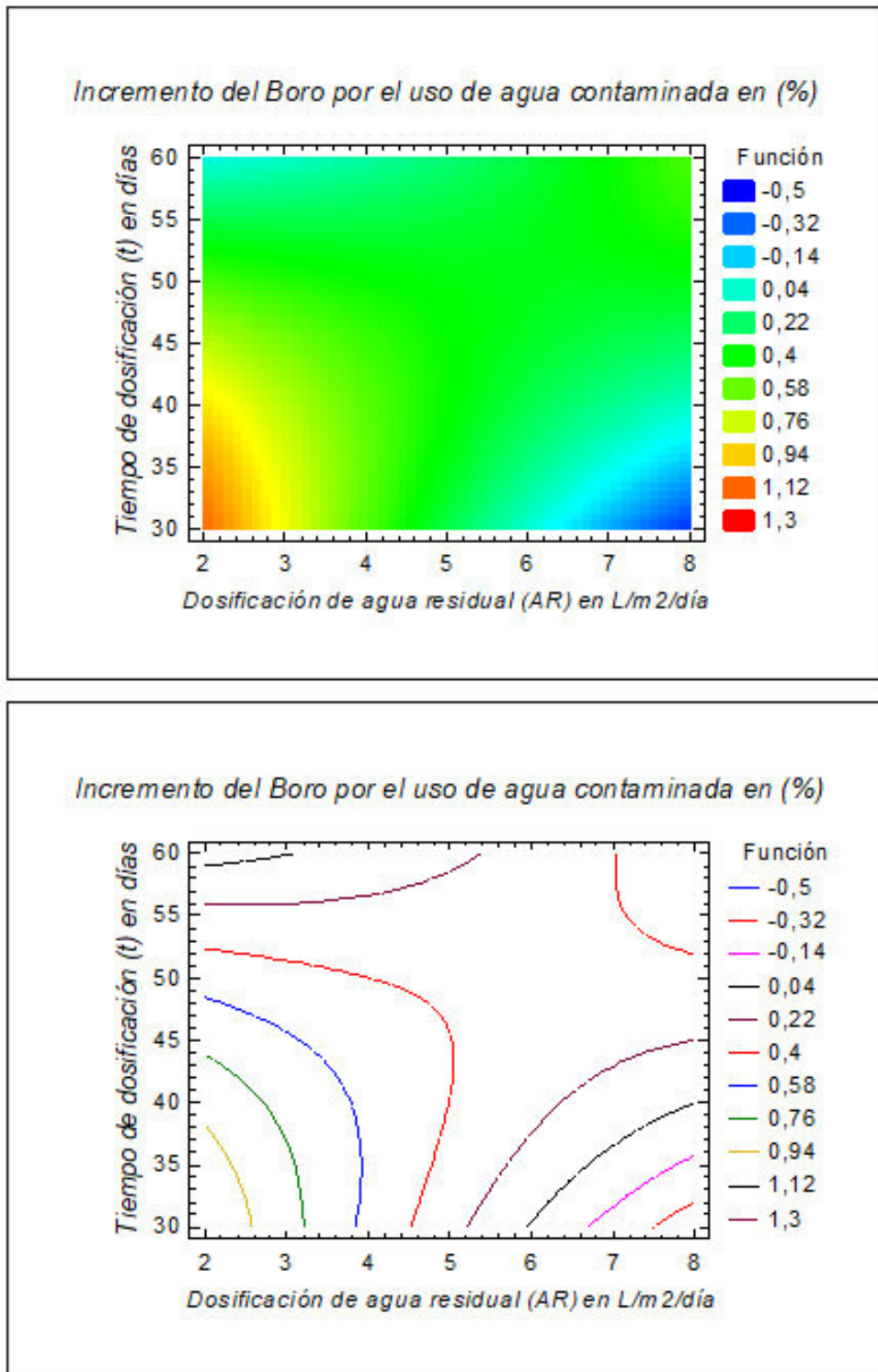
Varianza de la correlación del incremento del boro (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,141822	5	0,0283644	1,27	0,4492
Residuo	0,0669333	3	0,0223111		
Total (Corr.)	0,208756	8			

R-cuadrada = 0,67937
 R-cuadrado = 0,144986
 Error estándar = 0,149369
 Observaciones = 9

Figura 16

Diagrama de superficie y contorno del incremento del boro por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del boro en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de Boro (\%)} = 2,18822 - 0,67707*AR + 0,00806052*t + 0,00740741*AR^2 - 0,000764228*t^2 + 0,0115496*AR*t$$

Puesto que el valor-P (0,4492) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05 no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 67,937 % de la variabilidad en Incremento de Boro.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,149369

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir las siguientes condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (0,141922/5)/(0,0669333/3) = 1,27$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

y $F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$

Como el F_{modelo} (1,27) es menor que F_{tablas} (9,01), el modelo propuesto del incremento del boro estadísticamente no es aceptable con un nivel de confianza del 95,0 %.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (SSF/g11)/(SSE/g12) = (0,041667/1)/(0,025267/2) = 3,29815$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como el $F_{\text{falta ajuste}}$ (3,29815) es menor que F_{tablas} (18,51), los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente son aceptables.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual del boro en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

5.4.7. Evaluación del Incremento del Cadmio

Variable dependiente : Incremento del Cadmio (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 28

Matriz de correlación del incremento del cadmio (%)

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	-0,133568	3,06214	-0,0436194	0,9679
AR	-0,19755	0,697998	-0,283024	0,7956
t	0,060327	0,0949753	0,635186	0,5704
AR ²	-0,0140741	0,0611429	-0,230183	0,8328
t ²	-0,0011695	0,000955782	-1,22361	0,3084
AR*t	0,00673725	0,00966969	0,696739	0,5361

Tabla 29

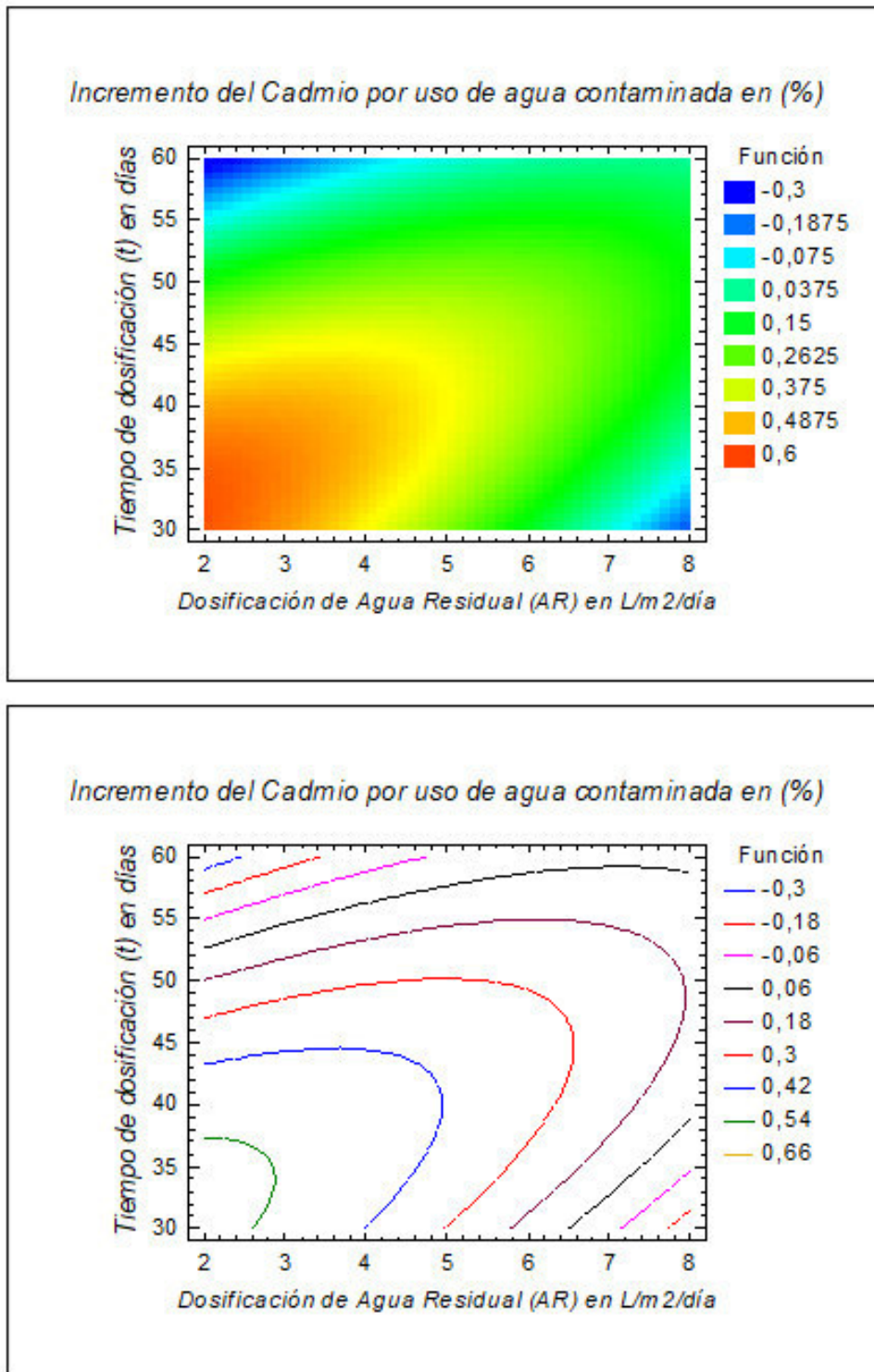
Varianza de la correlación del incremento del cadmio (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,115267	5	0,0230533	1,02	0,5298
Residuo	0,0681333	3	0,0227111		
Total (Corr.)	0,1834	8			

R-cuadrada = 0,628499
 R-cuadrado ajustado = 0,00932994
 Error estándar = 0,150702
 Observaciones = 9

Figura 17

Diagrama de superficie y contorno del incremento del cadmio por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del cadmio en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de Cadmio (\%)} = -0,133568 - 0,19755*AR + 0,060327*t - 0,0140741*AR^2 - 0,0011695*t^2 + 0,00673725*AR*t$$

Puesto que el valor-P (0,5298) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 62,8499 % de la variabilidad en Incremento de Cadmio.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,150702.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir las siguientes condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (0,115267/5)/(0,0681333/3) = 1,02$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

y $F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$

Como el F_{modelo} (1,02) es menor que F_{tablas} (9,01), el modelo propuesto del incremento del cadmio estadísticamente no es aceptable con un nivel de confianza del 95,0 %.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (0,0560667/1)/(0,0120667/2) = 9,29282$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como $F_{\text{falta ajuste}}$ (9,29282) es menor que F_{tablas} (18,51), los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente son aceptables.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual del cadmio en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

5.4.8. Evaluación del Incremento del Calcio

Variable dependiente : Incremento del calcio (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 30

Matriz de correlación del incremento del calcio (%)

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	-0,474408	0,968569	-0,489803	0,6579
AR	0,248889	0,22078	1,12731	0,3416
t	0,00820827	0,0300412	0,273234	0,8024
AR ²	-0,0333333	0,0193398	-1,72356	0,1833
t ²	-0,000104213	0,000302319	-0,344712	0,7531
AR*t	0,0	0,00305857	0,0	1,0000

Tabla 31

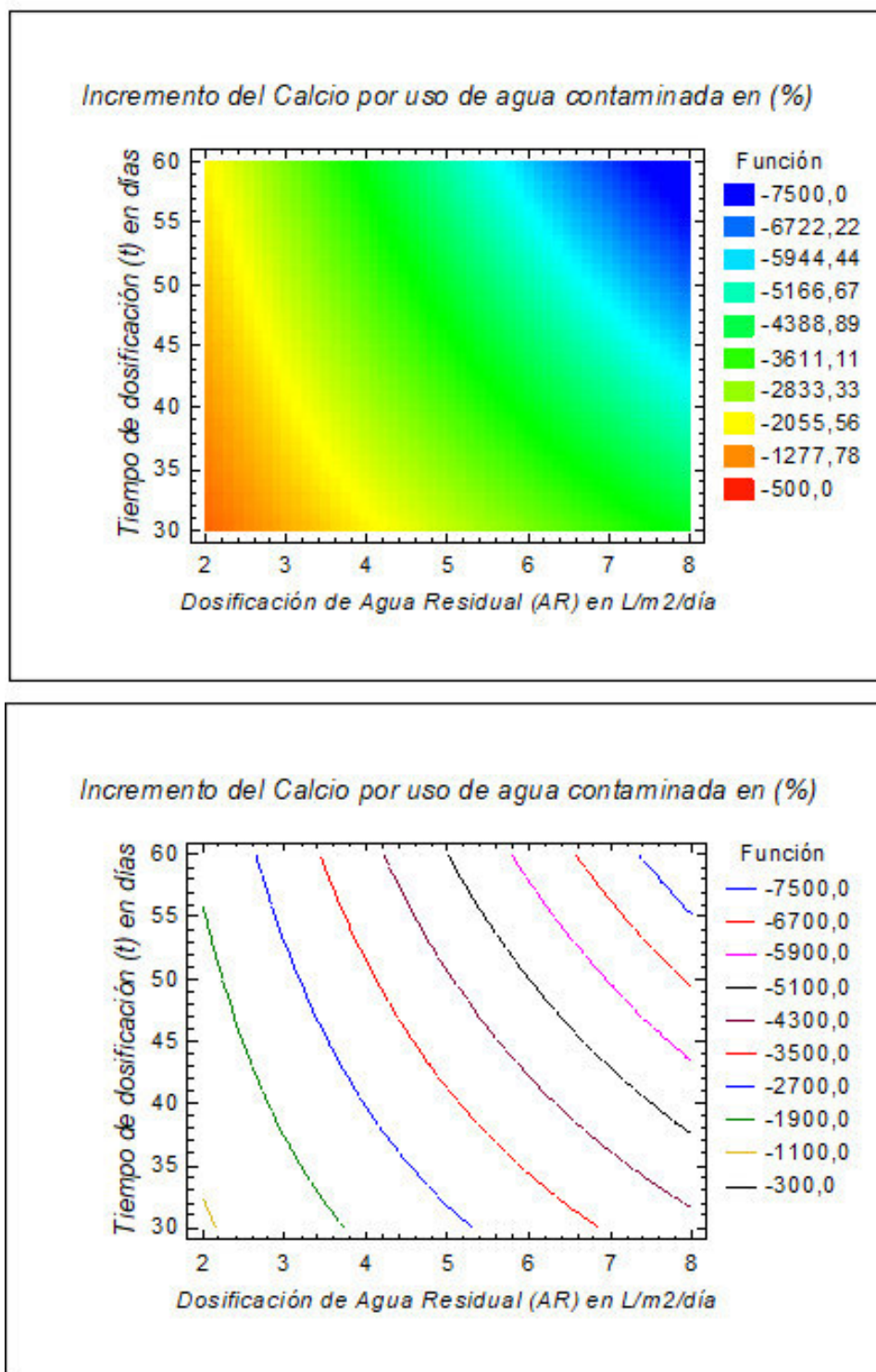
Varianza de la correlación del incremento del calcio (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,0247833	5	0,00495667	2,18	0,2768
Residuo	0,00681667	3	0,00227222		
Total (Corr.)	0,0316	8			

R-cuadrada = 0,784283
 R-cuadrado ajustado = 0,424754
 Error estándar = 0,0476678
 Observaciones = 9

Figura 18

Diagrama de superficie y contorno del incremento del calcio por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del calcio en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de Calcio (\%)} = -0,474408 + 0,248889*AR + 0,00820827*t - 0,0333333*AR^2 - 0,000104213*t^2 + 1,15728 \times 10^{-17}*AR*t$$

Puesto que el valor-P (0,2768) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 78,4283 % de la variabilidad en Incremento de Calcio.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0476678.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir estas condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (0,0247833/5)/(0,00681667/3) = 2,18$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

y $F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$

Como el $F_{\text{modelo}} (2,18)$ es menor que $F_{\text{tablas}} (9,01)$, el modelo propuesto del incremento del calcio estadísticamente no es aceptable con un nivel de confianza del 95,0 %.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (0,00601667/1)/(0,0008/2) = 15,0417$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como el $F_{\text{falta ajuste}} (15,0417)$ es menor que $F_{\text{tablas}} (18,51)$, los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente son aceptables.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual del calcio en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

5.4.9. Evaluación del Incremento del Cobalto

Variable dependiente : Incremento del cobalto (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 32

Matriz de correlación del incremento del cobalto (%)

Parámetro	Estimación	Error		Estadístico	
		Estándar	T	Valor-P	
CONSTANTE	-1,74517	1,744	-1,00067	0,3907	
AR	0,10687	0,397536	0,26883	0,8055	
t	0,0970336	0,0540921	1,79386	0,1707	
AR ²	-0,0791111	0,0348232	-2,27179	0,1077	
t ²	-0,00177857	0,000544354	-3,2673	0,0469	
AR*t	0,0125762	0,00550726	2,28357	0,1066	

Tabla 33

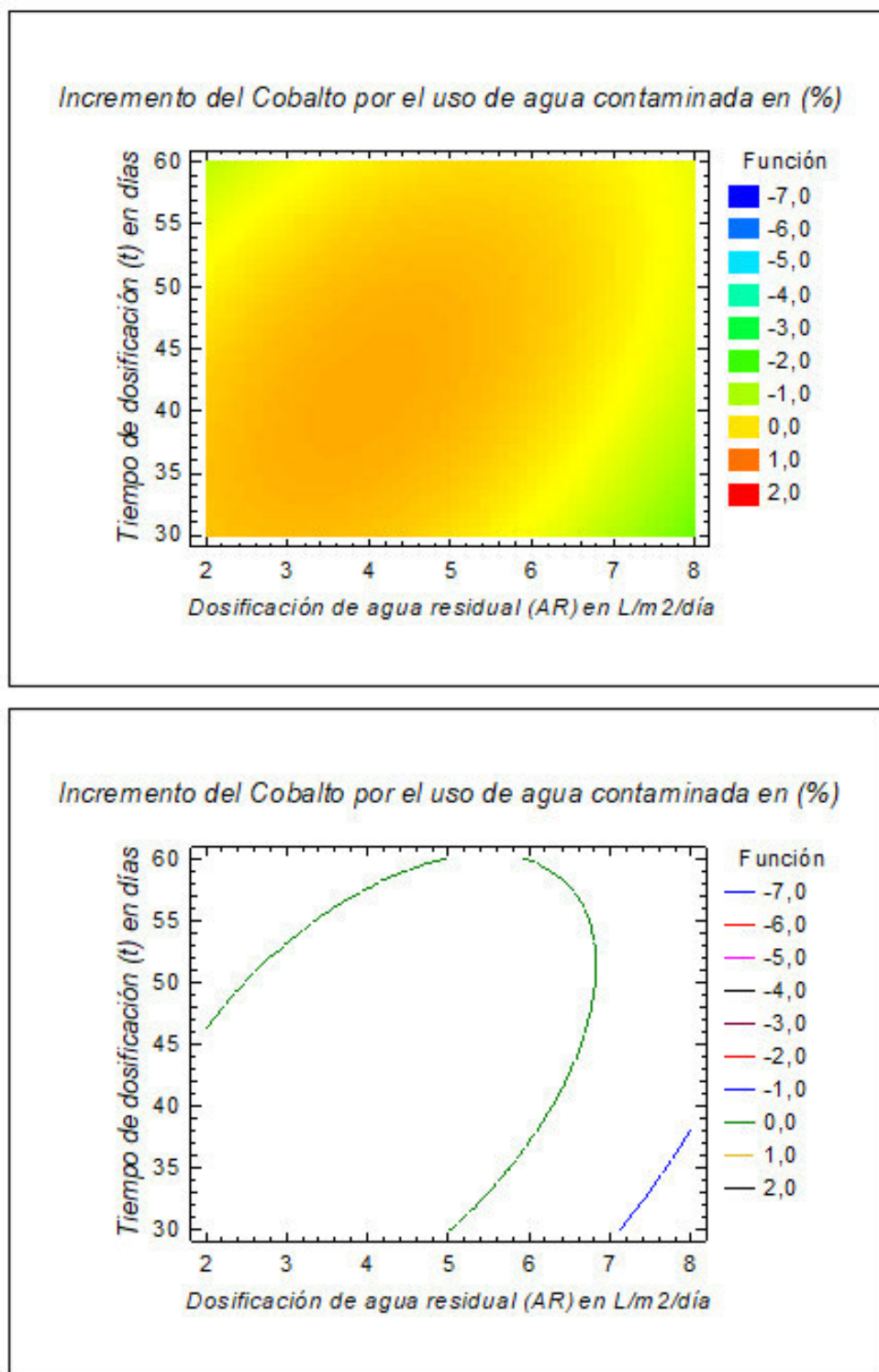
Varianza de la correlación del incremento del cobalto (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,158853	5	0,0317707	4,31	0,1293
Residuo	0,0221007	3	0,00736689		
Total (Corr.)	0,180954	8			

R-cuadrada = 0,877866
 R-cuadrado ajustado = 0,674309
 Error estándar = 0,0858306
 Observaciones = 9

Figura 19

Diagrama de superficie y contorno del incremento del cobalto por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del cobalto en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de Cobalto (\%)} = -1,74517 + 0,10687*AR + 0,0970336*t - 0,0791111*AR^2 - 0,00177857*t^2 + 0,0125762*AR*t$$

Puesto que el valor-P (0,1293) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 87,7866 % de la variabilidad en Incremento de Cobalto.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0858306.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir las siguientes condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (0,158853/5)/(0,0221007/3) = 4,31$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$$

Como el F_{modelo} (4,31) es menor que F_{tablas} (9,01), el modelo propuesto del incremento del cobalto estadísticamente no es aceptable con un nivel de confianza del 95,0 %.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (0,02208267/1)/(0,000018/2) = 2453,63$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como el $F_{\text{falta ajuste}}$ (2453,63) es mayor que F_{tablas} (18,51), los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente no son aceptables por falta de ajuste.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual del cobalto en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

5.4.10. Evaluación del Incremento del Fósforo

Variable dependiente : Incremento del fósforo (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 34

Matriz de correlación del incremento del fósforo (%)

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	-0,33447	1,62835	-0,205404	0,8504
AR	-0,119696	0,371174	-0,32248	0,7683
t	0,0795015	0,050505	1,57413	0,2135
AR ²	-0,04	0,0325139	-1,23024	0,3063
t ²	-0,00159793	0,000508256	-3,14395	0,0515
AR*t	0,008983	0,00514204	1,74697	0,1790

Tabla 35

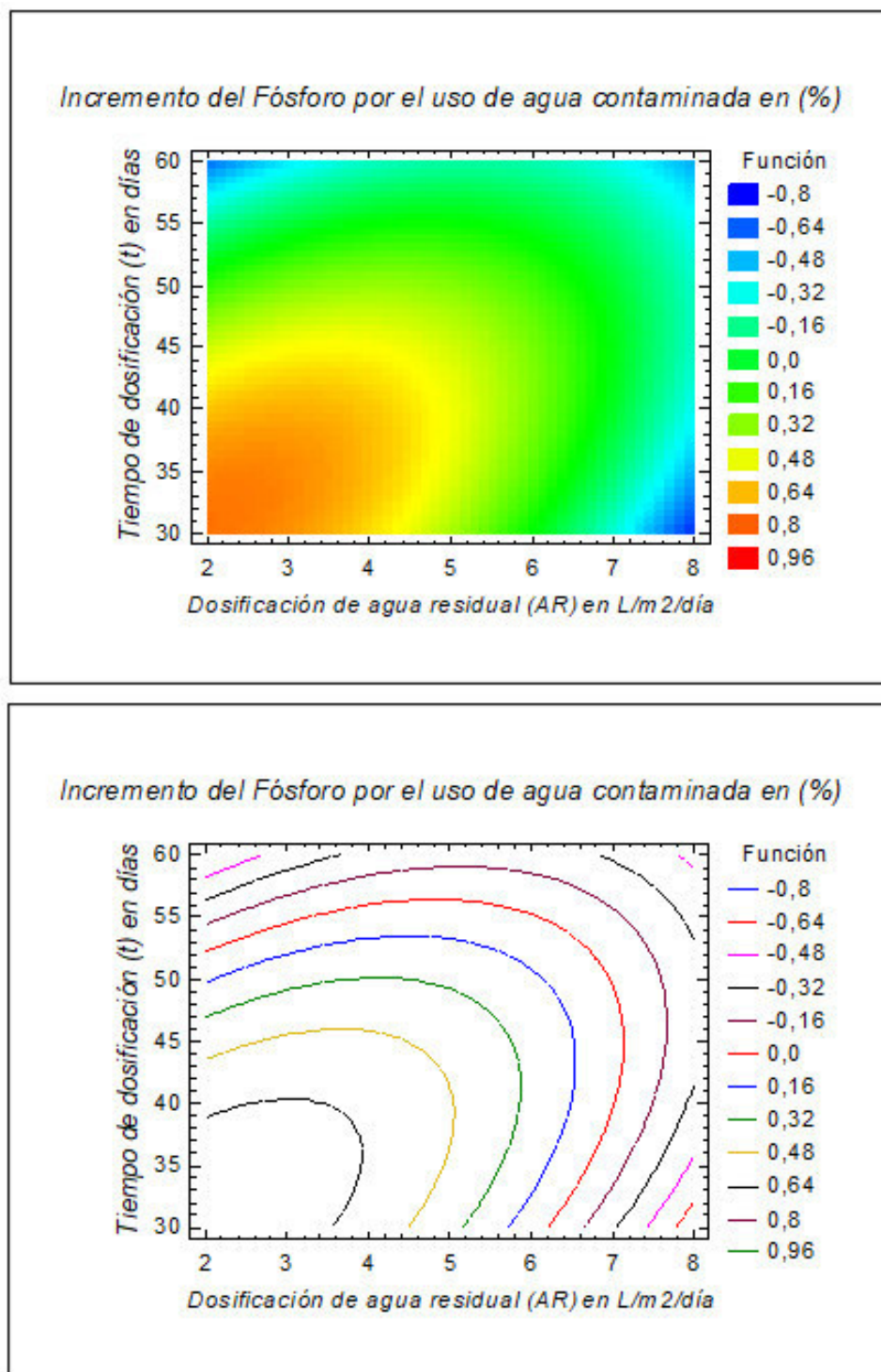
Varianza de la correlación del incremento del fósforo (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,318533	5	0,0637067	9,92	0,0439
Residuo	0,0192667	3	0,00642222		
Total (Corr.)	0,3378	8			

R-cuadrada = 0,942964
 R-cuadrado ajustado = 0,847905
 Error estándar = 0,0801388
 Observaciones = 9

Figura 20

Diagrama de superficie y contorno del incremento del fósforo por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del fósforo en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de Fósforo (\%)} = -0,33447 - 0,119696*AR + 0,0795015*t - 0,04*AR^2 - 0,00159793*t^2 + 0,008983*AR*t$$

Puesto que el valor-P (0,0439) en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 94,2964 % de la variabilidad en Incremento de fósforo.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0801388.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir las siguientes condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (0,318533/5)/(0,0192667/3) = 9,92$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

y $F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$

Como el F_{modelo} (9,92) es mayor que F_{tablas} (9,01), el modelo propuesto del incremento del fósforo por el uso de agua residual estadísticamente es significativa con un nivel de confianza del 95,0 %.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (0,0130167/1)/(0,0062/2) = 4,21505$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$Y F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como el $F_{\text{falta ajuste}}$ (4,21505) es menor que F_{tablas} (18,51), los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente son aceptables.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente el modelo propuesto y el error experimental cometido tienen aceptación.

5.4.11. Evaluación del Incremento del Litio

Variable dependiente : Incremento del litio (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 36

Matriz de correlación del incremento del litio (%)

Parámetro	Estimación	Error		Estadístico	
		Estándar		T	Valor-P
CONSTANTE	-1,4649	5,02028		-0,291796	0,7895
AR	0,898789	1,14435		0,785417	0,4895
t	0,0423299	0,155709		0,271852	0,8034
AR ²	-0,194074	0,100242		-1,93605	0,1483
t ²	-0,00196847	0,00156698		-1,25622	0,2980
AR*t	0,0205326	0,0158532		1,29517	0,2859

Tabla 37

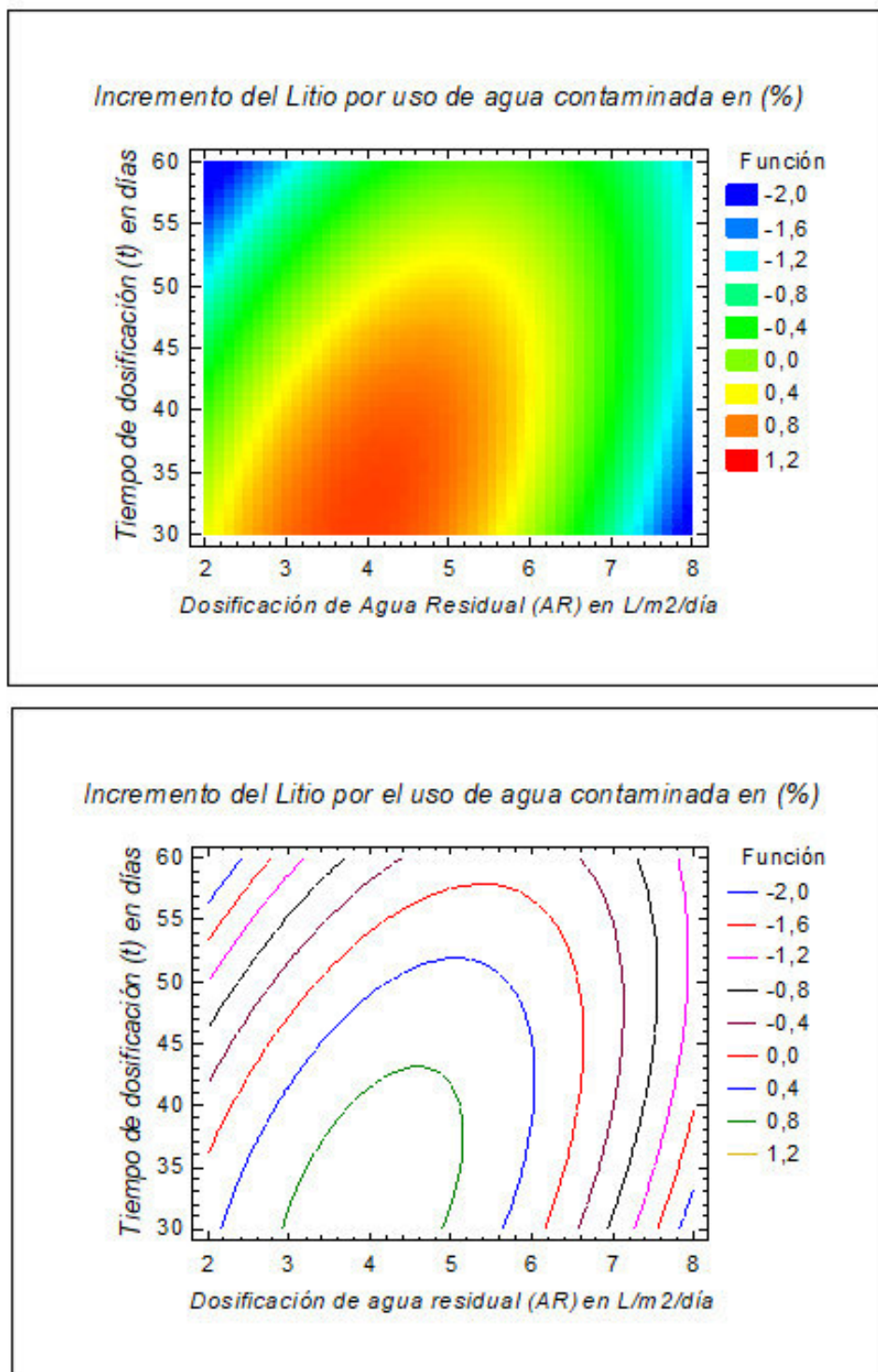
Varianza de la correlación del incremento del litio (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1,04007	5	0,208013	3,41	0,1709
Residuo	0,183133	3	0,0610444		
Total (Corr.)	1,2232	8			

R-cuadrada = 0,850283
 R-cuadrado ajustado = 0,600756
 Error estándar = 0,247072
 Observaciones = 9

Figura 21

Diagrama de superficie y contorno del incremento del litio por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del litio en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de Litio (\%)} = -1,4649 + 0,898789*AR + 0,0423299*t - 0,194074*AR^2 - 0,00196847*t^2 + 0,0205326*AR*t$$

Puesto que el valor-P (0,1709) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 85,0283 % de la variabilidad en Incremento de Litio.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,247072.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir las siguientes condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (1,04007/5)/(0,183133/3) = 3,41$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$$

Como el F_{modelo} (3,41) es menor que F_{tablas} (9,01), el modelo propuesto del incremento del litio estadísticamente no es aceptable con un nivel de confianza del 95,0 %.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (0,559467/1)/(0,2298/2) = 4,86916$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como el $F_{\text{falta ajuste}}$ (4,86916) es menor que F_{tablas} (18,51), los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente son aceptables por falta de ajuste.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual del litio en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

5.4.12. Evaluación del Incremento del Magnesio

Variable dependiente : Incremento del magnesio (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 38

Matriz de correlación del incremento del magnesio (%)

Parámetro	Estimación	Error		Estadístico	
		Estándar	T	Valor-P	
CONSTANTE	1,04751	2,23664	0,468342	0,6715	
AR	-0,150731	0,509831	-0,29565	0,7868	
t	0,00493251	0,0693719	0,0711025	0,9478	
AR ²	-0,0444444	0,04466	-0,995174	0,3930	
t ²	-0,000764228	0,000698122	-1,09469	0,3537	
AR*t	0,0112287	0,00706293	1,58981	0,2101	

Tabla 39

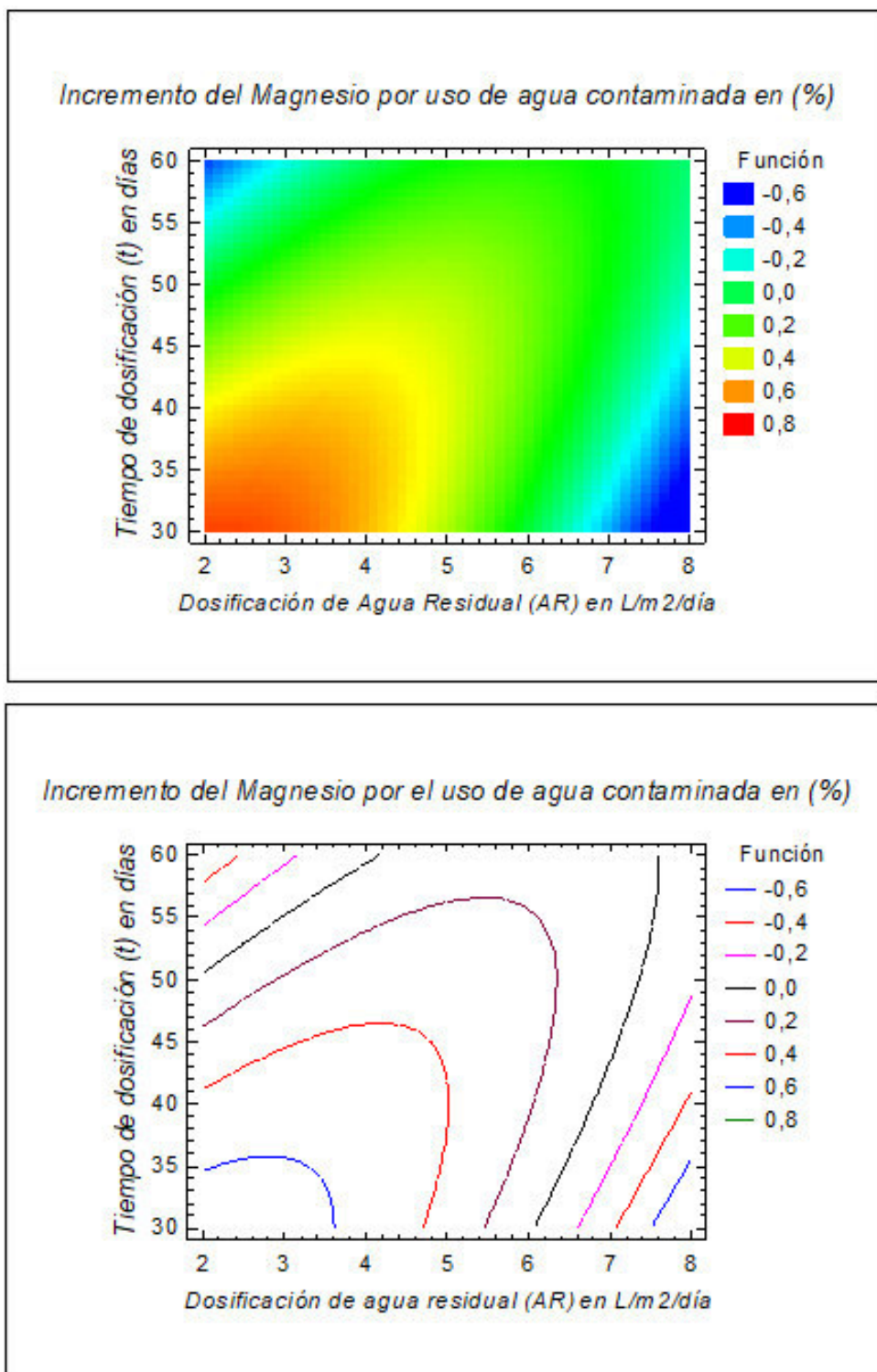
Varianza de la correlación del incremento del magnesio (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,13445	5	0,02689	2,22	0,2720
Residuo	0,03635	3	0,0121167		
Total (Corr.)	0,1708	8			

R-cuadrada = 0,787178
 R-cuadrado ajustado = 0,432475
 Error estándar = 0,110076
 Observaciones = 9

Figura 22

Diagrama de superficie y contorno del incremento del magnesio por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del Magnesio en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de Magnesio (\%)} = 1,04751 - 0,150731*AR + 0,00493251*t - 0,0444444*AR^2 - 0,000764228*t^2 + 0,0112287*AR*t$$

Puesto que el valor-P (0,272) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 78,7178 % de la variabilidad en Incremento de Magnesio.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,110076.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir las siguientes condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (0,13445/5)/(0,03635/3) = 2,22$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$$

Como el F_{modelo} (2,22) es menor que F_{tablas} (9,01), el modelo propuesto del incremento del magnesio estadísticamente no es aceptable con un nivel de confianza del 95,0 %.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (0,03375/1)/(0,0026/2) = 25,9615$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como el $F_{\text{falta ajuste}}$ (25,9615) es mayor que F_{tablas} (18,51), los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente no son aceptables por falta de ajuste.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual del magnesio en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

5.4.13. Evaluación del Incremento del Manganeso

Variable dependiente : Incremento del manganeso (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 40

Matriz de correlación del incremento del manganeso (%)

Parámetro	Estimación	Error		Estadístico	
		Estándar	T	Valor-P	
CONSTANTE	-2,21084	2,33056	-0,94863	0,4128	
AR	0,475707	0,531238	0,895469	0,4365	
t	0,0695999	0,0722847	0,962857	0,4066	
AR ²	-0,0814815	0,0465352	-1,75096	0,1783	
t ²	-0,000949495	0,000727435	-1,30526	0,2829	
AR*t	0,0044915	0,00735949	0,6103	0,5848	

Tabla 41

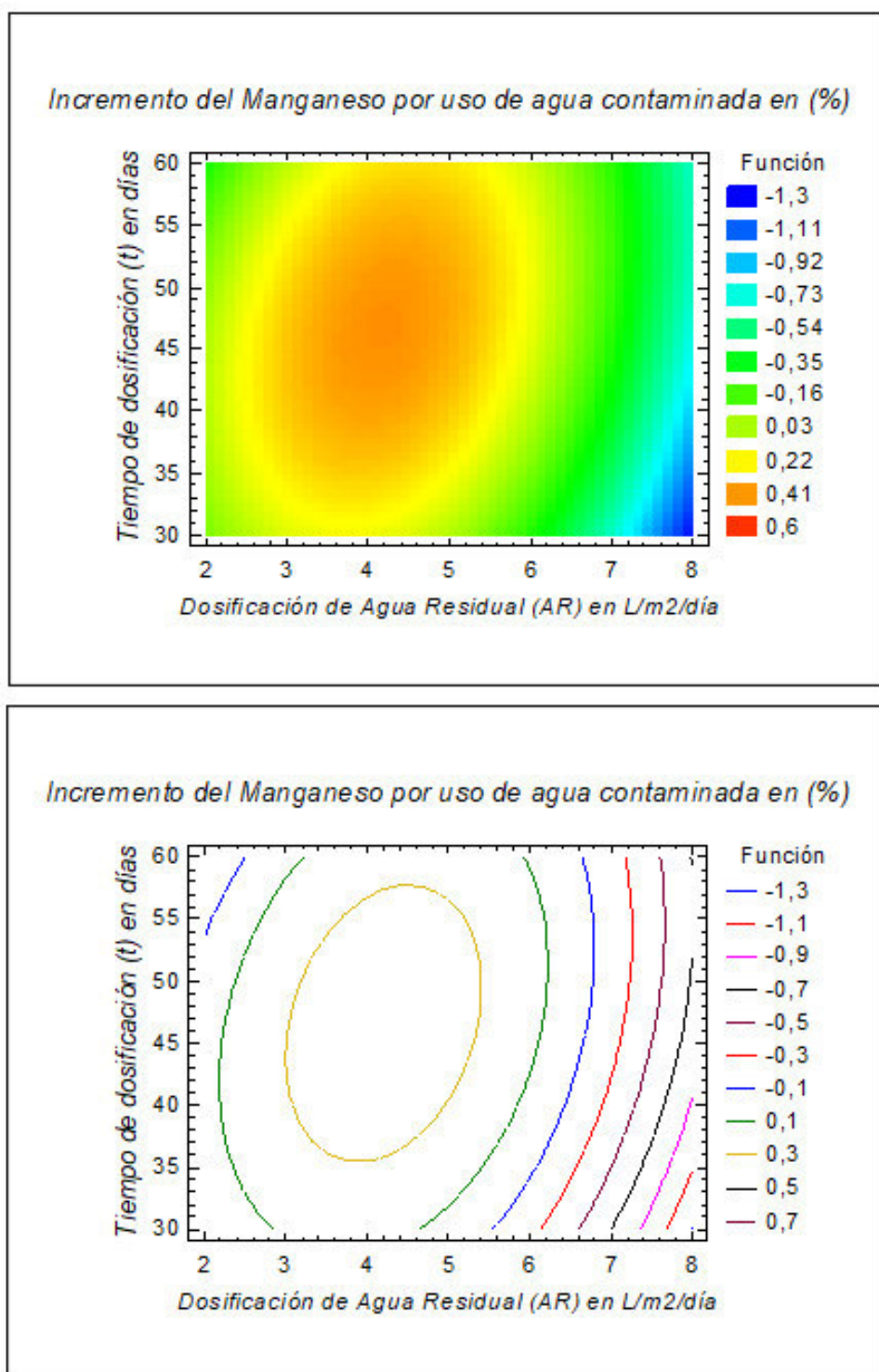
Varianza de la correlación del incremento del manganeso (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,0989333	5	0,0197867	1,50	0,3914
Residuo	0,0394667	3	0,0131556		
Total (Corr.)	0,1384	8			

R-cuadrada = 0,714836
 R-cuadrado ajustado = 0,239563
 Error estándar = 0,114698
 Observaciones = 9

Figura 23

Diagrama de superficie y contorno del incremento del manganeso por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del Manganeso en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de Manganeso (\%)} = -2,21084 + 0,475707*AR + 0,0695999*t - 0,0814815*AR^2 - 0,000949495*t^2 + 0,0044915*AR*t$$

Puesto que el valor-P (0,3914) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 71,4836 % de la variabilidad en Incremento de Manganeso.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,114698.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir estas condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (0,0989333/5)/(0,0394667/3) = 1,50$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$$

Como el F_{modelo} (1,50) es menor que F_{tablas} (9,01), el modelo propuesto del incremento del manganeso estadísticamente no es aceptable con un nivel de confianza del 95,0 %.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (0,0384/1)/(0,0010667/2) = 72,0$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como el $F_{\text{falta ajuste}}$ (72,0) es mayor que F_{tablas} (18,51), los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente no son aceptables por falta de ajuste.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual del manganeso en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

5.4.14. Evaluación del Incremento del Potasio

Variable dependiente : Incremento del potasio (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 42

Matriz de correlación del incremento del potasio (%)

Parámetro	Estimación	Error Estadístico		
		Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	-2,27339	2,22842	-1,02018	0,3827
AR	-0,148509	0,507958	-0,292365	0,7891
t	0,159929	0,0691169	2,31389	0,1037
AR ²	-0,042963	0,0444959	-0,96555	0,4055
t ²	-0,00254743	0,000695556	-3,66243	0,0352
AR*t	0,0112287	0,00703697	1,59568	0,2088

Tabla 43

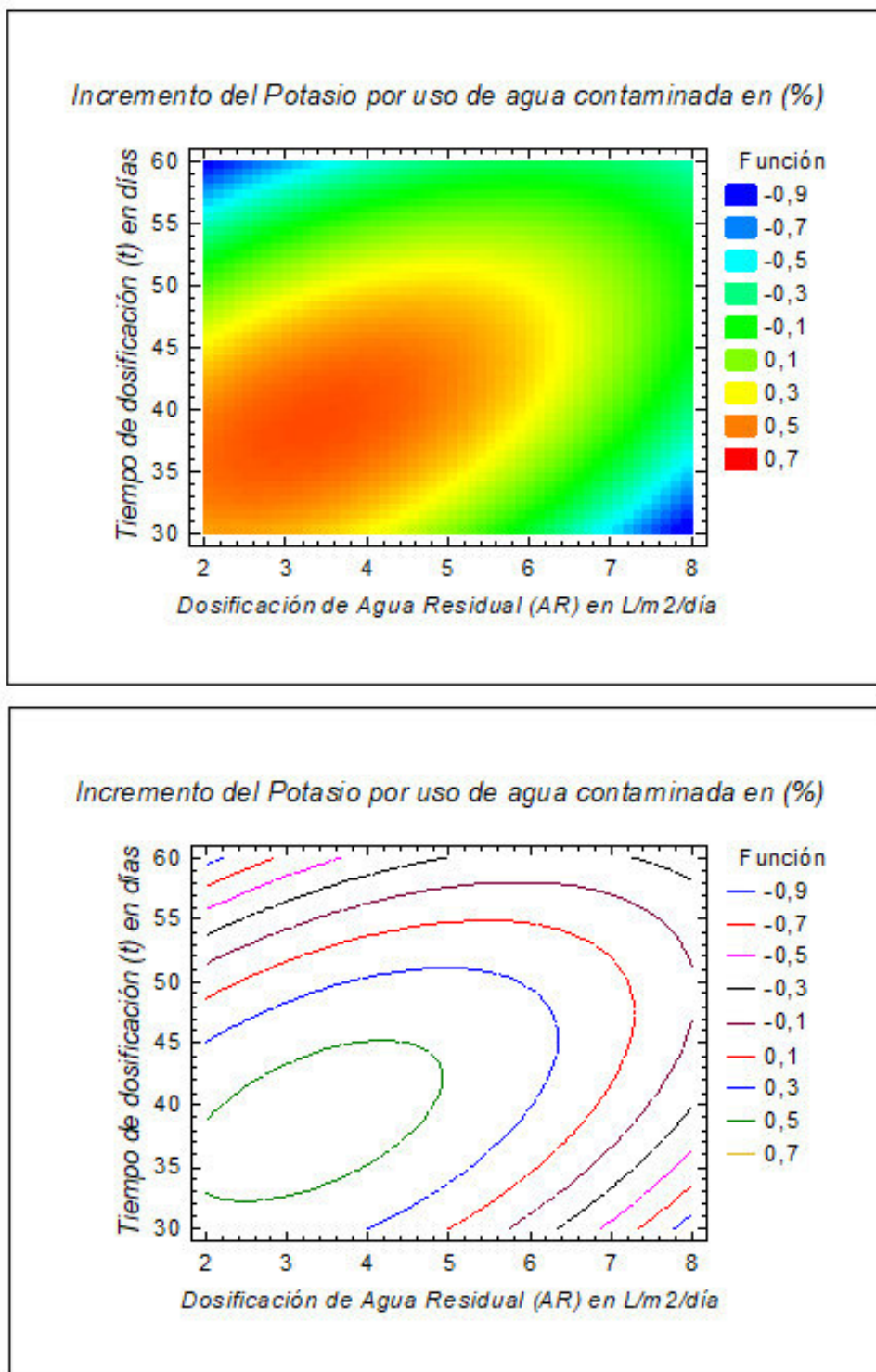
Varianza de la correlación del incremento del potasio (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,285272	5	0,0570544	4,74	0,1151
Residuo	0,0360833	3	0,0120278		
Total (Corr.)	0,321356	8			

R-cuadrada = 0,887715
 R-cuadrado ajustado = 0,700574
 Error estándar = 0,109671
 Observaciones = 9

Figura 24

Diagrama de superficie y contorno del incremento del potasio por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del Potasio en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de Potasio} = -2,27339 - 0,148509*AR + 0,159929*t - 0,042963*AR^2 - 0,00254743*t^2 + 0,0112287*AR*t$$

Puesto que el valor-P (0,1151) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 88,7715 % de la variabilidad en Incremento de Potasio.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,109671.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir las siguientes condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (0,285272/5)/(0,0360833/3) = 4,74$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

y $F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$

Como el F_{modelo} (4,74) es menor que F_{tablas} (9,01), el modelo propuesto del incremento del potasio estadísticamente no es aceptable con un nivel de confianza del 95,0 %.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (0,0308167/1)/(0,0052667/2) = 11,703$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como el $F_{\text{falta ajuste}}$ (11,703) es menor que F_{tablas} (18,51), los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente son aceptables por falta de ajuste.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual del potasio en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

5.4.15. Evaluación del Incremento del Sodio

Variable dependiente : Incremento del sodio (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 Tiempo de dosificación = t (día)

Tabla 44

Matriz de correlación del incremento del sodio (%)

Parámetro	Estimación	Error		Estadístico	
		Estándar	T	Valor-P	
CONSTANTE	1,62762	1,38144	1,17821	0,3237	
AR	-0,388409	0,314891	-1,23347	0,3052	
t	-0,0628536	0,0428467	-1,46694	0,2387	
AR ²	0,0125926	0,0275837	0,456523	0,6790	
t ²	0,000405272	0,000431186	0,939901	0,4166	
AR*t	0,00481232	0,00436233	1,10315	0,3505	

Tabla 45

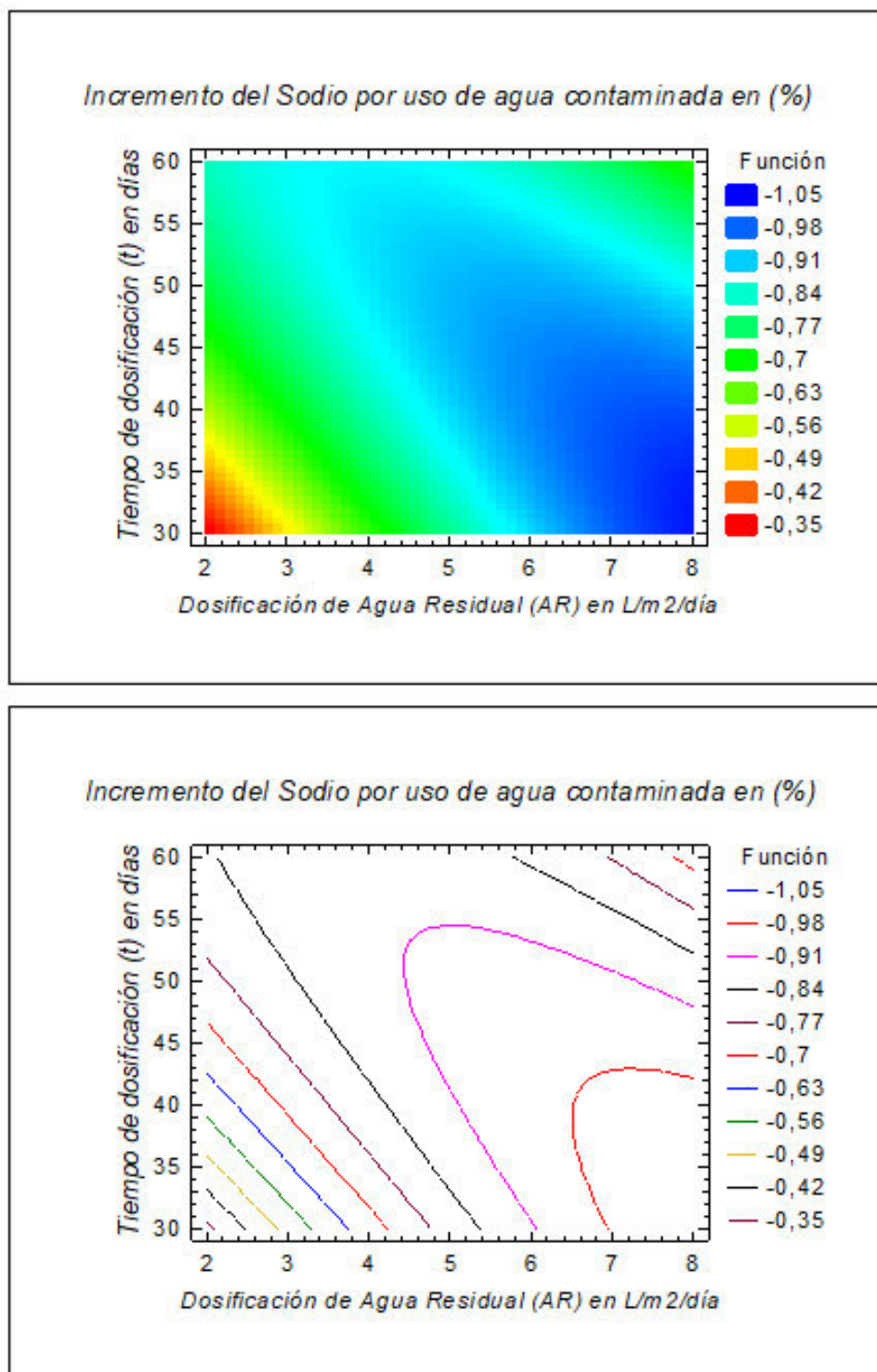
Varianza de la correlación del incremento del sodio (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,0503556	5	0,0100711	2,18	0,2771
Residuo	0,0138667	3	0,00462222		
Total (Corr.)	0,0642222	8			

R-cuadrada = 0,784083
 R-cuadrado ajustado = 0,424221
 Error estándar = 0,0679869
 Observaciones = 9

Figura 25

Diagrama de superficie y contorno del incremento del sodio por el uso de AR



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

Interpretación:

Los resultados determinados con el software estadístico Statgraphics, muestra el resultado al ajustar un modelo de segundo orden para describir la relación entre Incremento del sodio en % en el suelo y las 2 variables independientes.

El modelo ajustado es:

$$\text{Incremento de Sodio (\%)} = 1,62762 - 0,388409*AR - 0,0628536*t + 0,0125926*AR^2 + 0,000405272*t^2 + 0,00481232*AR*t$$

Puesto que el valor-P (0,2771) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05 no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 78,4083 % de la variabilidad en Incremento de Sodio.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0679869.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA REGRESIÓN

Para aceptar el modelo propuesto, esta debe cumplir estas condiciones:

1ra: Que el $F_{\text{modelo}} > F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{modelo}} = (SSM/g11)/(SSR/g12) = (0,0503556/5)/(0,0138667/3) = 2,18$$

Donde:

SSM = Suma de cuadrados del modelo

SSR = Suma de cuadrados del residuo

y $F_{\text{tablas}} = F(5,3) = 9,01$

Como el $F_{\text{modelo}} (2,18)$ es menor que $F_{\text{tablas}} (9,01)$, el modelo propuesto del incremento del sodio estadísticamente no es aceptable con un nivel de confianza del 95,0 %.

2do: Que el $F_{\text{falta ajuste}} < F_{\text{tablas}}$

$$F_{\text{falta ajuste}} = (\text{SSF}/g11)/(\text{SSE}/g12) = (0,0096/1)/(0,004226667/2) = 4,5$$

Donde:

SSF = Suma de cuadrados falta de ajuste

SSE = Suma de cuadrados de error puro en la prueba central

$$\text{y } F_{\text{tablas}} = F(1,2) = 18,51$$

Como el $F_{\text{falta ajuste}} (4,5)$ es menor que $F_{\text{tablas}} (18,51)$, los errores cometidos durante la experimentación estadísticamente son aceptables por falta de ajuste.

SE CONCLUYE:

Que estadísticamente no tiene explicación el decremento porcentual del sodio en el suelo en función del tiempo y dosificación del agua residual no tratada.

DISCUSIONES

6.1. EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS POZAS DE RETENCIÓN DE ARUNTA

En la Tabla 48 se aprecia que la calidad de agua residual tomada en la descarga de las pozas de retención de Arunta, son muy similares al agua residual tratada en San Agustín - Lima (APIS, 2002) y de las concentraciones promedio expuestas por Metcalf & Eddy (2007).

La demanda biológica de oxígeno (DBO₅) en las aguas residuales en la descarga de las pozas de retención de Arunta – Tacna es 293 mg/l, que es superior en un 54,21 % a la concentración típica clasificada por Metcalf & Eddy (2007) y 27,39 % superior al agua residual tratada en San Agustín – Lima (APIS, 2002).

El contenido de los coliformes termotolerantes en las aguas residuales es muy similar y alto.

El agua residual no tratada de las pozas de retención de Arunta – Tacna, no cumple con los LMP exigidos (DS 002-2008-MINAM), tal es caso del DBO₅ que es superior en un 1 953,33 %; lo mismo sucede con la DQO que es superior en un 1 442,5 %.

El contenido de los coliformes termotolerantes en las aguas residuales utilizadas por los agricultores de Arunta, están en un 3 500,0 % por encima de los exigidos en el DS 002-2008-MINAM.

Con lo que se ratifica la hipótesis: **La remoción de los contaminantes en las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta no cumple con los LMP exigidos por ECA agua.**

Tabla 46

Composición de aguas residuales de diferentes lugares y LMP exigidos en el agua de regadío

Parámetros	Unidad	AR Arunta (1)	AR Conc. Típica (2)	AR San Agustín (3)	LMP para agua (4)
Parámetros Físico – Químico					
pH	Unidades	7,38			6,5 – 8,5
Aniones por Cromatografía Iónica					
Bromuro Br-	mg/l	<0,007			
Cloruros Cl-	mg/l	256	50		100-700
Fluoruros F-	mg/l	0,110			1
Nitratos (como N)	mg/l	0,033		2	10
Nitritos (Como N)	mg/l	<0,001		0,1	0,06
Fosfatos (como P)	mg/l	6,240			1
Sulfatos SO ₄ -2	mg/l	260	30		300
Parámetros Orgánicos					
DBO ₅	mg/l	293	190	230	15
DQO	mg/l	577	430	781	40
Parámetros Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	3,5 x 10 ⁷	10 ⁷ a 10 ⁸	2,96 x 10 ⁷	1000
Metales Totales por ICP-MS					
Aluminio (Al)	mg/l	0,638			5
Antimonio (Sb)	mg/l	0,00048			
Arsénico (As)	mg/l	0,00909		0,075	0,05
Bario (Ba)	mg/l	0,03500			0,7
Berilio (Be)	mg/l	<0,00001			
Bismuto (Bi)	mg/l	0,00126			
Boro (B)	mg/l	1,08			0,5 – 6,0
Cadmio (Cd)	mg/l	0,00035		0,015	0,005
Calcio (Ca)	mg/l	136			200
Cobalto (Co)	mg/l	0,00057			0,05
Cobre (Cu)	mg/l	<0,00004		0,172	0,2
Cromo (Cr)	mg/l	0,00321		0,298	0,1
Fósforo (P)	mg/l	11,2	7	9	
Hierro (Fe)	mg/l	0,2685		1,865	1
Litio (Li)	mg/l	0,03309			2,5
Magnesio (Mg)	mg/l	21,6			150
Manganeso (Mn)	mg/l	0,06780		0,054	0,2
Potasio (K)	mg/l	33,2			
Sodio (Na)	mg/l	181			200

Nota. Fuente.

- 1) AR Arunta (agua residual de las pozas de retención Arunta - Tacna): Informe de ensayo de agua residual N° 2-01994/19 – CERPER – Laboratorio de ensayo acreditado por INACAL – Registro N° LE 003.
- 2) AR Concentración Típica: Metcalf & Eddy (2007, p. 107). Water Reuse Issues, Technologies, and Applications.
- 3) AR San Agustín: APIS – Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria – 2002. Caso Fundo San Agustín – Callao – Perú.
- 4) LMP del agua utilizada para regar plantas de tallo alto, D.S. 002-2008-MINAM.

6.2. VALIDACIÓN DE LOS MODELOS EXPERIMENTALES DE CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR AGUAS RESIDUALES DE LAS POZAS DE RETENCIÓN DE ARUNTA

Ford (1999) plantea la importancia de la utilidad de un modelo matemático respecto a su validación. Estas investigaciones académicas conllevan la propuesta de un modelo específico, que en su mayoría será de utilidad para sus creadores en un periodo definido. Solo algunos modelos matemáticos continúan siendo usados en por los usuarios que tienen las mismas condiciones operativas año tras año, en esa condición la validación es un proceso continuo del modelo.

Para la validación planteamos la segunda hipótesis específica:

a) Planteamiento de hipótesis

H_0 Hipótesis nula

El uso del modelo experimental no diagnosticará en forma oportuna la contaminación de suelos.

H_1 hipótesis alterna

El uso del modelo experimental diagnosticará en forma oportuna la contaminación de suelos.

b) Nivel de significancia 0,05

c) Conclusión

En la Tabla 49, el valor de significancia “p” es menor que ($p = 0,05$) para los modelos del Arsénico y el Fósforo, para estos modelos se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Para los modelos para los otros parámetros, el valor de significancia “p” es mayor que ($p = 0,05$), para estos modelos se rechaza la hipótesis alterna (H_1).

Tabla 47

Modelos de incremento del contaminante en el suelo, por el uso de agua residual no tratada en Arunta – Tacna

N°	Factor	Modelo	P	Aceptar Modelo
1	pH	Incremento de pH (%) = $0,072 - 0,013*AR + 0,002*t - 0,0007*AR^2 - 0,00003*t^2 + 0,0003*AR*t$	0,4414	No
2	Coliformes	Incremento de Coliformes (%) = $3224,95 - 344,089*AR - 119,366*t - 4,114*AR^2 + 0,875*t^2 + 11,229*AR*t$	0,8062	No
3	Nitrito	Incremento del Nitrito (%) = $10,579 + 9,141*AR - 0,969*t + 0,716*AR^2 + 0,027*t^2 - 0,342*AR*t$	0,2160	No
4	Sulfato	Incremento del Sulfato (%) = $7,009 - 1,113*AR - 0,123*t + 0,037*AR^2 + 0,001*t^2 + 0,016*AR*t$	0,3331	No
5	Arsénico	Incremento de Arsénico (%) = $1,126 - 0,258*AR - 0,002*t - 0,067*AR^2 - 0,001*t^2 + 0,019*AR*t$	0,0195	Si
6	Boro	Incremento de Boro (%) = $2,188 - 0,677*AR + 0,008*t + 0,007*AR^2 - 0,0008*t^2 + 0,012*AR*t$	0,4492	No
7	Cadmio	Incremento de Cadmio (%) = $-0,134 - 0,198*AR + 0,060*t - 0,014*AR^2 - 0,001*t^2 + 0,007*AR*t$	0,5298	No
8	Calcio	Incremento de Calcio (%) = $-0,474 + 0,249*AR + 0,008*t - 0,033*AR^2 - 0,001*t^2 + 0,001*AR*t$	0,2777	No
9	Cobalto	Incremento de Cobalto (%) = $-1,745 + 0,107*AR + 0,097*t - 0,079*AR^2 - 0,002*t^2 + 0,013*AR*t$	0,1293	No
10	Fósforo	Incremento de Fósforo (%) = $-0,334 - 0,120*AR + 0,080*t - 0,04*AR^2 - 0,002*t^2 + 0,009*AR*t$	0,0439	Si
11	Litio	Incremento de Litio (%) = $-1,465 + 0,899*AR + 0,042*t - 0,194*AR^2 - 0,002*t^2 + 0,021*AR*t$	0,1709	No
12	Magnesio	Incremento de Magnesio (%) = $1,048 - 0,151*AR + 0,005*t - 0,044*AR^2 - 0,001*t^2 + 0,011*AR*t$	0,2720	No
13	Manganeso	Incremento de Manganeso (%) = $-2,211 + 0,476*AR + 0,070*t - 0,081*AR^2 - 0,001*t^2 + 0,004*AR*t$	0,3914	No
14	Potasio	Incremento de Potasio (%) = $-2,274 - 0,149*AR + 0,160*t - 0,043*AR^2 - 0,003*t^2 + 0,011*AR*t$	0,1151	No
15	Sodio	Incremento de Sodio (%) = $1,628 - 0,388*AR - 0,063*t + 0,013*AR^2 + 0,001*t^2 + 0,005*AR*t$	0,2771	No

Nota. Elaboración propia.

6.3. VALIDACIÓN DE EVALUACIÓN DE RIESGOS A LA SALUD Y EL AMBIENTE (ERSA) POR EL USO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS POZAS DE RETENCIÓN DE ARUNTA

Implementando lo indicado en los acápites 3.5.1; 3.5.2 y 3.5.3 tenemos los resultados tabulados en la Tabla 50.

Los parámetros ambientales de incremento de coliformes y sulfatos en el suelo por el uso de aguas residuales no tratadas, son clasificados con nivel de contaminante crítico, asimismo el nivel de riesgo a la salud también es crítico.

En el caso del incremento de los contaminantes arsénico, boro y litio que contribuye en el impacto ambiental tiene una significancia leve, asimismo el nivel de riesgo a la salud es importante, los que deben ser considerados para el manejo ambiental, se debe evitar el uso de agua residual mal tratada de las pozas de retención de Arunta.

Con esto se ratifica la hipótesis: **“La evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) obligará a minimizar el uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta”**.

Tabla 48

Matriz para evaluar la importancia del impacto ambiental y nivel de riesgo ambiental y a la salud (ERSA)

Aspecto Ambiental	IMPACTOS AMBIENTALES				Importancia del Impacto	EVALUACIÓN DE RIESGOS			
	Incremento contaminante	Valoración del Impacto	Valoración del Daño Ambiental	Evaluación del Impacto		Probabilidad	Gravedad	Evaluación del Riesgo	Nivel de Riesgo
pH	7,44 %	1	1	1	Compatible	3	4	12	Bajo
Coliformes	29714,67 %	5	4	20	Críticos	9	8	72	Crítico
Nitritos	971,78 %	5	2	10	Leve	9	6	54	Importante
Sulfatos	122,22 %	5	4	20	Críticos	9	8	72	Crítico
Arsénico	28,33 %	2	4	8	Compatible	5	8	40	Importante
Boro	42,22 %	3	4	12	Leve	5	8	40	Importante
Cadmio	35,00 %	3	3	9	Compatible	5	6	30	Moderado
Calcio	10,00 %	2	3	6	Compatible	3	6	18	Bajo
Cobalto	30,53 %	3	3	9	Compatible	5	6	30	Moderado
Fósforo	39,33 %	3	3	9	Compatible	5	6	30	Moderado
Litio	52,67 %	4	3	12	Leve	9	6	54	Importante
Magnesio	36,00 %	3	3	9	Compatible	5	6	30	Moderado
Manganeso	28,67 %	2	3	6	Compatible	5	6	30	Moderado
Potasio	36,22 %	3	3	9	Compatible	5	6	30	Moderado
Sodio	-86,44 %	1	3	3	Compatible	3	6	18	Bajo

Nota. Fuente elaboración propia.

6.4. EVALUACIÓN DE LA CORRELACIÓN DEL USO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS POZAS DE RETENCIÓN DE ARUNTA RESPECTO AL INCREMENTO DE LOS CONTAMINANTES

La hipótesis general nos permite evaluar la correlación del uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta respecto a incremento de los contaminantes en los suelos regados.

Para lo cual elaboramos la Tabla 51 que relaciona la cantidad de agua residual utilizada en cada experimento y el incremento del contaminante.

Tabla 49

Incremento de contaminantes respecto a la cantidad de agua residual utilizada

AR litros	Incremento del contaminante en %/100												
	Nitritos	Sulfatos	Coliformes	As	Bo	Cd	Ca	Co	P	Li	Mg	Mn	K
264	9,00	1,25	249,00	0,17	0,40	0,44	0,01	0,26	0,33	0,58	0,32	0,20	0,43
286	8,73	0,97	776,78	0,36	0,23	0,09	0,02	0,18	0,05	0,08	0,17	0,22	0,06
204	10,73	1,10	93,44	0,06	0,37	0,22	0,16	0,19	0,13	0,01	0,23	0,40	0,09
132	10,00	1,27	249,00	0,29	0,54	0,33	0,10	0,29	0,49	0,08	0,34	0,22	0,41
126	8,33	1,75	99,00	0,41	0,70	0,58	0,18	0,44	0,70	1,13	0,65	0,34	0,55
176	17,00	1,13	432,33	0,12	0,20	0,24	0,04	0,05	0,34	0,56	0,24	0,02	0,17
198	6,67	1,24	249,00	0,38	0,48	0,33	0,15	0,45	0,56	0,87	0,46	0,38	0,56
198	9,00	1,13	432,33	0,35	0,33	0,44	0,13	0,45	0,45	0,70	0,39	0,38	0,46
198	8,00	1,16	93,44	0,41	0,55	0,48	0,11	0,45	0,49	0,73	0,44	0,42	0,53

Nota. Elaboración propia.

Para determinar la correlación, utilizando el método de Spearman, transformaremos los valores de la Tabla 51 utilizando el siguiente cuadro:

Clasificación de la importancia del parámetro	Puntuación
Bajo	1
Ligeramente bajo	2
Regular	3
Ligeramente alto	4
Alto	5

Tabla 50*Importancia de cada elemento contaminante de la Tabla 51*

AR	Nitritos	Sulfatos	Coliformes	As	Bo	Cd	Ca	Co	P	Li	Mg	Mn	K
5	1	2	2	2	3	4	1	3	3	3	2	3	4
5	1	1	5	5	1	1	1	2	1	1	1	3	1
3	1	1	1	1	2	2	5	2	1	1	1	5	1
1	1	2	2	4	4	3	3	3	4	1	2	3	4
1	1	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5
2	1	2	3	1	1	2	1	1	3	3	1	1	2
3	1	2	2	5	3	3	4	5	4	4	3	5	5
3	1	2	3	5	2	4	4	5	4	4	3	5	5
3	1	2	1	5	4	4	3	5	4	4	3	5	5

Nota. Elaboración propia.**a) Planteamiento de hipótesis**H₀ hipótesis nula

A medida que se incrementa el uso de agua residual de las pozas de retención de Arunta, será menor la probabilidad de contaminación de los suelos.

H₁ hipótesis alterna

A medida que se incrementa el uso de agua residual de las pozas de retención de Arunta, será mayor la probabilidad de contaminación de los suelos.

b) Nivel de significancia 0,05**1) Correlación del consumo de AR respecto al incremento de nitritos**

Tabla 51

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento de nitritos

			AR	Nitritos
Rho de Spearman	AR	Coefficiente de correlación	1,000	0,505
		Sig. (bilateral)		0,165
		N	9	9
	Nitritos	Coefficiente de correlación	0,505	1,000
Sig. (bilateral)		0,165		
N		9	9	

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas.

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,165$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento de nitritos existe una correlación directamente proporcional en forma proporcional considerable positiva (coeficiente Rho de Spearman = $0,505$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta - Tacna.

2) Correlación del consumo de AR respecto al incremento de sulfatos

Tabla 52

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento de sulfatos

			AR	Sulfatos
Rho de Spearman	AR	Coefficiente de correlación	1,000	-0,593
		Sig. (bilateral)		0,092
		N	9	9
	Sulfatos	Coefficiente de correlación	-0,593	1,000
Sig. (bilateral)		0,092		
N		9	9	

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,092$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento de sulfatos existe una correlación inversamente proporcional con una correlación negativa (coeficiente Rho de Spearman = $-0,593$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta - Tacna.

3) Correlación del consumo de AR respecto al incremento de coliformes

Tabla 53

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento de coliformes

		AR	Coliformes
Rho de Spearman	AR	Coefficiente de correlación	1,000
		Sig. (bilateral)	0,324
		N	9
Rho de Spearman	Coliformes	Coefficiente de correlación	0,324
		Sig. (bilateral)	0,395
		N	9

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,395$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento de coliformes existe una correlación directamente proporcional con una correlación media (coeficiente Rho de Spearman = $0,324$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta - Tacna.

4) Correlación del consumo de AR respecto al incremento del arsénico

Tabla 54

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento de arsénico

			AR	Arsénico
Rho de Spearman	AR	Coeficiente de correlación	1,000	0,092
		Sig. (bilateral)		0,814
	N		9	9
	Arsénico	Coeficiente de correlación	0,092	1,000
Sig. (bilateral)		0,814		
N		9	9	

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,814$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento de arsénico existe una correlación directamente proporcional con una correlación positiva débil (coeficiente Rho de Spearman = $0,092$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta - Tacna.

5) Correlación del consumo de AR respecto al incremento del boro

Tabla 55

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del boro

			AR	Boro
Rho de Spearman	AR	Coeficiente de correlación	1,000	-0,469
		Sig. (bilateral)		0,203
	N		9	9
	Boro	Coeficiente de correlación	-0,469	1,000
Sig. (bilateral)		0,203		
N		9	9	

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,203$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento del boro existe una correlación inversamente proporcional con una correlación negativa media (coeficiente Rho de Spearman = $-0,469$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta – Tacna.

6) Correlación del consumo de AR respecto al incremento del cadmio

Tabla 56

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del cadmio

			AR	Cadmio
Rho de Spearman	AR	Coefficiente de correlación	1,000	-0,248
		Sig. (bilateral)		0,520
		N	9	9
	Cadmio	Coefficiente de correlación	-0,248	1,000
		Sig. (bilateral)	0,520	
		N	9	9

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,520$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento del cadmio existe una correlación inversamente proporcional con una correlación negativa media (coeficiente Rho de Spearman = $-0,248$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta - Tacna.

7) Correlación del consumo de AR respecto al incremento del calcio

Tabla 57

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del calcio

			AR	Calcio
Rho de Spearman	AR	Coefficiente de correlación	1,000	-0,407
		Sig. (bilateral)		0,277
		N	9	9
	Calcio	Coefficiente de correlación	-0,407	1,000
		Sig. (bilateral)	0,277	
		N	9	9

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,277$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento del calcio existe una correlación inversamente proporcional con una correlación negativa media (coeficiente Rho de Spearman = $-0,407$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta - Tacna.

8) Correlación del consumo de AR respecto al incremento del cobalto

Tabla 58

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del cobalto

			AR	Cobalto
Rho de Spearman	AR	Coefficiente de correlación	1,000	-0,130
		Sig. (bilateral)		0,740
		N	9	9
	Cobalto	Coefficiente de correlación	-0,130	1,000
		Sig. (bilateral)	0,740	
		N	9	9

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,740$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento del cobalto existe una correlación inversamente proporcional con una correlación negativa media (coeficiente Rho de Spearman = $-0,130$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta - Tacna.

9) Correlación del consumo de AR respecto al incremento del fósforo

Tabla 59

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del fósforo

			AR	Fósforo
Rho de Spearman	AR	Coefficiente de correlación	1,000	-0,616
		Sig. (bilateral)		0,078
	N		9	9
	Fósforo	Coefficiente de correlación	-0,616	1,000
Sig. (bilateral)		0,078		
		N	9	9

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,078$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento del fósforo existe una correlación inversamente proporcional con una correlación negativa considerable (coeficiente Rho de Spearman = $-0,616$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta - Tacna.

10) Correlación del consumo de AR respecto al incremento del litio

Tabla 60

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del litio

			AR	Litio
Rho de Spearman	AR	Coefficiente de correlación	1,000	-0,242
		Sig. (bilateral)		0,530
		N	9	9
	Litio	Coefficiente de correlación	-0,242	1,000
		Sig. (bilateral)	0,530	
		N	9	9

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,530$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento del litio existe una correlación inversamente proporcional con una correlación negativa media (coeficiente Rho de Spearman = $-0,242$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta - Tacna.

11) Correlación del consumo de AR respecto al incremento del magnesio

Tabla 61

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del magnesio

			AR	Magnesio
Rho de Spearman	AR	Coefficiente de correlación	1,000	-0,311
		Sig. (bilateral)		0,416
		N	9	9
	Magnesio	Coefficiente de correlación	-0,311	1,000
		Sig. (bilateral)	0,416	
		N	9	9

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,416$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento del magnesio existe una correlación inversamente proporcional con una correlación negativa media (coeficiente Rho de Spearman = $-0,311$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta - Tacna.

12) Correlación del consumo de AR respecto al incremento del manganeso

Tabla 62

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del manganeso

		AR	Manganeso
Rho de Spearman	AR	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	1,000 -0,112 9
	Manganeso	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	-0,112 0,774 9

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,774$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento del manganeso existe una correlación inversamente proporcional con una correlación negativa media (coeficiente Rho de Spearman = $-0,112$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta - Tacna.

13) Correlación del consumo de AR respecto al incremento del potasio

Tabla 63

Rho de Spearman de la correlación de consumo de AR respecto al incremento del potasio

			AR	Potasio
Rho de Spearman	AR	Coefficiente de correlación	1,000	-0,278
		Sig. (bilateral)		0,469
	N		9	9
	Potasio	Coefficiente de correlación	-0,278	1,000
Sig. (bilateral)		0,469		
		N	9	9

Nota. Fuente SPSS v18 /Analizar/Correlaciones/Bivariadas

Conclusión

Los resultados muestran que el valor de nivel de significancia ($p = 0,469$) es mayor que el nivel de significancia ($0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis alterna, y se concluye con un nivel de confianza al 95 % que: Entre el incremento del potasio existe una correlación inversamente proporcional con una correlación negativa media (coeficiente Rho de Spearman = $-0,278$) con el uso de agua residual para regar en la zona de Arunta - Tacna.

CONCLUSIONES

1. En el agua residual no tratada en la descarga de las pozas de aguas residuales de retención de Arunta, que es utilizada por los agricultores de la zona para regar sus plantaciones, se observó que la concentración de los contaminantes como la DBO₅ supera en un 1 953,33 % a los LMP exigidos por el DS 002-2008-MINAM, de igual forma la DQO supera en un 1 442,5 % a los LMP; así como también superan a los coliformes termotolerantes en un 3 500,0 % a lo que estipula la norma. Por lo que se concluye que “La remoción de los contaminantes en las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta no cumple con los LMP exigidos por ECA agua (DS 002-2008-MINAM)”.
2. Experimentalmente en este trabajo de investigación se ha demostrado que no se puede controlar la contaminación del suelo por nitrito, sulfato, boro, cadmio, calcio, cobalto, litio, magnesio, manganeso, potasio y sodio durante la etapa de regadío con estas aguas residuales, solo se puede controlar parcialmente la contaminación por arsénico y fósforo. Por lo que se concluye que: “No es controlable la contaminación de suelos utilizando estas aguas residuales no tratadas para su empleo en el riego”.
3. Experimentalmente se ha detectado que en el suelo que ha sido regado con estas aguas residuales, el nivel de riesgo para la salud es “crítico” por el incremento de coliformes y sulfatos. El nivel de riesgo por el incremento por nitritos, boro, arsénico, litio es considerado “importante”. Por lo que, se concluye que “se debe convertir estas pozas en una PTAR, por el riesgo al que está expuesto la salud humana por la contaminación del suelo”.
4. Experimentalmente se ha observado que el incremento de la contaminación por nitrito, sulfato, boro, cadmio, calcio, cobalto, litio, magnesio, manganeso, potasio, sodio, arsénico, coliformes al suelo es directamente proporcional al utilizar mayor cantidad de agua residual no tratada de las pozas de retención de Arunta. Por lo que se concluye “que la velocidad de contaminación del suelo es directamente proporcional al mayor uso de agua residual no tratada”.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la ESPG que siga motivando a que se continúe desarrollando este tipo de investigación, que permitan minimizar los riesgos ambientales por el uso de aguas residuales y que no han sido correctamente tratadas.
2. Se recomienda que la ESPG fomente el desarrollo de investigaciones para la recuperación de suelos contaminados.
3. Se recomienda realizar investigaciones sobre PTAR que requieran poca área superficial, evitando el uso de lagunas facultativas que requieren mucha área y tienen poca eficiencia de remoción de contaminantes.
4. Se recomienda efectuar campañas de concientización a los agricultores de la zona donde se ubican las pozas de retención de aguas residuales de Arunta, para evitar el uso de estas aguas en el regadío de las plantaciones que cultivan en sus terrenos agrícolas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrades, M., & Martínez, M. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. Universidad de la Rioja, Servicio de Publicaciones. Obtenido de <https://www.tierra-fertil.es/wp-content/uploads/2021/02/Dialnet-FertilidadDelSueloYParametrosQueLaDefinen-267902.pdf>
- Ayala, J. (1995). *Optimización por diseños experimentales aplicación en ingeniería*. IMA-PERU A&B S.A.
- Comisión Ambiental Regional Tacna. (2005). Plan para la Gestión Integral de las aguas servidas en la Región Técnica. Secretaría Técnica, Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento – EPS Tacna S.A. *Municipalidad Provincial de Tacna*.
- Cornejo, F., López, M., Beltrán, R., Acevedo, O., Lucho, C., & Reyes, M. (2012). Degradación del suelo en el Distrito de riego 003 Tula, Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 873-880. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6104338.pdf>
- Cubillos, A. (2007). Parámetros y características de las aguas residuales. Proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado. *Cetro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima Perú*.
- Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM. (25 de marzo de 2013). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_002-2013-minam-fe-erratas.pdf
- EPS Tacna S.A. (2012). Plan Maestro Optimizado Actualizado 2013-2043.

Espigares, M., & Pérez, J. (2003). Aguas residuales. Composición. *Extraído de la web*.
Obtenido de <https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/IndiDoc2.htm>

Espinoza, R. (s.f.). *Planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Miraflores*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Obtenido de https://www.academia.edu/34361108/PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_EN_SAN_JUAN_DE_MIRAFLORES

Ford, A. (1999). *Modeling the Environment, second edition*. Editora de la Universidad de Chicago.

Guadarrama, M., & Galván, A. (2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura. *CIBA Revista Iberoamericana De Las Ciencias Biológicas Y Agropecuarias*, 4(7), 22-44. Obtenido de <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/29>

Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill. Obtenido de https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf

Izquierdo, J. (2017). *Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín*. [Trabajo de titulación, Universidad Politecnica Salesiana]. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14712/1/UPS-CT007228.pdf>

Kuehl, R. (2001). *Diseño de experimentos, principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. Thomson Learning. Obtenido de <https://wiartur.files.wordpress.com/2010/04/kuehl-diseno-de-experimentos.pdf>

- Larios, F., González, C., & Morales, Y. (2016). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber Y Hacer*, 2(2), 8-25. Obtenido de <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Manrique, R., Jiménez, H., Álvaro, H., Torralba, R., & Acosta, L. (2001). Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. *Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS 2000 – 2002*. Obtenido de https://www.academia.edu/32422090/Convenio_IDRC_OPS_HEP_CEPIS_2000_2002
- Martínez, J., & Páez, M. (2017). Diseño de experimentos aplicado en la optimización del método de extracción QUECHERS para determinación de plaguicidas organoclorados y organofosforados en suelos. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 33(4), 559-573. doi:<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.04.02>
- Méndez, M., Ricardo, M., Pérez, J., Hernández, G., & Campos, O. (2006). 2023-353028. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(3), 17-21. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215304>
- Méndez, T., Rodríguez, L., & Palacios, S. (2000). Impacto del Riego con Aguas Contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. *Terra Latinoamericana*, 18(4), 277-288. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318401>
- Merzthal, G., Roose, P., Bergaray, V., Jiménez, H., & Álvaro, H. (2002). Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. *Estudio complementario del caso Villa El Salvador, Lima - Perú*. Obtenido de http://www.amigosdevilla.it/archivoit/documentos/EST_09_2002.pdf

Metcalf & Eddy, I. a., Asano, T., Burton, F., & Leverenz, H. (2007). *Water reuse issues, technologies, and applications*. McGraw-Hill.

Ministerio de Salud. (2011). Política Nacional de Salud Ambiental 2011 - 2020. *Dirección General de Salud Ambiental* . Obtenido de <http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/POLITICA-DIGESA-MINSA.pdf>

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2015). Mejoramiento del servicio de ordenamiento territorial en la provincia de Tacna. *Plan de desarrollo urbano de la provincia de Tacna 2015 - 2025*. Obtenido de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/Plan%20de%20desarrollo%20urbano%20de%20la%20ciudad%20de%20Tacna%202015-2025.pdf>

Murcia, M., Calderón, O., & Díaz, J. (2014). Impacto de aguas grises en propiedades físicas del suelo. *Tecno Lógicas*, 17(32), 57-65. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344233949006>

Navarro, A., Carmona, J., & Font, X. (1995). Contaminación de suelos y aguas subterráneas por vertidos industriales. *Acta Geológica Hispánica. Acta Geológica Hispánica*, 30(3), 49-62. Obtenido de <https://revistes.ub.edu/index.php/ActaGeologica/article/download/4562/5814>

OEFA. (2004). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Perez, F., Armenteros, T., & Hernandez, J. (2016). Sistema de tratamiento para las aguas residuales en la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Villa Clara. *Centro Azúcar*, 43(2), 68-75. Obtenido de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2223-48612016000200007

Rascón, E., Peña, E., López, R., Cantú, M., & Narro, E. (2008). Impacto de algunas propiedades físicas del suelo por aplicación de aguas residuales. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 69-74. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792008000100009

STATGRAPHICS. (2010). *Statgraphics Centurion XVI Manual de Usuario*. Obtenido de <https://www.statgraphics.net/wp-content/uploads/2015/03/Centurion-XVI-Manual-Principal.pdf>

UNESCO. (2017). *Aguas Residuales. El Recurso Desaprovechado. Informe del Programa Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017 – WWAP*. Obtenido de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_spa

Zamora, F., Rodríguez, N., Torres, D., & Yendis, H. (2008). Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón. *Bioagro*, 20(3), 193-199. Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612008000300006&script=sci_abstract

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

Evaluación experimental de la velocidad de Contaminación de suelos por el uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta – Tacna - 2019							
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MUESTRA	DISEÑO	INSTRUMENTO
<p>PRINCIPAL:</p> <p>¿Cuál es el efecto del uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta sobre la velocidad de contaminación de los suelos?</p>	<p>GENERAL:</p> <p>Evaluar experimentalmente la velocidad de contaminación de los suelos, por el uso de las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta.</p>	<p>GENERAL:</p> <p>A medida que se incrementa el uso de agua residual de las pozas de retención de Arunta, será mayor la probabilidad de contaminación de los suelos.</p>	<p>Variables dependientes:</p> <p>Temperaturas Sulfato Nitrito pH Coliformes fecales P, Na, As, K MO</p>	<p>Nivel:</p> <p>Bajo Medio Alto</p> <p>En el caso de pH</p> <p>Ácido Neutro Básico</p>	<p>POBLACIÓN</p> <p>1) Aguas residuales que descargan en las pozas de Arunta</p> <p>2) Suelo sin contaminación de la zona agrícola de Arunta</p>	<p>MÉTODO</p> <p>Experimental Hexagonal</p> <p>Descriptivo Correlacional</p>	
<p>SUBPROBLEMAS</p> <p>1) ¿Qué eficiencia de remoción de contaminantes en las aguas residuales se tienen en las pozas de retención de Arunta?</p>	<p>ESPECÍFICO:</p> <p>1) Determinar la eficiencia de remoción de los contaminantes de las aguas residuales tratadas en las pozas de retención de Arunta.</p>	<p>SECUNDARIAS</p> <p>1) La remoción de los contaminantes en las aguas residuales en las pozas de retención de Arunta no cumple con los LMP exigidos por ECA agua.</p>					
<p>2) ¿Cuál es el modelo experimental que representa la contaminación de suelos por el uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta?</p>	<p>2) Determinar el modelo experimental de la contaminación de suelos por el uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta</p>	<p>2) El uso del modelo experimental diagnosticará en forma oportuna la contaminación de suelos.</p>	<p>Variables independientes:</p> <p>1) Tiempo de regadío 2) Caudal de regadío</p>		<p>MUESTRA</p> <p>Son las muestras tomadas para los análisis químicos y bacteriológicos</p>		<p>Multiparámetro</p> <p>Caja conservadora de muestras Frasco para muestras</p>
<p>3) ¿Cuál es el riesgo en la salud y el ambiente, el uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta?</p>	<p>3) Evaluar los riesgos en la salud y el ambiente (ERSA) por el uso de aguas residuales provenientes de las pozas de retención de Arunta.</p>	<p>3) La evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) obligará a minimizar el uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta.</p>					

Anexo 02: Artículo Científico

“Contaminación microbiológica (coliformes fecales) de los suelos por el uso de aguas residuales de las pozas de retención Arunta, Tacna”

“Microbiological contamination (fecal coliforms) of soils due to the use of wastewater from the Arunta retention ponds, Tacna”

José Antonio Flores Cano ⁽¹⁾

Alberto Savino Pacheco Pacheco ⁽²⁾

ARTICULO

ORIGINAL

Universidad Nacional
Jorge Basadre Grohmann,
Tacna, Perú

Correspondencia

josefloinge@hotmail.com
apachecop@unjb.edu.pe

⁽¹⁾ ORCID: 0009-0002-
9500-4436

⁽²⁾ ORCID: 0000-0002-
5576-0547

Palabras clave: *diseño hexagonal, aguas residuales, y velocidad de contaminación del suelo.*

Keywords: hexagonal design, wastewater, and soil contamination rate.

Información adicional

Presentado: 20/08/2024

Aprobado:

RESUMEN

Experimentalmente se evaluó la contaminación bacteriológica de los suelos de la zona de Arunta. Para la investigación se consideró como variables experimentales, el tiempo (día) y la dosificación de agua residual de las pozas de Arunta (l/m²/día) que son causantes de la contaminación bacteriológica. Para la investigación experimental con el objetivo de modelar la velocidad de contaminación bacteriológica, se utilizó el diseño hexagonal, en la tabla 3 se plantea las condiciones experimentales de las variables y los resultados del incremento de contaminación de los suelos. Las aguas residuales utilizadas para regar en Arunta, con una alta contaminación 35 000 000 mg coliformes/l, dosificado de 3,00 a 6,00 litro/m²/día y por un tiempo que varía de 33,61 a 54,39 incrementa la contaminación bacteriológica de los suelos de 93,44% hasta 779.78%.

ABSTRACT

The bacteriological contamination of the soils in the Arunta area was evaluated experimentally. For the research, the experimental variables considered were time (day) and the dosage of wastewater from the Arunta ponds (l/m²/day), which are the cause of bacteriological contamination. For the experimental research with the objective of modeling the speed of bacteriological contamination, the hexagonal design was used. Table 3 presents the experimental conditions of the variables and the results of the increase in soil contamination. The wastewater used for irrigation in Arunta, with a high contamination of 35,000,000 mg coliforms/l, dosed from 3.00 to 6.00 liters/m²/day and for a time varying from 33.61 to 54.39, increases the bacteriological contamination of the soil from 93.44% to 779.78%.

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales de las pozas de retención Arunta son utilizadas por los agricultores de la zona para el cultivo de tunales y plantas de tallo largo. Estas pozas de retención son de alto riesgo potencial de contaminación para el suelo y el acuífero de la zona.

Pese a esta situación, actualmente no se tiene información documentada sobre el diseño de las aguas residuales de las pozas de retención de Arunta, se desconoce el nivel de contaminación que generan y no se cuenta aún con estudios de investigación relacionado a la velocidad de contaminación de suelos por el uso de estas aguas residuales de las pozas de retención de Arunta.

Cómo objetivo de investigación se planteó: “Evaluar experimentalmente la velocidad de contaminación de los suelos, por el uso de aguas residuales de las pozas de retención de Arunta”.

La (Comisión Ambiental Regional de Tacna (CAR), 2005, p. 6), “advirtió que los agricultores de la zona de Arunta utilizaban aguas residuales sin tratar, problema que no ha sido solucionado a la fecha”.

Se cuenta a la fecha con algunas publicaciones con problemáticas similares a esta investigación, que se detalla continuación:

En investigaciones de cultivos realizadas en México y Colombia, utilizando aguas residuales que sobrepasan el límite de contenido de coliformes fecales, los autores reportan contaminación de suelos por la presencia de coliformes.(Méndez et al., 2000);(Rascón et al., 2008);(Guadarrama & Galván, 2015);(Fuccz-Gamboa , J .; Gómez-Moreno , R .; Cárdenas-Guzmán , M .; Campos-Pinilla, 2007).

En las investigaciones realizadas en España, Ecuador y México, indican que la contaminación fecal ha sido y sigue siendo el primer riesgo sanitario en el agua, por eso es importante su control.(Andrades, Marisol; Martinez, 2014);(Izquierdo, 2018);(Mejía, 2016).

(Hernández-Acosta et al., 2014, p. 90)Hernández Elizabeth et al (2014) en la investigación realizada, que tuvo como objetivo: “evaluar la concentración de coliformes fecales (en aguas residuales, suelo y plantas) y huevos de helminto (en aguas residuales) en el distrito de riego Tulancingo, concluyen la necesidad del tratamiento de las aguas residuales antes de emplearse para riego”.

(González-Fragozo et al., 2020, p. 7) indica que: “la presencia de coliformes en suelo y pastos, cuando se aplica riego con aguas residuales, no se debe únicamente a la carga microbiana del agua reutilizada, pues estos microorganismos llegan al suelo por distintas fuentes”.

Otros investigadores demostraron en México, Colombia y Perú, que el uso de agua residual en los cultivos, con el tiempo tienen efectos de degradación acumulada de los suelos.(Cornejo Oviedo et al., 2012);(Murcia-Sarmiento et al., 2014);(Larios et al., 2015).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

a) Área de estudio y ubicación de puntos de muestreo

La recolección de las muestras fue de la siguiente manera:

- a. Monitoreo en la entrada y descarga de las pozas de retención de aguas residuales de Arunta: Para efectuar el análisis bacteriológico de las aguas residuales. Punto de monitoreo coordenadas UTM WGS84 19K 366963 mE; 7998928 mS
- b. Se tomó en la descarga de las pozas 1782 litros de aguas residuales: Las que fueron trasladadas al laboratorio habilitado para las pruebas experimentales.
- c. Se muestreó tierras sin contaminación de diferentes puntos del poligonal cercana a las pozas: Se juntó 2,00 t de tierra muestra sin contaminación y que fueron completamente homogenizados.

Tabla 1: *Poligonal de recolección de tierra no contaminada para el experimento*

Vértice	Lado	Distancia (m)	Coordenada Este (m)	Coordenada norte (m)
A	A-B	286	366 688	7 998 875
B	B-C	622	366 837	7 998 627
C	C-D	293	366 290	7 998 347
D	D-A	557	366 159	7 998 705

Para la parte experimental se construyeron nueve (9) cajas de madera iguales (largo 1,20 m, ancho 0,60 m y alto 0,20 m). Cada caja debe contener 150 kg de tierra, sumando un total de 1,5 t.

Figura 1: Zonas de muestreo de tierra no contaminada y AR para el experimento



Tabla 2: Caracterización del agua residual y del suelo no contaminado para el experimento

Caracterización del A.R. utilizada			Caracterización del suelo sin contaminar		
Parámetro	Contenido	Unidades	Parámetro	Contenido	Unidades
Coliformes	35 000 000	mg/l	Coliformes	18	NMP/100g

Nota. 1) Informe de ensayo de agua residual N° 2-01994/19 – CERPER – Laboratorio de ensayo acreditado por INACAL – Registro N° LE 003 (Ministerio del Ambiente (MINAM), 2010)

b) Metodología de superficie respuesta (MSR)

La Metodología de Superficies de Respuesta (MSR) es un conjunto de técnicas matemáticas estadísticas utilizadas en la solución de problemas operativos, en los que una variable respuesta de interés depende de varios factores independientes de carácter cuantitativo. El propósito de esta técnica es diseñar un conjunto de experimentos que proporcionen valores razonables de las variables respuestas, para luego determinar el modelo matemático que mejor se ajusta al proceso. El objetivo final es establecer los valores de los factores que optimizan el valor de la variable respuesta. (Ayala & Pardo, 1995); (Kuehl, 2001); (Gutiérrez & De la vara, 2016).

Tabla 3: Matriz del Diseño Hexagonal y resultados de la contaminación del suelo

N°	Diseño Hexagonal		Contaminación del suelo con:	
	Dosificación litro/m ² /día	Tiempo día	Coliformes NMP/100g	Incremento contaminante (%)
1	6,00	44,00	4500	249,00
2	5,25	54,39	14000	776,78
3	3,75	54,39	1700	93,44
4	3,00	44,00	4500	249,00
5	3,75	33,61	1800	99,00
6	5,25	33,61	7800	432,33
7	4,50	44,00	4500	249,00
8	4,50	44,00	7800	432,33
9	4,50	44,00	1700	93,44

Nota. Adaptación al propuesto por Ayala y Pardo (1995) p. 195.

En esta investigación experimental se ha utilizado un modelo de segundo orden:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

Donde:

- Y = es la función respuesta
- x_i, x_j = variables del proceso
- β = valores de los parámetros
- ε = error experimental.

c) Incremento de la contaminación microbiológica

Para determinar el incremento de cada factor contaminante del suelo se ha aplicado la siguiente ecuación:

$$\text{Incremento contaminante (\%)} = ((V_f - V_i) \cdot 100 / V_i)$$

Donde:

- V_i = Contenido de contaminante en suelo sin contaminar.
- V_f = Contenido de contaminante en suelo contaminado.

El incremento de coliformes fecales experimentalmente alcanzan hasta el 776,78 %.

d) Evaluación del incremento de la contaminación del coliforme fecal (CF)

Variable dependiente : Incremento de coliformes (%)
 Variables independientes : Dosificación de agua residual = AR (l/m²/día)
 : Tiempo de dosificación = t (día)

El modelo ajustado obtenido para el incremento de coliformes es:

$$\text{Incremento de Coliformes (\%)} = 3224,95 - 344,089 \cdot \text{AR} - 119,366 \cdot t - 4,11407 \cdot \text{AR}^2 + 0,874879 \cdot t^2 + 11,2291 \cdot \text{AR} \cdot t$$

Tabla 4: Varianza de la correlación del incremento de coliformes (%)

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	165985,	5	33197,0	0,43	0,8062
Residuo	229821,	3	76607,1		
Total (Corr.)	395806,	8			

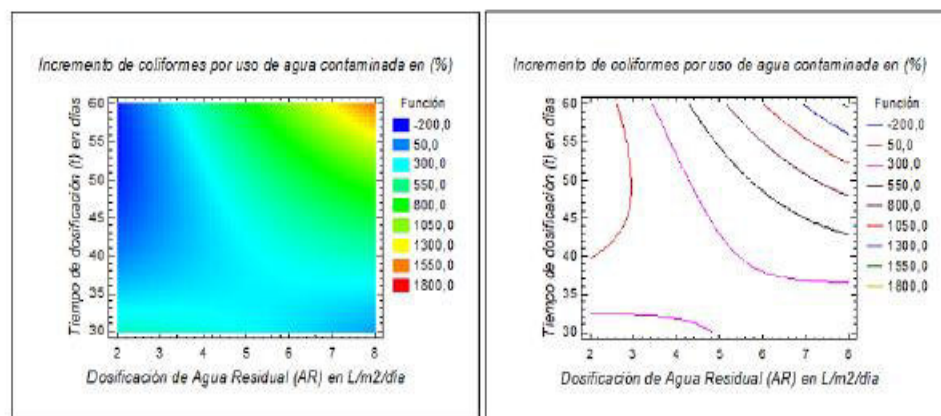
Puesto que el valor-P (0,8062) en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 41,9359 % de la variabilidad en incremento de coliformes.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2,7678

Estadísticamente no tiene explicación el incremento porcentual de los coliformes en el suelo en función del tiempo y dosificación de agua residual no tratada.

Figura 2: Diagrama de superficie y contorno del incremento de coliformes por el uso de AR no tratada



Nota. Elaborado con el software estadístico Statgraphics

3. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación se contrastan.

En la comparación de la contaminación microbiológica (coliformes) presentes en los suelos después del riego son altos en la evaluación de Elizabeth Hernández (1×10^9 NMP/100 g) y la de Harold González (8200 NMP/100g) y en esta investigación hemos obtenido una contaminación de 4867 NMP/100 g. (Hernández-Acosta et al., 2014, p. 97); (González-Fragozo et al., 2020, p. 5)

Tabla 5: Cuadro comparativo del incremento de la contaminación microbiológica de suelos regados con aguas residuales maltratadas, ejecutadas por diferentes investigadores

	Unidades	José Flores Cano	Elizabeth Hernández et al	Harold González et al
Lugar de contaminación		Arunta, Tacna, Perú	Tulancingo, Hidalgo México	Municipio de Agustín, Colombia
Agua Residual utilizada	NMP/100 ml	$3,5 \times 10^7$	2×10^{10}	$1,6 \times 10^4$
Suelo antes del riego	NMP/100 g	18		5600
Suelo después del riego	NMP/100 g	4867	1×10^9	8200
Incremento contaminación	%	269,39		46,00 %

4. CONCLUSIONES

1. En el agua residual no tratada de la descarga de las pozas de retención de Arunta, que es utilizada por los agricultores de la zona para regar sus plantaciones, se observó que la concentración de los contaminantes supera en un 3499,9 % de coliformes fecales a los LMP exigidos por el DS 002-2000-MINAM.
2. Experimentalmente en este trabajo de investigación se ha demostrado que no se puede controlar la contaminación del suelo por coliformes fecales, en la etapa de regadío con estas aguas residuales no tratadas.

REFERENCIAS

- Andrades, Marisol; Martínez, E. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. *Universidad de la Rioja-Servicio de Publicaciones.*, v3, 16–34. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902&info=resumen&idioma=SPA>
- Ayala, J., & Pardo, R. (1995). *Optimización por diseños experimentales, con aplicación en ingeniería* (Taller A&B (ed.); Primera).
- Comisión Ambiental Regional de Tacna (CAR). (2005). Plan para la Gestión Integral de las aguas servidas en la Región Tacna. *Secretaría Técnica – Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento – EPS Tacna, Municipalidad Provincial de Tacna*, 1–71.
- Cornejo Oviedo, F., López Herrera, M., Beltrán Hernández, R., Acevedo Sandoval, O., Lucho-Constantino, C., & Reyes Santamaría, M. (2012). Degradación del suelo en el Distrito de riego 003 Tula, Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 873–880.
- Fuccz-Gamboa, J.; Gómez-Moreno, R.; Cárdenas-Guzmán, M.; Campos-Pinilla, C. (2007). *Comportamiento de coliformes fecales como indicadores bacterianos de contaminación fecal en diferentes mezclas de biosólido y estériles utilizados para la restauración ecológica de la cantera Soratama, Bogotá.*
- González-Fragozo, H. E., Zabaleta-Solano, C., Devia-González, J., Moya-Salinas, Y., & Afanador-Rico, O. (2020). Effect of irrigation with treated wastewater on microbiological quality of the soil and King Grass. *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgacion Científica*, 23(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1513>

- Guadarrama, M., & Galván, A. (2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 4(7).
- Gutiérrez, H., & De la vara, R. (2016). Análisis y diseño de experimentos. En *Turkish Journal of Medical Sciences* (Vol. 46, Número 5). <https://doi.org/10.3906/sag-1507-147>
- Hernández-Acosta, E., Quiñones-Aguilar, E. E., Cristóbal-Acevedo, D., & Rubiños-Panta, J. E. (2014). Calidad biológica de aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros en tulancingo, Hidalgo, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(1), 89–100. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.03.024>
- Izquierdo, J. J. (2018). Contaminación De Los Suelos Agrícolas Provocados Por El Uso De Los Agroquímicos En La Parroquia San Joaquín. *Universidad Politecnica Salesiana*, 67. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14712/1/UPS-CT007228.pdf>
- Kuehl, R. (2001). Diseño de experimentos, principios estadísticos de diseño y análisis de investigación. En *Technometrics* (Vol. 43, Número 2). <https://doi.org/10.1198/tech.2001.s589>
- Larios, J. F., González, C., & Morales, Y. (2015). Aguas residuales y sus Consecuencias en el Desarrollo y la producción. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2, 9–25. <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Mejía, D. (2016). *Contaminantes microbiológicos y metales pesados en cultivo de maíz forrajero (Zea mays L.) irrigado con aguas tratadas*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Méndez, T., Rodríguez, L., & Palacios, S. (2000). Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. *Terra Latinoamericana*, 18(4), 277–288.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2010). Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *El Peruano*, 415675–415676.
- Murcia-Sarmiento, M. L., Calderón-Montoya, O. G., & Díaz-Ortiz, J. E. (2014). Impacto de aguas grises en propiedades físicas del suelo. *Tecnológicas*, 17(32), 57. <https://doi.org/10.22430/22565337.204>
- Rascón, E., Peña, E., López, R., Cantú, M., & Narro, E. (2008). Impacto En Algunas Propiedades Físicas Del Suelo Por Aplicación De Aguas Residuales. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 69–74.