

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA



INSTITUTO DE INGENIERÍA
Universidad Autónoma de Baja California
EXCELENCIA E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA

Maestría y Doctorado en Ciencia e Ingeniería

TESIS

Para obtener el grado de

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

Título:

“Evaluación bacteriológica de grano y paja de trigo regados con agua residual tratada en el Valle de Mexicali, Baja California. Ciclo agrícola 2021-2022”

Presenta:

Brisa Alvarez Valdez

DIRECTOR DE TESIS: DR. JAIME ALONSO REYES LÓPEZ

CODIRECTORA: M.I. LUZ ESTELA SALAZAR ESCALANTE

Mexicali, Baja California, enero de 2024

CONTENIDO

| | | | |
|-------|---|---------------------|----|
| 1 | CAPÍTULO 1 | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 | Antecedentes..... | | 2 |
| 1.2 | Planteamiento del problema..... | | 3 |
| 1.3 | Justificación del estudio | | 4 |
| 1.4 | Objetivo general | | 5 |
| 1.4.1 | Objetivos específicos: | | 5 |
| 2 | CAPÍTULO 2 | MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1 | Importancia del reuso del ART | | 6 |
| 2.2 | El reuso del ART en la agricultura..... | | 6 |
| 2.3 | Beneficios del reuso de ART en la agricultura | | 7 |
| 2.4 | Impactos del reuso del ART en la agricultura..... | | 7 |
| 2.5 | El marco normativo del reuso del ART y los criterios de calidad | | 10 |
| 2.5.1 | Estándares de calidad de agua y LMP de contaminantes en ART en México 11 | | |
| 2.5.2 | Patógenos presentes en agua y en alimentos..... | | 12 |
| 2.6 | Casos de patógenos en trigo y productos de harina de trigo | | 14 |
| 2.7 | TRIGO | | 15 |
| 2.8 | Mexicali gran productor de trigo..... | | 16 |
| 3 | CAPÍTULO 2 | METODOLOGÍA | 18 |
| 3.1 | Localización de sitio de estudio..... | | 18 |
| 3.2 | Plan de muestreo de agua, suelo y cultivos de trigo..... | | 20 |
| 3.2.1 | Muestreo de ART y ARC..... | | 22 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.3 | Medición de parámetros físicos y químicos en agua de riego | 25 |
| 3.4 | MUESTREO DE SUELO | 26 |
| 3.5 | ANÁLISIS DE PARÁMETROS MEDIDOS EN AGUA SUELO Y CULTIVOS | 30 |
| 3.6 | ANÁLISIS DE PARÁMETROS MEDIDOS EN AGUA..... | 32 |
| 3.1 | ANÁLISIS DE PARÁMETROS MEDIDOS EN SUELO | 32 |
| 3.1.1 | PROCEDIMIENTO: Muestras de agua | 33 |
| 3.1.1.1 | CT y CF por el método número más probable (NMP) | 33 |
| 3.1.1.2 | E. coli por el método de NMP..... | 36 |
| 3.1.1.3 | Salmonella | 37 |
| 3.1.1.4 | Nitritos..... | 39 |
| 3.1.1.5 | Nitratos..... | 40 |
| 3.1.1.6 | OD..... | 41 |
| 3.1.1.7 | pH..... | 41 |
| 3.1.1.8 | CE | 42 |
| 3.1.1.9 | PRETRATAMIENTO EN MUESTRAS DE GRANO Y PAJA DE TRIGO..... | 43 |
| 3.1.1.10 | Análisis de Coliformes y E. coli por el método de Placa 3M™ Petrifilm™ 46 | |
| 3.1.1.11 | Salmonella | 52 |
| 3.1.1.12 | MESOFILOS AEROBIOS..... | 61 |
| 3.1.2 | ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS EN SUELOS | 63 |
| 3.1.2.1 | CF | 63 |
| 3.1.3 | ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS | 66 |
| 3.1.3.1 | Determinación del contenido de humedad del suelo por gravimetría.... | 66 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.1.3.2 | Extracto de saturación..... | 71 |
| 4 | CAPÍTULO RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 75 |
| 4.1 | Resultados físicos, químicos y bacteriológicos en ARC y ART. | 75 |
| 4.1.1 | pH en ARC y ART..... | 75 |
| 4.1.2 | CE en ARC y ART..... | 76 |
| 4.1.3 | OD en ARC y ART..... | 77 |
| 4.1.4 | Nitritos y nitratos en ARC y ART..... | 78 |
| 4.1.5 | Resultados bacteriológicos en ARC y ART..... | 80 |
| 4.2 | Resultados físicos y químicos en suelos con cultivo de trigo..... | 81 |
| 4.2.1 | pH en suelos de parcelas regadas con ART y ARC..... | 81 |
| 4.2.2 | CE en suelos de parcelas regadas con ART y ARC..... | 82 |
| 4.2.3 | Humedad en suelos de parcelas regadas con ART y ARC..... | 84 |
| 4.2.4 | Textura de suelos regados con ARC y ART..... | 87 |
| 4.2.5 | Resultado bacteriológico en suelos (CF)..... | 87 |
| 4.3 | Resultados bacteriológicos en grano y paja de trigo..... | 89 |
| 4.3.1 | CT y CF en grano de trigo..... | 89 |
| 4.3.2 | CT y CF en paja de trigo..... | 92 |
| 4.3.3 | Mesófilos aerobios en grano y paja de trigo regados con ART y ARC..... | 93 |
| 5 | CAPÍTULO CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 96 |
| 6 | CAPÍTULO REFERENCIAS..... | 98 |
| 7 | Anexo A. Tablas de resultados..... | 115 |
| 7.1 | Resultados físicos, químicos y bacteriológicos de ART y ARC..... | 115 |
| 7.2 | Resultados físicos, químicos y bacteriológicos en suelos..... | 117 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 7.2.1 | pH en suelos ART y ARC..... | 117 |
| 7.2.2 | Conductividad eléctrica en suelos ART y ARC. | 118 |
| 7.2.3 | Humedad en suelos ART y ARC..... | 118 |
| 7.2.4 | Textura en suelos ART y ARC..... | 120 |
| 7.2.5 | CF en en suelos ART y ARC. | 122 |
| 7.2.6 | CT en granos de trigo regados con ART y ARC. | 123 |
| 7.2.7 | CT en paja de trigo regados con ART y ARC. | 124 |
| 7.2.8 | Mesófilos aerobios en grano y paja de trigo regados con ART y ARC..... | 125 |
| 8 | Anexo B. Análisis estadísticos..... | 126 |
| 8.1.1 | pH en ARC y ART..... | 126 |
| 8.1.2 | C.E. en ARC y ART | 127 |
| 8.1.3 | OD en ARC y ART | 128 |
| 8.1.4 | Nitritos y Nitratos en ARC y ART..... | 129 |
| 8.1.5 | CF en ART y ART..... | 131 |
| 8.1.6 | pH en suelos regados con ART y ARC..... | 132 |
| 8.1.7 | Conductividad eléctrica en suelos regados con ART y ARC..... | 133 |
| 8.1.8 | Humedad en suelos regados con ART y ARC..... | 134 |
| 8.1.9 | CF en suelos regados con ART y ARC..... | 135 |
| 8.1.10 | CT en grano de trigo regado con ART y ARC..... | 136 |
| 8.1.11 | Mesófilos aerobios en grano y paja de tigo regado con ART yARC..... | 137 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2.1. Ilustraciones esquemáticas de temas para la revisión y estructura: (a). Impactos ambientales asociados con el riego con aguas residuales tratadas; (b). Riesgo para la salud pública derivado del uso de aguas residuales tratadas para el riego de cultivos; (c). Impactos económicos del riego con aguas residuales tratadas. Modificada de Ofori et al., 2021. | 9 |
| Figura 2.2. Organismos, microorganismos y enfermedades asociados al riego de aguas residuales. Modificada de Rahman et al., 2018. | 10 |
| Figura 3.1. Localización del municipio de Mexicali, Baja California. | 18 |
| Figura 3.2. Localización de sitio de estudio. Parcelas de estudio, módulo 12. | 19 |
| Figura 3.3. Localización de las parcelas de estudio. | 20 |
| Figura 3.4. Sitio de muestreo de ART en parcela 2 con cultivo de trigo | 22 |
| Figura 3.5. Canal de ARC para riego de Parcela 50 con cultivo de trigo. | 23 |
| Figura 3.6. Sitio de muestreo de ARC a la entrada de la parcela 50 con cultivo de trigo. | 23 |
| Figura 3.7. Muestras de agua en bolsas de 100 mL estériles. | 24 |
| Figura 3.8. Muestreo de agua en botella Winkler para análisis de OD. | 24 |
| Figura 3.9. Muestras de agua en botellas Winkler. Figura 3.10. Conservación de muestras. | 25 |
| Figura 3.11. Medición de parámetros fisicoquímicos en ART. | 26 |
| Figura 3.12. Toma de muestras de suelo en parcela 50 antes de siembra de trigo. | 28 |
| Figura 3.13. Conservación de muestras de suelo. | 28 |
| Figura 3.16. Tubos con medio CLT estéril para inoculación de muestras. | 34 |
| Figura 3.17. Resiembra en medio agua peptonada, caldo Bilis Verde Brillante y medio EC. | 34 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.18. Resiembra por triple asada..... | 35 |
| Figura 3.19. Fermentación de lactosa en medio EC. | 35 |
| Figura 3.20. Reactivo de Ehrlich modificado de Kovak. | 36 |
| Figura 3.21. Muestra positiva de E. coli. | 36 |
| Figura 3.22. Partes que componen la prueba 1,2 test. | 37 |
| Figura 3.23. Prueba 1,2 test, anticuerpo y solución Iodo-Ioduro..... | 37 |
| Figura 3.24. Prueba 1,2 test siendo inoculada con 0.1mL de muestra. | 38 |
| Figura 3.25. Prueba agregándole una gota del reactivo no.2 (anticuerpos)..... | 38 |
| Figura 3.26. Muestras de agua de riego inoculadas en pruebas 1,2 test..... | 39 |
| Figura 3.27. Muestras de ARC y ART detectados con nitritos..... | 40 |
| Figura 3.28. Lectura de nitritos en equipo. | 40 |
| Figura 3.29 Lectura de OD en equipo YSI 58 en laboratorio. | 41 |
| Figura 3.30. Potenciómetro Orion Star A111. | 42 |
| Figura 3.31. Conductímetro Orion 3 Star. | 43 |
| Figura 3.32. . Placas petrifilm EC 3M inoculadas con muestras de paja de trigo..... | 49 |
| Figura 3.33. Resultado negativo para coliformes y E.coli..... | 50 |
| Figura 3.34. Conteo de E. coli y coliformes en placa 3M Petrifilm EC. Obtenida de: Instrucciones del producto Placa 3M™ Petrifilm™ para el recuento de E. coli y coliformes. | 51 |
| Figura 3.35. Ejemplos de burbujas asociadas a una colonia de coliformes y E. coli. Obtenida de: Instrucciones del producto Placa 3M™ Petrifilm™ para el recuento de E. coli y coliformes. | 51 |
| Figura 3.36. Paquete de placas petrifilm Salx para análisis de Salmonella Express..... | 52 |
| Figura 3.37. Preparación de base enriquecida 3M Salmonella | 53 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.38. Suplemento de Salmonella SESUP001..... | 53 |
| Figura 3.39. Medio de cultivo “base enriquecida 3M Salmonella” sin suplemento (frasco izquierdo) y base enriquecida 3M Salmonella con suplemento para Salmonella SESUP001. | 54 |
| Figura 3.40. Placa 3M Petrifilm SALX sobre una superficie plana..... | 56 |
| Figura 3.41. Distribución del diluyente en placa 3M petrifilm SALX express..... | 57 |
| Figura 3.42. Inoculación de muestra del medio R-V R10 a placas 3M SALX express hidratadas..... | 58 |
| Figura 3.43 Patrón de rayado en la Placa 3M Petrifilm SALX..... | 58 |
| Figura 3.44. Ejemplo de estriado..... | 59 |
| Figura 3.45. Colonias presuntamente positivas de especies de Salmonella. Muestra sembrada como control (+). | 60 |
| Figura 3.46. Placas sin organismos de Salmonella. | 61 |
| Figura 3.47. Hidratación de placa de mesófilos aerobios petrifilm 3M con 1mL de muestra. | 62 |
| Figura 3.48. Placa difusora 3M en placa para mesófilos aerobios..... | 62 |
| Figura 3.49. Triangulo de texturas..... | 71 |
| Figura 4.1. pH en muestras de ARC y ART para riego de trigo en ciclo 2021-2022..... | 76 |
| Figura 4.2. C.E. en muestras de ARC y ART para riego de trigo en ciclo 2021-2022..... | 77 |
| Figura 4.3. OD en muestras de ARC y ART para riego de trigo en ciclo 2021-2022..... | 78 |
| Figura 4.4. Nitritos en muestras de ARC y ART para riego de trigo en ciclo 2021-2022..... | 79 |
| Figura 4.5. Nitratos en muestras de ARC y ART para riego de trigo en ciclo 2021-2022..... | 79 |
| Figura 4.6. Coliformes Fecales (CF) en muestras de ARC y ART para riego de trigo en ciclo 2021-2022..... | 81 |
| Figura 4.7. pH en muestras de suelos regados con ARC y ART. Ciclo agrícola 2021-2022... | 82 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.8. CE en muestras de suelos regados con ARC y ART. Ciclo agrícola 2021-2022. .. | 84 |
| Figura 4.9. Humedad en muestras de suelos regados con ARC y ART, antes de la siembra. Ciclo agrícola 2021-2022. | 86 |
| Figura 4.10. Humedad en muestras de suelos regados con ARC y ART, antes de la cosecha. Ciclo agrícola 2021-2022. | 86 |
| Figura 4.11. CF en muestras de suelos regados con ARC y ART, antes de la cosecha. Ciclo agrícola 2021-2022. | 88 |
| Figura 4.12. CF en muestras de suelos regados con ARC y ART, después de la cosecha. Ciclo agrícola 2021-2022. | 89 |
| Figura 4.13. CT en paja de trigo regado con ART y ARC. Campaña agrícola 2021-2022. | 92 |
| Figura 4.14. Mesófilos aerobios en grano de trigo regados con ART Y ARC. Campaña agrícola 2021-2022. | 94 |
| Figura 4.15. Mesófilos aerobios en paja de trigo regados con ART Y ARC. Campaña agrícola 2021-2022. | 95 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1. Tabla Directrices de la OMS (1989), sobre calidad microbiológica de aguas residuales para uso en la agricultura..... | 11 |
| Tabla 2.2. Brotes de enfermedades transmitidas por alimentos en harina y productos alimenticios a base de harina debido a patógenos microbianos en los Estados Unidos y su carga económica para la salud. | 14 |
| Tabla 3.1. Superficie, cultivo, ciclo agrícola y coordenadas de las parcelas de estudio | 20 |
| Tabla 3.2. Número de muestras y normas de muestreo para agua, suelo y cultivos | 21 |
| Tabla 3.3. Material para toma de muestras y equipo para mediciones en campo. | 21 |
| Tabla 3.4. Número de muestras de suelo por parcela y tiempo de muestreo | 26 |
| Tabla 3.5. Equipo y material para el Análisis fisicoquímico en agua, y suelo | 30 |
| Tabla 3.6. Material, reactivos y equipo para el análisis bacteriológico de agua, cultivos y suelo | 31 |
| Tabla 3.7. Metodología de análisis de los parámetros analizados en agua. | 32 |
| Tabla 3.8. Metodología y técnicas de análisis de parámetros analizados en suelo. | 33 |
| Tabla 3.9. . Equipo para el análisis fisicoquímico en agua | 39 |
| Tabla 3.10. Material y equipo para el pretratamiento de trigo y bermuda y suelo | 43 |
| Tabla 4.1. CT y CF en grano de trigo regado con ARC y ART (ciclo 2021-2022). | 90 |
| Tabla 4.2. Resultados bacteriológicos en grano de trigo. Tomado de Alvarez et al. (2023). | 91 |
| Tabla 4.4. Resultados bacteriológicos en paja (heno) de trigo. Tomada de Alvarez et al. (2023). | 93 |

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Jaime Alonso Reyes López y a mi codirectora, M.I. Luz Estela Salazar Escalante. Su experiencia, comprensión y paciencia contribuyeron a mi experiencia en el complejo y gratificante camino de la investigación y desarrollo como persona. Su guía constante y su fe inquebrantable en mis habilidades me han motivado a alcanzar alturas que nunca imaginé. No tengo palabras para expresar mi gratitud por su inmenso apoyo durante este viaje.

Me gustaría agradecer a la Universidad Autónoma de Baja California por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de avanzar en mi carrera profesional. Agradezco especialmente al Instituto de Ingeniería de la UABC y a mis maestros por su constante apoyo. Su fe en mis habilidades y su disposición para ayudarme han sido fundamentales para la finalización de esta tesis.

Asimismo, quisiera expresar mi gratitud a todas las personas que contribuyeron con el desarrollo de mi investigación y crecimiento personal. Agradezco a todos los estudiantes del programa de servicio profesional, Jamie Pimentel, María Ríos, Carlos Magallanes, Alondra González, Gabriel, Iris, Anel, Brian, Andrea, Valeria, Alicia, Vianey y Miguel que me apoyaron a recopilar datos y realizar trabajo de laboratorio. Al agricultor Juan Cortez por su disposición a cooperar con este proyecto permitiéndonos utilizar como sitio de estudio sus parcelas y facilitar información. A la Dra. Eliana Rodríguez por su apoyo como encargada del Laboratorio de Recursos Hídricos. A Raúl Huerta, mi compañero de maestría por su apoyo incondicional. A Frida Cital y Deus Hernández por ser parte de mi proceso como estudiante de maestría. A Alondra Pérez por ser parte en el desarrollo del proyecto. A Victor Leal por ser mi apoyo en esos momentos difíciles. También a aquellos que dedicaron su tiempo a revisar mi trabajo. Los comentarios de mejora, las sugerencias de bibliografía, propuestas y análisis ya que son la base de estas páginas. Esta tesis no sería la que es sin sus recomendaciones.

Un sincero agradecimiento a todos mis amigos y compañeros que estuvieron conmigo en los momentos de estrés y alegría durante este largo y retador camino. Su apoyo, confianza, soporte y cariño han sido invaluable. Cada uno de ustedes ha contribuido a mi fortaleza y ánimo de una manera u otra. Gracias por ser mi punto de apoyo, mi equipo de aliento y, lo más importante, la familia que yo elegí.

Y a Dios que me ha cuidado dándome salud y las fuerzas necesarias para desarrollar y terminar este proyecto y nunca dejarme caer.

RESUMEN

El reuso del agua residual tratada (ART) en la agricultura es una realidad en diferentes partes del mundo, también lo es desde el 2010 en el Módulo 12 del Distrito de Riego 014 del Río Colorado en el Valle de Mexicali, B.C., pues 20 parcelas son regadas con el agua proveniente de la PTAR “Las Arenitas”. En un estudio previo de Salazar, (2021) obtuvo como resultado *Escherichia coli* (*E. coli*) presuntiva en alfalfa de una de las parcelas de ese Módulo, pero debido a las medidas restrictivas de la pandemia por COVID 19 no fue posible realizar pruebas confirmativas, más muestreos ni análisis de laboratorio en alfalfa y trigo. Es por ello que en el presente estudio se fijó como objetivo hacer una evaluación bacteriológica más completa que comprende coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y *E. coli* por la técnica de número más probable (NMP), mesófilos aerobios por cuenta bacteriana en placa (CBP) y *Salmonella* por detección cualitativa en medio selectivo diferencial en el trigo y zacate bermuda sembrados en el ciclo agrícola 2021-2022. Pero no se obtuvo cosecha de bermuda regada con ART así que, sólo se presentan los resultados de grano, paja de trigo, agua de riego y suelo de las parcelas; una regada con agua residual tratada (ART) y otra con agua del Río Colorado que sirvió de referencia. Para el tratamiento y análisis de muestras se utilizaron métodos oficiales. Los resultados de *E. coli* y *Salmonella* Spp. se validaron con sus respectivas pruebas de cepas como controles positivos. Se encontró que, en trigo molido, los CF y *E. coli* resultaron < 3 NMP/g, *Salmonella* ausente y los CT y mesófilos aerobios no superaron los límites de la norma NOM-247-SSA1-2008, con lo cual se puede afirmar que el trigo (grano) de este estudio regado con ART es inocuo para el consumo humano y el grano y la paja lo es para el ganado de acuerdo a las normas de la *Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal* (FEDNA).

“Con el crecimiento demográfico y el desarrollo social y económico, la escasez de agua se está convirtiendo en un problema grave en todo el mundo. Como recurso hídrico alternativo clave, las aguas residuales se pueden utilizar en la agricultura para compensar la escasez de agua” (Zhang & Shen, 2019). La reutilización de aguas residuales se ha practicado y es cada vez más reconocida, especialmente en las regiones más secas del mundo. Pues generalmente ofrece beneficios económicos y ambientales (Yahaya et al., 2023), pero se debe considerar que los cultivos se pueden contaminar con patógenos a lo largo de la cadena de producción que pueden provocar enfermedades o brotes transmitidos por esos alimentos con la consecuencia de pérdidas económicas, aumento de los costos de atención médica, pérdida de productividad, reducción de la calidad de vida y mortalidad (Focker & Fels-Klerx, 2020). Entre los alimentos que necesitan atención es el trigo que es uno de los mayores problemas de seguridad alimentaria de la harina y sus productos (Chen et al., 2020). Comentan Magallanes & Simsek (2020) que en las últimas dos décadas, se han realizado varios estudios sobre la calidad microbiana del trigo por la posibilidad que contenga patógenos peligrosos como los estudios de: Berghofer et al., 2003; Manthey et al., 2004; Laca et al., 2006; Sperber et al., 2007; Eglezos, 2010; Sabillón et al., 2016 ; Myoda et al., 2019; entre otros. Entre los casos que enumeran Harris & Yada, (2019), mencionan uno donde detectaron *E. coli* O121 y *E. coli* O26 en harina de trigo en 24 estados de los EE. UU., durante 2015 y 2016. En el 2018 en 5 y 36 estados de ese mismo país, respectivamente encontraron *Salmonella* en una mezcla de harina para pastel y en cereal de trigo inflado. “También es importante considerar la microbiología de los alimentos del ganado pues repercute en su salud y en la diseminación de bacterias a través de las poblaciones animales. Los agentes zoonóticos que pueden ser bacterias, virus y parásitos que albergan el ganado pueden entrar en la cadena alimentaria humana y, en consecuencia, causar enfermedades humanas” (Vlachou et al., 2004). Es por ello que en el presente trabajo se evaluaron las concentraciones de coliformes totales (CT),

coliformes fecales (CF), mesófilos aerobios, *E. coli*, *Salmonella* en el grano de trigo que es para consumo humano y el tallo de trigo y el para alimento de ganado que son regados con el efluente de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), "Las Arenitas". Las parcelas agrícolas del estudio pertenecen al Módulo de riego no. 12, en la Col. La Puerta, Mexicali, Baja California, México.

1.1 Antecedentes

El rápido crecimiento demográfico generará que se intensifiquen las actividades agrícolas que actualmente utilizan la mayor parte de las extracciones mundiales de agua dulce (Lahlou et al., 2021). Este problema es más extremo en los países en desarrollo porque utilizan más del 80% de su agua dulce para riego (Mojid et al., 2012). Una alternativa potente para hacer frente a los recursos limitados de agua dulce es la reutilización de aguas residuales (Jaramillo y Restrepo, 2017, Zhang y Shen, 2019). La reutilización de aguas residuales tratadas es un enfoque excelente para abordar el problema de la escasez de agua y está atrayendo la atención mundial (Contreras et al., 2017; Huertas et al., 2008). Cuenta con tasas de aceptación relativamente altas entre las poblaciones, especialmente para cultivos forrajeros (Jaramillo y Restrepo, 2017). Estas aguas residuales están compuestas por un 99.9% de agua junto con pequeñas concentraciones de sólidos orgánicos e inorgánicos suspendidos y disueltos. Generalmente contiene carbohidratos, lignina, grasas, jabones, detergentes sintéticos, proteínas y productos de su descomposición. También puede incluir un amplio espectro de contaminantes, como macro y micronutrientes para plantas, sales e iones específicos, y sustancias inorgánicas, incluidos varios elementos tóxicos como los metales pesados (Mojid et al., 2012). Además, contiene cantidades relativamente elevadas de nutrientes que pueden sustituir parte de los requerimientos de fertilización (Jaramillo y Restrepo, 2017). Sin embargo, también contiene patógenos potencialmente dañinos, bacterias resistentes a los antibióticos y sustancias químicas tóxicas o biológicamente perjudiciales que pueden afectar negativamente a la salud humana si no se controlan adecuadamente (Contreras et al., 2017).

Si bien es cierto que los productos frescos siguen siendo la principal fuente de brotes de enfermedades transmitidas por los alimentos, especialmente en los países en desarrollo Mahami et al., (2023), también actualmente hay más conciencia sobre la calidad microbiana del trigo debido a las enfermedades transmitidas por los alimentos y los brotes asociados con la harina de trigo contaminada (Simsek, 2020). También hay evidencia de estudios recientes del análisis de la calidad bacteriana en trigo, que indican que la frecuencia y el nivel de contaminación de la harina de trigo pueden ser mucho más alto de la que se creía anteriormente (Made et al., 2017).

Como los granos se pueden contaminar con microorganismos en las etapas del crecimiento, la cosecha, el transporte y el almacenamiento (Li, Li, Luo y Yoshizawa, 2002). Chen y colaboradores (2020) comentan que, al moler el trigo, resulta una harina con una gran cantidad de microorganismos vivos y que pueden permanecer en estado latente durante un largo tiempo, debido a que tiene una baja actividad de agua según Eglezos, 2010; Rose, Bianchini, Martinez, & Flores, 2012. Sin embargo, cuando se le agrega agua para prepararlo como alimento, los microorganismos proliferarán inmediatamente y ocasionan la degeneración de los productos finales (Li et al., 2013).

1.2 Planteamiento del problema

La agricultura es el sector que consume entre el 70% y en algunos lugares hasta el 90% de las extracciones procedentes de ríos, lagos y acuíferos (UNESCO, 2017), y se prevé un aumento adicional del 15% para 2030 (FAO, 2017, Gomiero et al., 2008). También es el sector que más emplea las aguas residuales (Scheierling, et al., 2011; Bichai, et al., 2012; entre otros). La reutilización de aguas residuales es el requisito más crucial a nivel mundial, dada la actual situación de escasez de agua (Mishra et al., 2023). El cultivo intensivo de hortalizas y la escasez de agua potable para riego han dado lugar a un mayor uso de aguas residuales para riego en todo el mundo, especialmente en los países en desarrollo. (Yahaya et al., 2023). En este punto, la reutilización de aguas residuales en la agricultura ha sido una opción viable, ya que los cultivos regados con aguas residuales

producen más del 10% del consumo mundial de alimentos (Singh, 2021). Tomando en cuenta que más del 33% de las tierras de cultivo en el mundo son para el cultivo de forraje para animales (Waitrose and Partners, 2018). Es importante considerar que el riego de los alimentos para el ganado con aguas residuales no sólo contribuye a la reducción de las necesidades de fertilización, sino también a la descarga de nutrientes al medio ambiente (Lahlou et al., 2021). La investigación de campo realizada por Mussarat et al. (2021) informó que la reutilización de aguas residuales puede ahorrar eficientemente hasta un 50% y un 94% de los aportes de fertilizantes en comparación con los recursos de agua dulce en los cultivos de trigo y alfalfa, respectivamente (Yahaya et al., 2023).

1.3 Justificación del estudio

En los países en desarrollo, el sector agrícola es un sector económico importante, ya que contribuye significativamente a los ingresos nacionales y al crecimiento económico. El cual se puede ver limitado por la escasez de agua (Ríos et al., 2016). La reutilización de aguas residuales es el requisito más crucial a nivel mundial, dada la actual situación de escasez de agua (Mishra et al., 2023).

En México, el Distrito de Riego 014, Río Colorado, ubicado en la planicie costera aluvial correspondiente a la parte terminal de la cuenca baja del Río Colorado, abarca los valles agrícolas de Mexicali, Baja California y San Luis Río Colorado, Sonora (Cortez, 2000), el principal usuario del agua es el sector agrícola, con 80% del volumen disponible. Este distrito está integrado por 211,625 ha, de las cuales 181,318 ha corresponden al Valle de Mexicali, la zona de mayor producción de trigo a nivel nacional (Ríos et al., 2016). En el Módulo 12 de ese Distrito, debido al daño en la infraestructura hidroagrícola ocasionado por temblor el 4 de abril de 2010 se empezó el riego de cultivos con ART proveniente de la PTAR Arenitas, para no perder las cosechas por falta de agua. Salazar, (2021) realizó una evaluación de la calidad bacteriológica de trigo y alfalfa de los ciclos 2018-2019 y 2019-2020 respectivamente, pero debido a la pandemia algunos resultados no fueron concluyentes, es por ello que se amplió la evaluación bacteriológica en trigo y en paja de trigo usado como forraje regados con el efluente de la PATR “Las Arenitas” durante el

ciclo agrícola 2021-2022, para conocer si los productos regados con ART son inocuos para el consumo humano y aceptables para consumo de ganado de acuerdo a la normatividad internacional. Además, que se han incrementado brotes de enfermedades por alimentos, y últimamente la harina de trigo cruda o un producto a base de harina estuvo implicado como vehículo sospechoso o confirmado en laboratorios que la *E. coli* y *Salmonella* presentes en la harina han causado enfermedades.

1.4 Objetivo general

Evaluar la calidad bacteriológica del trigo regado con ART en una parcela del Módulo 12 Distrito de Riego 014 del Valle de Mexicali, B.C., durante el ciclo agrícola 2021-2022.

1.4.1 Objetivos específicos:

- Determinar las concentraciones de CT, CF, *E. Coli* y *Salmonella* en el ART y en el ARC utilizadas para el riego agrícola de trigo cultivado en parcelas del Módulo 12.
- Realizar la caracterización física y química del ART y ARC utilizadas para riego del trigo cultivado en parcelas del Módulo 12.
- Determinar la concentración de CT, CF, *E. Coli*, mesófilos aerobios y *Salmonella* en grano de trigo regado con ART y en trigo regado con ARC, cultivados en parcelas del Módulo 12.
- Determinar la concentración de CT, CF, *E. Coli* y *Salmonella* en paja de trigo regada con ART y en trigo regado con ARC, cultivados en parcelas del Módulo 12.

2.1 Importancia del reuso del ART

El reuso de las aguas residuales urbanas es de suma importancia en el manejo de los recursos hídricos. Y al mismo tiempo se pueden beneficiar agricultores, ciudades y sistemas ambientales naturales, se convertiría en parte de la solución de los urgentes problemas de alimentos, agua limpia, eliminación segura de desechos y protección de ecosistemas acuáticos vitales, mundialmente, mencionado por Winpenny y colaboradores en el informe del 2013 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés).

2.2 El reuso del ART en la agricultura

La escasez de agua dulce se ha convertido en un problema creciente a nivel mundial (Norton et al., 2013), ocasionando un incremento en la competencia por el agua entre los sectores agrícolas, domésticos, industriales, comerciales y ambientales, lo que promueve una presión sobre los recursos hídricos en muchas regiones del mundo (Ríos et al., 2016). En zonas áridas con una disponibilidad hídrica menor a $1050 \text{ m}^3/(\text{hab-año})$ (50% del promedio mundial) según informa el Ministerio de Obras Públicas (MOP), de Chile 2013, el conflicto por acceso a fuentes de agua dulce es creciente. Es por esto que se hace necesario tener fuentes alternativas (Vera et al., 2016). Entre las diferentes alternativas, la reutilización de ART representa una excelente fuente utilizada en zonas áridas, como en Israel, donde más del 60% de las aguas residuales municipales son reutilizadas informa la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés), (2012).

El uso de ART se está expandiendo a nivel mundial para el riego de cultivos a causa del aumento de la escasez de agua dulce (Zolti et al., 2019). Tal es el caso de México, aunque falta camino por recorrer para que las aguas residuales generadas se traten en su

totalidad para potenciar su reuso (Cisneros y Saucedo, 2016), hay varios estados en el que se practica el reuso y algunas zonas que destacan como el Valle del Mezquital del estado de Hidalgo que ocupa el segundo sitio por superficie regada con aguas residuales para agricultura a nivel mundial (Cisneros y Saucedo, 2016). El registro más antiguo de la superficie con reuso en el Valle del Mezquital data de 1920. Los primeros cultivos regados con estas aguas fueron maíz forrajero y maíz para grano, así como alfalfa, cebada y avena en 10 000 hectáreas. En el 2012 el registro oficial fue de 90 211 hectáreas (Cisneros y Saucedo, 2016).

2.3 Beneficios del reuso de ART en la agricultura

Los beneficios del reuso del agua en la agricultura son muy variados desde ambientales y económicos, los más destacados son:

- Libera agua dulce para otros usos.
- Evita la sobreexplotación de acuíferos (CONAGUA, 2010).
- Ahorro en el costo del fertilizante debido al contenido de nutrientes (materia orgánica, nitrógeno y fósforo) de las aguas residuales (Winpenny et al., 2013).
- Mayor productividad agrícola en cultivos regados con ART que con agua de pozo con fertilizante químicos (Moscoso, 2016).
- Puede ocasionar un incremento en la diversidad genética, funcional y metabólica de comunidades bacterianas en el suelo (Becerra-Castro et al. 2015 y Sofo et al., 2010).

2.4 Impactos del reuso del ART en la agricultura

El uso del ART trae beneficios, pero también impactos al medio ambiente, a la salud pública y económica (ver Figura 2.1). Los impactos dependen de un factor muy importante que es la calidad fisicoquímica y microbiológica del efluente, si recibió un buen tratamiento el impacto será menor. Otros factores que influyen son la tasa y frecuencia del riego, así como las propiedades del suelo y las condiciones climáticas (Ofori et al., 2021).

Las ART contiene nutrientes valiosos como el nitrógeno, potasio, fósforo, zinc, hierro, manganeso y cobre debido a su composición (Qadir y Scott, 2010). Que son beneficios para el suelo y las plantas, pero si el contenido de salinidad es alto y se pasa al suelo y se acumula de tal manera que el suelo se puede considerar una gran amenaza para la seguridad alimentaria (Karan y Subudhi, 2012). Pues la alta salinidad del suelo reduce la productividad agrícola al provocar un déficit en la absorción de agua de las plantas y alterar la fisiología y anatomía de las plantas (Ofori et al., 2021).

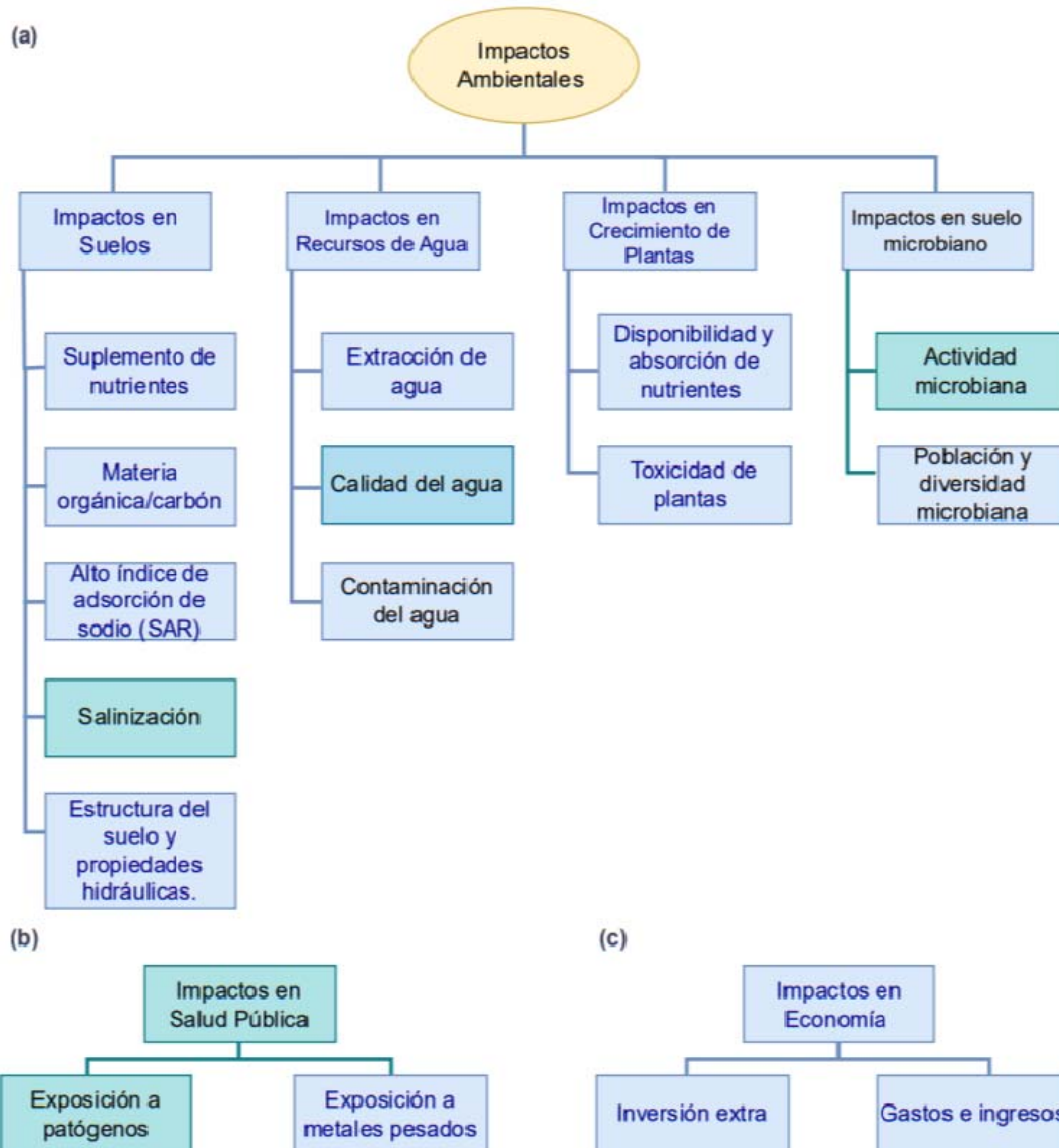


Figura 2.1. Ilustraciones esquemáticas de temas para la revisión y estructura: (a). Impactos ambientales asociados con el riego con aguas residuales tratadas; (b). Riesgo para la salud pública derivado del uso de aguas residuales tratadas para el riego de cultivos; (c). Impactos económicos del riego con aguas residuales tratadas. Modificada de Ofori et al., 2021.

Las ART pueden contener patógenos, contaminantes orgánicos o sustancias tóxicas (Yi et al., 2011), y pueden llegar a enfermar a las personas al tener contacto con el agua y a través del consumo de alimentos regados con el agua contaminada (Singh et al., 2012 ; Yi et al., 2011). En la Figura 2.2 se muestran los organismos y patógenos que pueden ser

transferidos a través del agua de riego a los cultivos, así como las enfermedades que pueden causar.

Las aguas residuales tratadas ciertamente tienen una gran perspectiva de ser una fuente de agua alternativa viable para riego, pero se deben adoptar barreras de prevención de riesgos para mitigar los impactos negativos (Ofori et al., 2021). Una de las barreras son las guías y directrices de la OMS y en México existen normas establecidas vigentes que se deben tomar en cuenta para el reuso adecuado del ART.

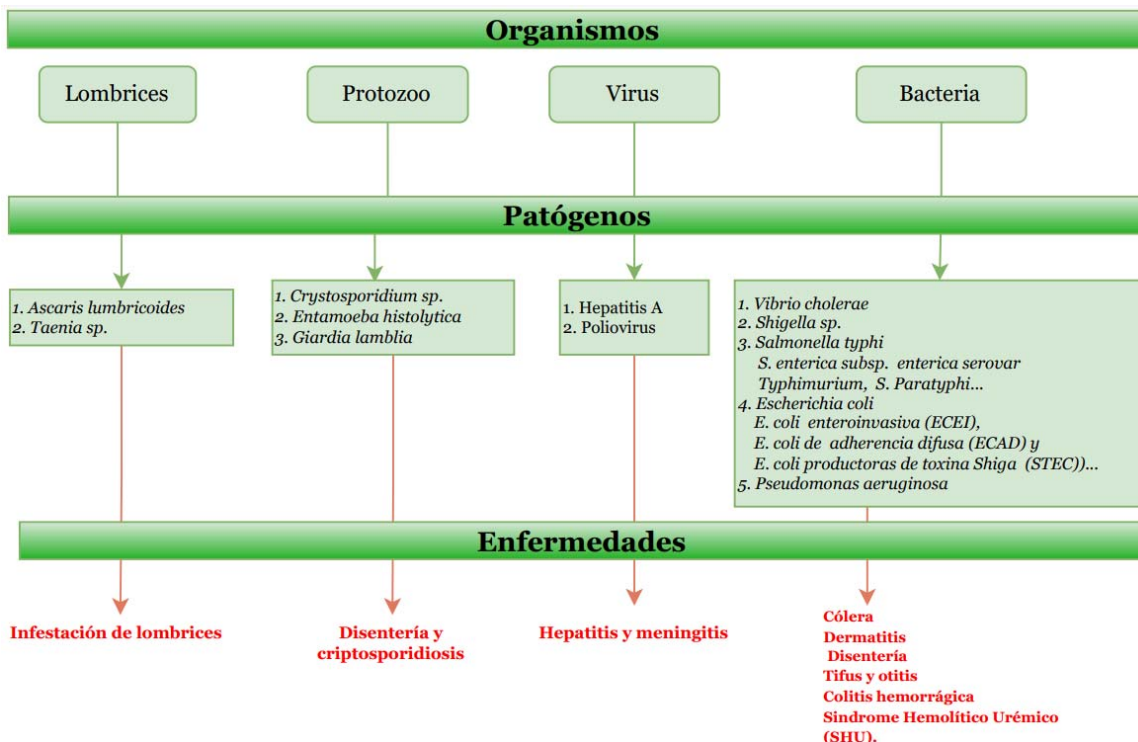


Figura 2.2. Organismos, microorganismos y enfermedades asociados al riego de aguas residuales. Modificada de Rahman et al., 2018.

2.5 El marco normativo del reuso del ART y los criterios de calidad

Para evitar riesgos a la salud pública por el uso de aguas residuales en la agricultura deben considerarse aspectos de calidad, principalmente en lo que se refiere a sus características microbiológicas (Metcalf y Eddy, 2003). Es por ello que establecieron guías y regulaciones.

Las principales guías que regulan el reuso son las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), sobre calidad microbiológica de aguas residuales para riego agrícola (Tabla

2.1) (Silva et al., 2008), en ella se destacan los límites máximos permisibles (LMP) de CF que son los indicadores de la presencia de patógenos (virus, bacterias, protozoos y helmintos) en las aguas residuales domésticas (OMS, 1989).

Tabla 2.1. Tabla Directrices de la OMS (1989), sobre calidad microbiológica de aguas residuales para uso en la agricultura

| Categoría | Condiciones de reutilización | Grupo expuesto ^b | Coliformes fecales |
|-----------|---|---|------------------------------|
| | | | (promedio geométrico/100 mL) |
| A | Irrigación de cultivos probablemente consumidos crudos. Campos deportivos, parques públicos. | Agricultores, consumidores, público. | $\leq 10^3$ |
| B | | Agricultores, pero no niños menores de 15 años, y comunidades cercanas. | $\leq 10^5$ |
| | Irrigación de cereales. Cultivos industriales, forrajes, pastos y árboles | Agricultores, pero no niños menores de 15 años, y comunidades cercanas. | $\leq 10^3$ |
| | | Agricultores, incluyendo niños menores de 15 años, y comunidades cercanas | $\leq 10^3$ |
| C | Irrigación localizada de cultivos en la categoría B, si no están expuestos los trabajadores y el público. | Ninguno | No aplicable |

Modificada de Blumenthal, et al., 2000 citado por Silva et al., 2008.

La Comisión Europea, (2020), en el Reglamento de la UE 2020/741 exige que todas las formas de aguas residuales tratadas o agua recuperada para riego se desinfecten antes de la aplicación al cultivo

2.5.1 Estándares de calidad de agua y LMP de contaminantes en ART en México

Existen normas oficiales vigentes en diferentes países donde se especifican los límites máximos de contaminantes para aguas residuales, ya sea para descarga, o reuso agrícola u otro tipo de reuso (Cisneros y Saucedo, 2016). En México la NOM-001-SEMARNAT-2021 (antes 1996), que establece LMP de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes de la nación. Los contaminantes medibles en el agua residual son fisicoquímicos, metales pesados y patógenos.

2.5.2 Patógenos presentes en agua y en alimentos

CT: Coliformes totales

Organismos aerobios o anaerobios facultativos capaces de crecer a 35 °C en un medio líquido de lactosa, con producción de ácido y gas en un período de 48 h definido en la NOM-042-SCFI-2015.

CF: Coliformes fecales o microorganismos termotolerantes

En la NOM-004-SEMARNAT-2002 se les define a los CF como:

“Bacterias patógenas presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. También conocidos como coliformes termotolerantes. Pueden identificarse por su tolerancia a temperaturas de 44-45°C. Tienen la capacidad de fermentar la lactosa a temperatura de 44.5°C. Incluyen al género *Escherichia* y algunas especies de *Klebsiella*”.

Los coliformes fecales, no son patógenos pero son indicadores de la presencia de ellos, que son causantes de disentería, fiebre tifoidea y gastroenteritis bacteriana (Oram, 2020), es por ello que es riesgoso para las personas expuestas a aguas residuales que contienen altos niveles de coliformes, o alimentos contaminados con esos patógenos.

E. coli

Según definición de la NOM-210-SSA1-2014:

“Microorganismo que está presente en el intestino del hombre y animales de sangre caliente, por lo que su presencia en una muestra de alimento no es deseable ya que indica la presencia de materia fecal. Este microorganismo es miembro de la familia *Enterobacteriaceae*) que incluye diferentes géneros de interés sanitario (*Salmonella*, *Shigella* y *Yersinia*, entre otras). La mayoría de los aislamientos de *E. coli* no son considerados como patógenos, aunque pueden

causar severas infecciones en personas inmunocomprometidas, en niños pequeños y ancianos. Ciertas cepas al ser ingeridas, pueden causar enfermedades gastrointestinales en individuos sanos. Se considera como un microorganismo común en intestino, pero existen cepas patógenas que afectan al ser humano como el serotipo O157:H7, ocasionando graves cuadros clínicos que pudieran ocasionar la muerte”.

Y la norma NMX-AA-SCFI-2015 la define como:

“Organismos como los CF, los cuales además producen indol a partir de triptófano en un lapso de 24 h a $44.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ”

La *E. coli* tiene el potencial de causar diarrea y enfermedades extraintestinales en humanos y ha sido responsable de una serie de problemas de mortalidad a nivel mundial (Croxen et al., 2013).

Salmonella spp

Definición que da la NOM-210-SSA1-2014:

“Bacilo Gram negativo, aerobio o anaerobio facultativo, no esporulado, generalmente lactosa negativa y móvil. Es una bacteria patógena para el hombre y algunos animales”.

Salmonella afecta el tracto gastrointestinal del hombre, los mamíferos domésticos y salvajes, los reptiles, las aves y los insectos. La salmonelosis es una enfermedad bacteriana que causa fiebre alta, dolor abdominal, diarrea y a veces vómitos (Zapata. 2017).

“Las salmonelas son adquiridas por la ingestión de alimentos o bebidas contaminados y la Salmonelosis es una de las enfermedades de transmisión alimentaria más comunes y ampliamente extendidas. Se estima que afecta anualmente a decenas de millones de personas de todo el mundo y provoca más de cien mil defunciones al año” (Zapata. 2017).

Mesófilos aerobios

“Grupo de microorganismos capaces de desarrollarse en presencia de oxígeno a una temperatura comprendida entre 20 °C y 45 °C con una óptima entre 30 °C y 40 °C. El recuento de estos microorganismos, en condiciones establecidas, estima la microflora total sin especificar los tipos que se encuentran” (Amazará y Quintero, 2022).

2.6 Casos de patógenos en trigo y productos de harina de trigo

Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC por sus siglas inglés) estiman que anualmente 31 patógenos causan más de 48 millones de casos de enfermedades transmitidas por alimentos, lo que provoca 130,000 hospitalizaciones y más de 3,000 muertes en los Estados Unidos (Rahman et al., 2023).

Se está presentando un creciente número de enfermedades transmitidas por alimentos asociadas con la harina y los productos a base de harina (Rahman et al., 2023). Ya que la harina tiene una gran cantidad de microorganismos (Chen et al., 2020), proveniente del grano de trigo contaminado en las diferentes etapas de crecimiento, cosecha, transporte y almacenamiento (Li et al., 2002.)

Los CDC y la Prevención de Enfermedades notificaron 752 casos y 223 hospitalizaciones por enfermedades relacionadas con la harina entre 2001 y 2021, con un promedio de 37.6 casos notificados anualmente. Sin embargo, el número real de casos, puede llegar a 19.440 al año (Rahman et al., 2023). Los patógenos involucrados en estos brotes son *Salmonella*, *E. coli* O157:H7 y *E. coli* O121 (ver Tabla 2.2). Scharff (2018) ha estimado que la carga económica agregada de las enfermedades transmitidas por los alimentos en los Estados Unidos es de 97 400 millones de dólares anuales.

Tabla 2.2. Brotes de enfermedades transmitidas por alimentos en harina y productos alimenticios a base de harina debido a patógenos microbianos en los Estados Unidos y su carga económica para la salud.

| Producto (fuente) | Patógeno | Año | Número de | ¿Aislado del producto? | Ubicación del brote | Fuente |
|-------------------|----------|-----|-----------|------------------------|---------------------|--------|
|-------------------|----------|-----|-----------|------------------------|---------------------|--------|

| casos | | | | | | |
|--|---|-----------|-------------|---------------------------------------|--------------------------|--|
| Harina de trigo | | | | | | |
| Harina (Nueva Gales del Sur, Australia) ³ | <i>Salmonella</i> Paratyphi B Fago tipo I | 1952 | Desconocido | No | Australia (1 estado) | Anónimo, 1958; Dack, 1961. |
| Harina (Nueva Zelanda) ¹ | <i>Salmonella</i> Typhi. Fago tipo 42 | 2008-2009 | 67 | Sí | Nueva Zelanda | McCallum et al., 2013 |
| Harina (General Mills, Kansas City, MO) ¹ | <i>E. coli</i> O121, <i>E. coli</i> O26 | 2015-2016 | 63 | Sí | EE.UU. (24 estados) | CDC, 2016; Crowe et al., 2017; US FDA, 2017 |
| Harina (Ardent Mills, Saskatoon, SK) ¹ | <i>E. coli</i> O121 | 2016-2017 | 30 | Sí | Canadá (6 provincias) | Gill et al., 2019; Morton et al., 2017, 2020; PHAC, 2017; Robertson et al., 2018 |
| Harina (Rogers Foods, BC) ¹ | <i>E. coli</i> O121 | 2017 | 6 | Sí | Canadá (1 provincia: BC) | BCCDC, 2017; Beach, 2017 |
| Harina (ADM Milling Co., Buffalo, NY) ¹ | <i>E. coli</i> O26 | 2018-2019 | 21 | Sí | EE.UU. (9 estados) | CDC, 2019b; Marler, 2019; US FDA 2019b |
| Harina (EE.UU.) ² | <i>Salmonella</i> | 2023 | 14 | Sí | EE.UU. (13 estados) | CDC, 2023; DFWED, 2023 |
| Producto de harina de trigo | | | | | | |
| Cereal infantil [con avena] (Suecia) ¹ | <i>Salmonella</i> Muenchen | 1961 | 110 | No (sí en la instalación de procesos) | Suecia | Silverstolpe et al., 1961 |
| Cereal de avena tostada (EE.UU.) ¹ | <i>Salmonella</i> Agona | 1998 | 400+ | Sí | EE.UU. (11 estados) | CDC, 1998; Russo et al., 2013 |
| Mezcla para pastel, crudo - en helado (EE.UU.) ¹ | <i>Salmonella</i> Typhi. | 2005 | 26 | Sí | EE.UU. (11 estados) | Zhang et al., 2007 |
| Tartas congeladas [no se puede descartar la harina] ¹ | <i>Salmonella</i> sero tipo I 4,5,12:i: | 2007 | 396 | Sí | EE.UU. (41 estados) | CDC, 2008a; Mody et al., 2014 |
| Arroz inflado o cereal de trigo inflado (EE.UU.) ¹ | <i>Salmonella</i> Agona | 2008 | 33 | Sí | EE.UU. (17 estados) | CDC, 2008b; Hoffman et al., 2015; Russo et al., 2013 |
| Preempacado, masa refrigerada para galleta (EE.UU.) ¹ | <i>E. coli</i> O157:H7 | 2009 | 80 | Sí | EE.UU. (31 estados) | CDC, 2009; Neil et al., 2012 |
| Mezcla de masa, seca (EE.UU.) ¹ | <i>E. coli</i> O157:H7 | 2016 | 13 | Sí | EE.UU. (9 estados) | Gieraltowski et al., 2017 |
| Mezcla para pastel (EE.UU.) ¹ | <i>Salmonella</i> Agbeni | 2018 | 7 | Sí | EE.UU. (5 estados) | CDC, 2019a; US FDA, 2019a |
| Cereal de trigo inflado (EE.UU.) ¹ | <i>Salmonella</i> Mbandaka | 2018 | 135 | Sí | EE.UU. (36 estados) | CDC, 2018 |
| Mezcla para pastel (EE.UU.) ⁴ | <i>E. coli</i> O121 | 2021 | 16 | Sí | EE.UU. | CDC, 2021 |

Modificada de: [1] Harris & Yada, 2021 [2] Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Emerging and Zoonotic Infectious Diseases (NCEZID), Division of Foodborne, Waterborne, and Environmental Diseases (DFWED) (2023). [3] Berghofer et al., 2003. [4] Rahman et al., 2023.

2.7 TRIGO

El trigo es uno de los granos que más se cultiva en el mundo debido a su relevancia para la alimentación humana (García, et al., 2013). Los productores principales de trigo son la

Unión Europea, China, India, Rusia y Estados Unidos. México, aunque no figuró entre esta lista, aun así, tuvo una superficie cosechada de más de 700 mil ha y una producción de 3.7×10^6 ton en el año 2014 según los datos de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura [FIRA], 2015. (Álvarez 2019).

De los granos básicos, el trigo ocupa el tercer lugar en importancia dentro de la dieta de los mexicanos, después del maíz y el frijol (Villaseñor et al., 2022), estos 3 son los principales granos cultivados con mayor superficie sembrada en México (García, et al., 2013). En la actualidad, la demanda de trigo y el consumo de productos elaborados a base de este cereal han ido en aumento; lo cual, representa un reto para la autosuficiencia alimentaria de la población (Villaseñor et al., 2022). Se cultivan las variedades de trigo harinero (*Triticum aestivum L.*) y cristalino o duro (*Triticum durum L.*) (Villaseñor et al., 2022), el primero que se caracterizan por el gluten fuerte (muy elástico y extensible) se utiliza en la elaboración de panes, tortillas, galletas y repostería. (Hernández et al., 2011). El segundo se emplea en la elaboración de sémola, materia prima utilizada en la fabricación de pastas: espagueti, macarrones, fideos, entre otros (Villaseñor et al., 2022).

Baja California tiene una actividad agrícola intensiva, es el tercer productor de trigo en México con una superficie de siembra de 26,939 ha, después de Sinaloa y Sonora con 35,378 y 157,354 ha, según los datos registrados hasta el 31 de diciembre de 2020 (SIAP, 2023).

2.8 Mexicali gran productor de trigo

Los principales municipios productores de trigo a nivel nacional son Mexicali y Cajeme, según datos de la FIRA, 2015 (Álvarez, 2019). En Mexicali el rendimiento promedio del trigo es de 6.2 Mg ha^{-1} observándose variaciones dependiendo del ambiente, las prácticas de manejo, la fertilización del cultivo y la variedad utilizada (Rodríguez-González et al., 2011).

El cultivo de trigo genera una gran cantidad de residuos (paja). La paja de trigo es la segunda biomasa más abundante en el planeta, alcanza 8.8×10^8 toneladas anuales (Tishler

et al., 2015). En México, el destino principal de la paja de trigo es su reincorporación al suelo, alimentación animal y quema (Álvarez, 2020). Lamentablemente, en muchos sitios de México, como en Baja California, sólo el 15% de la paja de trigo se utiliza como alimento animal. El resto (85 %) se queda sin ningún beneficio energético, lo que causa serios problemas ambientales (Montero *et al.*, 2016) y a la salud humana (Álvarez 2019). Usualmente, en el Valle de Mexicali, la paja como residuo de la cosecha de trigo se quema por el productor o forman las pacas con fines de alimentación para ganado (Núñez et al., 2022)

3 CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

3.1 Localización de sitio de estudio.

Mexicali es la ciudad capital del estado de Baja California, colinda al norte con Estados Unidos de América; al este con el estado de Sonora y el Golfo de California; al sur con el municipio de Ensenada y al oeste con los municipios de Ensenada y Tecate (INFDM 2005)-
Figura 3.1.

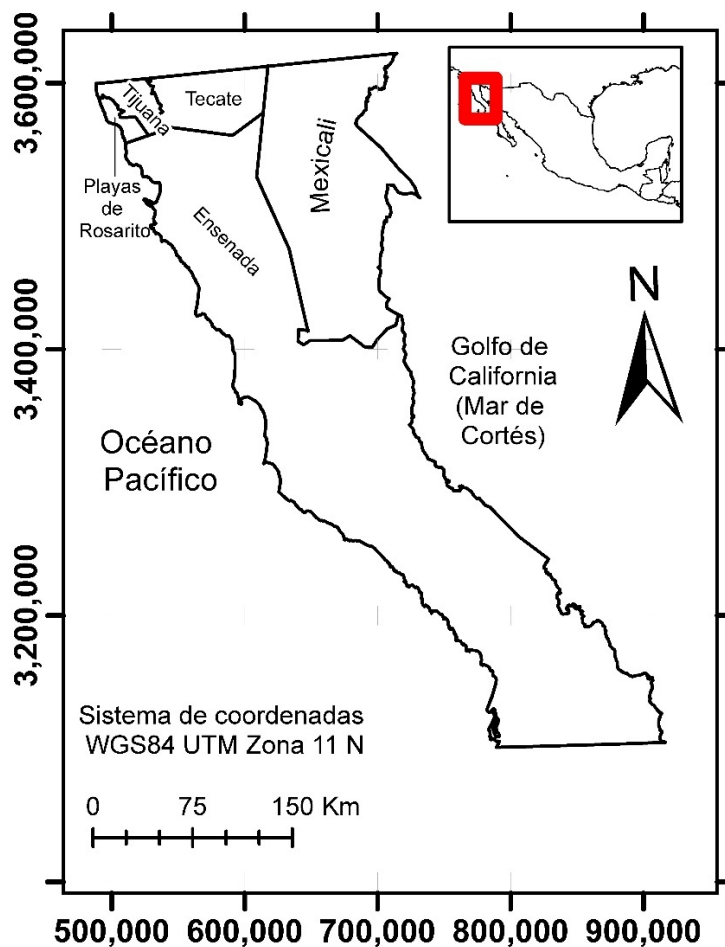


Figura 3.1. Localización del municipio de Mexicali, Baja California.

La zona agrícola del Municipio de Mexicali se denomina Valle de Mexicali (VM), se encuentra ubicada en la región este y parcialmente dentro del delta del río Colorado. Esta zona agrícola, forma parte de una unidad geográfica compartida con el Valle Imperial del vecino estado de California, Estados Unidos de América, separados

artificialmente por la división política entre ambos países (Moreno y López 2005 citado por García et al., 2013).

Área de estudio

El área de estudio se localiza en parcelas de la colonia "La Puerta" del Valle de Mexicali que pertenecen al módulo 12 del Distrito de Riego 014 del Río Colorado (Figura 3.2). Su acceso más rápido desde la zona urbana de Mexicali es por la carretera Mexicali-San Felipe, en el kilómetro 20.

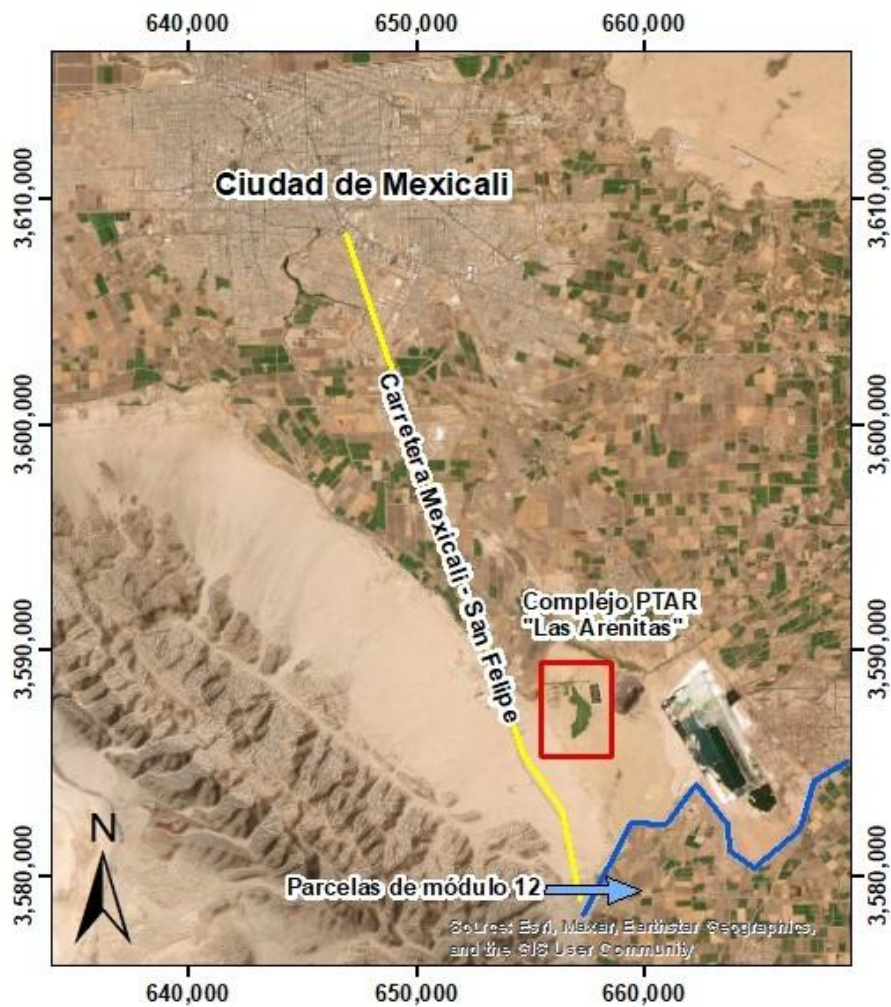


Figura 3.2. Localización de sitio de estudio. Parcelas de estudio, módulo 12.

En la Tabla 3.1 se encuentran las coordenadas centrales UTM (Universal Transversal Mercator), e información relevante de cada parcela. El ART proveniente de la PTAR las

Arenitas y el ARC es agua blanca proveniente del Río Colorado. Y el trigo cultivado fue el harinero (*Triticum aestivum* L.).

Tabla 3.1. Superficie, cultivo, ciclo agrícola y coordenadas de las parcelas de estudio

| Número de Parcela | Agua de riego | Superficie [ha] | Cultivo | Ciclo agrícola | Coordenadas UTM [m] | |
|-------------------|---------------|-----------------|---------|----------------|---------------------|------------|
| | | | | | E | N |
| 2 | ART | 9 | Trigo | 2021-2022 | 659925.29 | 3579735.98 |
| 50 | ARC | 9 | Trigo | 2021-2022 | 660702.69 | 3580361.73 |

En La Figura 3.3 se observan las parcelas de estudio; la parcela 2 donde se cultivó el trigo regado con ART proveniente de la PTAR Arenitas y la parcela 50 regado con ARC usada como blanco de referencia

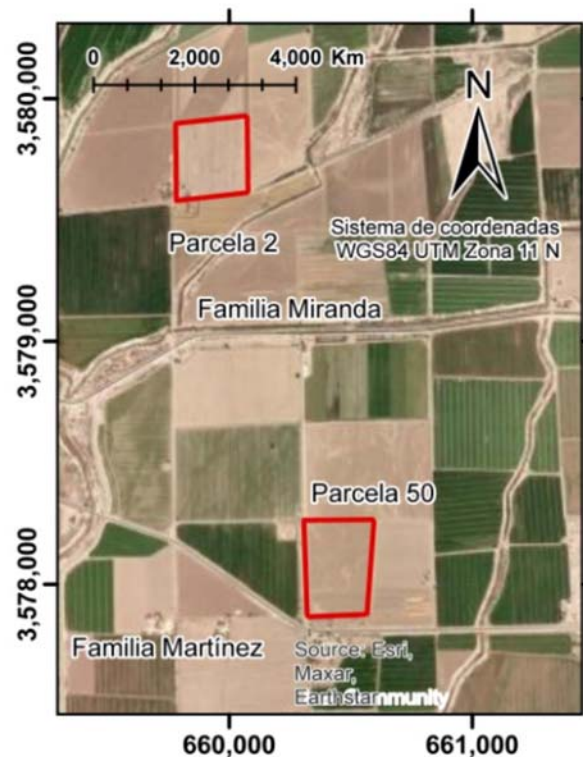


Figura 3.3. Localización de las parcelas de estudio.

3.2 Plan de muestreo de agua, suelo y cultivos de trigo

En la Tabla 3.2 se describe el plan de muestreo con el número de muestras tomadas de agua de riego, suelo y cultivos con sus respectivas normas de muestreo. Se utilizaron

como blancos de referencia las muestras de agua blanca (ARC), suelo y cultivos regados con esta agua. Para las muestras de suelo se tomaron antes y durante la cosecha considerando las indicaciones de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Y para las muestras de trigo se consideró la NOM-109-SSA1-1994 (SSA, 1994) que establece los procedimientos para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.

Tabla 3.2. Número de muestras y normas de muestreo para agua, suelo y cultivos

| Tipo de muestra | No. de muestras por cultivos | Norma para muestreo |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Agua (ARC y ART) | 2 a 3 por riego/parcela | NMX-003-AA-1980 |
| Suelo (ARC y ART) | 10 a 12 por parcela | NOM-021-SEMARNAT-2000 |
| Trigo (grano/paja) (ARC y ART) | 12/12 | NOM-109-SSA1-1994 |

En la Tabla 3.3 se presenta la lista del equipo y materiales tanto para la protección personal como los necesarios para los muestreos de agua, suelo y cultivo, también se describe el equipo para las mediciones físicas y químicas de agua en campo.

Tabla 3.3. Material para toma de muestras y equipo para mediciones en campo.

| Equipo y material | Muestreo | | |
|---|-----------------|--------------|-----------------|
| | Agua | Suelo | Cultivos |
| Ropa, sombrero y calzado adecuados | √ | √ | √ |
| Cubrebocas y guantes | √ | √ | √ |
| Botiquín de primeros auxilios | √ | √ | √ |
| Gel desinfectante, bloqueador solar | √ | √ | √ |
| Agua desionizada | √ | √ | √ |
| Agua Potable | √ | √ | √ |
| Banderines | | √ | √ |
| Bitácora | √ | √ | √ |
| Bolsas de polietileno con sello hermético (2 kg y 0.5 kg) estériles | | √ | √ |
| Cámara fotográfica | √ | √ | √ |
| GPS de celular | | √ | √ |
| Hielera, hielo y bolsas de gel | √ | √ | √ |
| Mapa con la ubicación con puntos de | | √ | √ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| muestreo | | | |
| Marcador indeleble | √ | √ | √ |
| Marro | | √ | |
| Muestreador | √ | | |
| Palas de mano metálicas estériles | | √ | |
| Tijeras estériles | | | √ |
| Bolsas estériles de 100 mL | √ | | |
| Botellas Winkler de 300 mL | √ | | |
| *Sonda multiparámetro YSI 556 MPS con electrodos de: OD, Temperatura, pH y CE | √ | | |

*Sólo se usó en el primer riego. En riegos posteriores se tomaron muestras para medir en laboratorio esos parámetros. Sólo la temperatura se midió *in Situ*.

3.2.1 Muestreo de ART y ARC

Se tomaron muestras de ART y el ARC en cada aplicación de riego en las entradas de cada parcela bajo estudio, como se observa en las Figuras 3.4, 3.5 y 3.6.



Figura 3.4. Sitio de muestreo de ART en parcela 2 con cultivo de trigo



Figura 3.5. Canal de ARC para riego de Parcela 50 con cultivo de trigo.



Figura 3.6. Sitio de muestreo de ARC a la entrada de la parcela 50 con cultivo de trigo.

Se colectaron en bolsas estériles con capacidad de 100 mL para el análisis bacteriológico (Figura 3.7) y en botellas Winkler de 300 mL para los análisis de OD, nitratos y nitritos como se muestran en las figuras 3.8 y 3.9. Se identificaron los envases con la información correspondiente (Figura 3.9) y se conservaron a una temperatura de 4 °C para su

transporte (Figura 3.9) y análisis realizado en el Laboratorio de Recursos Hídricos y Sistemas de Información Geográfica (RHYSIG) del Instituto de Ingeniería de la UABC.

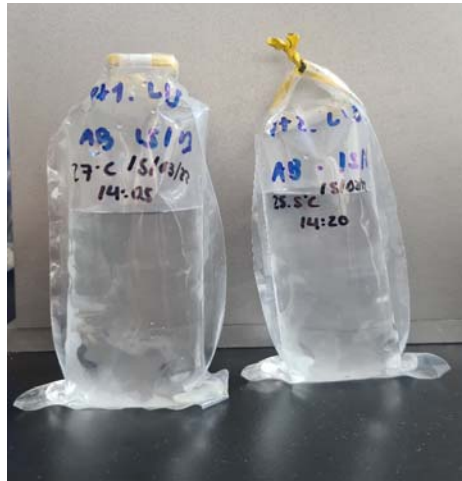


Figura 3.7. Muestras de agua en bolsas de 100 mL estériles.



Figura 3.8. Muestreo de agua en botella Winkler para análisis de OD.



Figura 3.9. Muestras de agua en botellas Winkler. Figura 3.10. Conservación de muestras.

3.3 Medición de parámetros físicos y químicos en agua de riego

En las parcelas de trigo el primer muestreo de agua de riego de ART y ARC se midió *In situ*: temperatura, OD, pH y CE con la sonda multiparámetro YSI modelo 556 MPS, como se muestra en la Figura 3.11, posteriormente se tomaron muestras y se midieron en el Laboratorio Recursos Hídricos y Sistemas de Información Geográfica (RHYSIG), del Instituto de Ingeniería de la UABC, Campus Mexicali, B.C.



Figura 3.11. Medición de parámetros fisicoquímicos en ART.

3.4 MUESTREO DE SUELO

El muestreo de suelo es un procedimiento para obtener una o más muestras representativas en un terreno. Mediante el muestreo se busca la heterogeneidad de parámetros del suelo a ser evaluados y estimados en su valor promedio (SEMARNAT, 2000). La recolección de una muestra realmente representativa es un paso crucial (Prialé, 2016), es por ello que se siguió el procedimiento de zig-zag en cada parcela como lo indica la NOM-021-SEMARNAT-2000. En la Tabla 3.4 se muestran la información de las parcelas, el tipo de agua de riego, la cantidad de muestras tomadas y el tiempo de muestreo, el primer muestreo de suelo se realizó cuando el terreno estaba listo para recibir la semilla (**antes de cosecha**) y el segundo se realizó cuando el trigo ya estaba listo para la cosecha (en los resultados se denominó como **después de la cosecha**).

Tabla 3.4. Número de muestras de suelo por parcela y tiempo de muestreo

| Cultivo | No. de parcela | Agua de riego | No. de muestras por parcela | Tiempo de muestreo | Tipo de análisis a realizar |
|---------|----------------|---------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Trigo | 50 | ARC | 12 | Antes de la siembra y | Fisicoquímicos y bacteriológico |
| Trigo | 2 | ART | | Después de la cosecha | |

En la Figura siguiente se muestran los puntos de muestreo en cada uno de las parcelas de estudio.



Izquierda, puntos de muestreo en Parcela 2. Der., Puntos de muestreo en Parcela 50. Vista aérea. Google Earth, 2022

En la Figura 3.12 se ve la toma de muestra en uno de los puntos de muestreo de la parcela 50 que fue preparada para recibir la semilla de trigo. Se tomaron muestras para el análisis fisicoquímico en bolsas de capacidad de 2 kg y para el análisis bacteriológico en bolsas estériles con capacidad de 0.5 kg.



Figura 3.12. Toma de muestras de suelo en parcela 50 antes de siembra de trigo.

Las muestras de suelo (Figura 3.13) recolectadas se colocaron en una hielera para su conservación mientras se trasladan al Laboratorio Ciencias de la Tecnología del Suelo Agua y Medio Ambiente. (CyTSAMA), del Instituto de Ingeniería de la UABC campus Mexicali, B.C. para su respectivo análisis.



Figura 3.13. Conservación de muestras de suelo.

MUESTREO DE CULTIVO

En las imágenes de la Figura 3.14 se observa el muestreo de trigo, que se situaron en los mismos puntos del muestreo de suelo, se llenaron bolsas con espigas y otras bolsas con paja de trigo.



Figura 3.144. Muestreo de espiga y paja de trigo un día antes de la cosecha



Figura 3.15. Conservación de muestras de espiga y paja de trigo en hieleras y paquetes de hielo, listas para el transporte.

En la Figura 3.15 se observa la conservación para el transporte de las muestras tomadas en los sitios de estudio.

3.5 ANÁLISIS DE PARÁMETROS MEDIDOS EN AGUA SUELO Y CULTIVOS

En la Tabla 3.8 se aprecia el equipo utilizado para los parámetros enlistados.

Tabla 3.5. Equipo y material para el Análisis fisicoquímico en agua, y suelo

| Parámetro | Equipo | Marca |
|---------------------|--------------------------|------------------------|
| pH | Potenciómetro | Thermo Orión Star A111 |
| OD | Medidor de OD | YSI 58 |
| CE | Conductímetro | Thermo Orión 3 Star |
| Nitratos y nitritos | Fotómetro multiparámetro | HANA HI83300 |
| Textura | Horno | Cole Parmer 5015-50 |
| Humedad | | |

En la Tabla 3.7 se muestra la lista de materiales y equipos necesarios para la medición de todo el análisis bacteriológico realizado en agua, suelo y cultivos.

Tabla 3.6. Material, reactivos y equipo para el análisis bacteriológico de agua, cultivos y suelo

| Material | Reactivos y placas 3M Petrifilm | Equipo | Marca |
|-------------------------------|--|-------------------------|-------------------|
| Mechero | Alcohol etílico al 70 % | Autoclave | Tuttnaver |
| Tubos Durham | Caldo EC | Balanza Analítica | AND GR-200 |
| Tubos 15x150 mm con tapa | Fosfato monobásico de potasio (KH_2PO_4) | Baño de circulación | Thermo Scientific |
| Tubos Durham | Bilis lactosa verde brillante (BLVB) | Incubadora | Thelco |
| Pipetas 10 y 25 mL | Cloruro de magnesio (MgCl_2) | Potenciómetro | Thermo Scientific |
| Asas | Soluciones buffer de pH | Agitador | Corning |
| Rejillas | Reactivo Kovacs | Licuadaora | Taurus |
| Cronómetro | Placas Petrifilm SALX (<i>Salmonella</i>) | Molino acero inoxidable | Tekmar |
| Espátulas de acero inoxidable | Placas Petrifilm EC (<i>E. coli</i>) | Pipetor | Pipetus |
| Bolsas estériles | Solución de cloro | | |
| Tijeras | Caldo lauril triptosa (CLT) | | |
| Pinzas | Diluyente fosfato de Butterfield | | |
| Difusor plano | Caldo Rappaport-Vassiliadis R10 (R-V R10). | | |
| Pipetas Pasteur | Solución fosfato-cloruro de magnesio | | |
| Frascos de 60 mL | | | |

3.6 ANÁLISIS DE PARÁMETROS MEDIDOS EN AGUA

En la Tabla 3.9 se observan los parámetros medidos en agua con su correspondientes métodos y técnicas de análisis.

Tabla 3.7. Metodología de análisis de los parámetros analizados en agua.

| PARÁMETRO | MÉTODO DE MUESTREO | MÉTODO DE ANÁLISIS | TÉCNICA DE ANÁLISIS |
|-------------------|----------------------|----------------------------|--|
| CF | NMX-AA-003-1980 | NMX-042-SEMARNAT-2015 | NMP |
| <i>E. coli</i> | NMX-AA-003-1980 | NMX-042-SEMARNAT-2015 | NMP |
| <i>Salmonella</i> | NMX-AA-003-1980 | Método Oficial AOAC 989.13 | Inmovilización de Salmonella en un medio móvil |
| Nitritos | NMX-AA-099-SCFI-2021 | NMX-AA-099-SCFI-2021 | Espectrofotométrico |
| Nitratos | NMX-AA-079-SCFI-2001 | NMX-AA-079-SCFI-2001 | Espectrofotométrico |
| OD | NMX-AA-003-1980 | NMX-AA-012-SCFI-2001 | Electrométrico |
| pH | NMX-AA-003-1980 | NMX-AA-008-SCFI-2016 | Electrométrico |
| CE | NMX-AA-093-SCFI-2018 | NMX-AA-093-SCFI-2018 | Electrométrico |

Los análisis se realizaron en las instalaciones del Laboratorio RHySIG del Instituto de Ingeniería de la UABC, siguiendo la normativa mexicana y los estándares internacionales.

Se prepararon medios de cultivos y soluciones de dilución, que se esterilizaron en autoclave a una presión de 15 psi a 121 °C por 15 minutos como mínimo. Y se usaron materiales estériles como frascos de plástico de 60 mL, guantes, pipetas volumétricas, pipetas Pasteur y asas de inoculación.

3.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS MEDIDOS EN SUELO

En la Tabla 3.6 se presentan las metodologías y técnicas de análisis de los parámetros analizados en suelo y sus diferentes normas que aplican.

Tabla 3.8. Metodología y técnicas de análisis de parámetros analizados en suelo.

| PARÁMETRO | MÉTODO DE MUESTREO | MÉTODO DE ANÁLISIS | TÉCNICA DE ANÁLISIS |
|-----------|-----------------------|--------------------|---|
| CF | NOM-004-SEMARNAT-2002 | NMP | |
| % Humedad | | | Método AS-05 “Determinación del contenido de humedad del suelo por gravimetría” |
| Textura | | | Método AS-09 “Textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos” |
| CE | NOM-021-SEMARNAT-2000 | | Método AS-16 Análisis de suelo con propósito de salinidad. “Por succión de vacío de la pasta de saturación” |
| pH | | | Método AS-02 “Determinación del potencial de hidrogeno medido en agua” |

3.1.1 PROCEDIMIENTO: Muestras de agua

3.1.1.1 CT y CF por el método número más probable (NMP)

La determinación de CT y CF se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-042-SEMARNAT-2015. Se siembra la muestra de forma directa y en una serie de diluciones de la muestra en tubos que contienen Caldo Lauril Triptosa (CLT) previamente esterilizados y se incuban de 24 a 48 horas a 35 ± 0.5 °C (Figura 3.16).



Figura 3.16. Tubos con medio CLT estéril para inoculación de muestras.

Las muestras positivas (tubos que presentan turbiedad y formación de gas) se resiembra con asa en tubos con Bilis Lactosa Verde Brillante (BLVB) incubados de 24 a 48 horas a 35 ± 0.5 °C para confirmar los CT y en tubos con medio EC para confirmar CF se incuban a 44.5 ± 0.2 °C en baño de agua por 24 ± 2 horas, se cuantifican los tubos positivos y con ellos se obtiene el NMP en tablas tanto para CT como CF (ver **Figuras 3.17,3.18 y 3.19**).



Figura 3.17. Resiembra en medio agua peptonada, caldo Bilis Verde Brillante y medio EC.

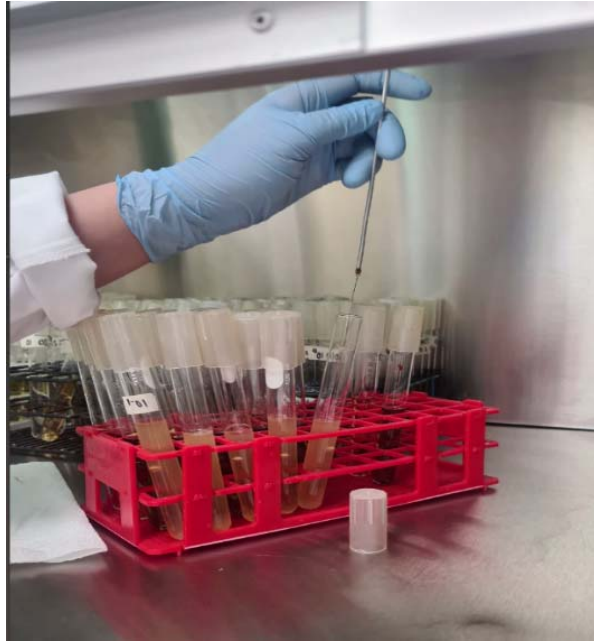


Figura 3.18. Resiembra por triple asada.

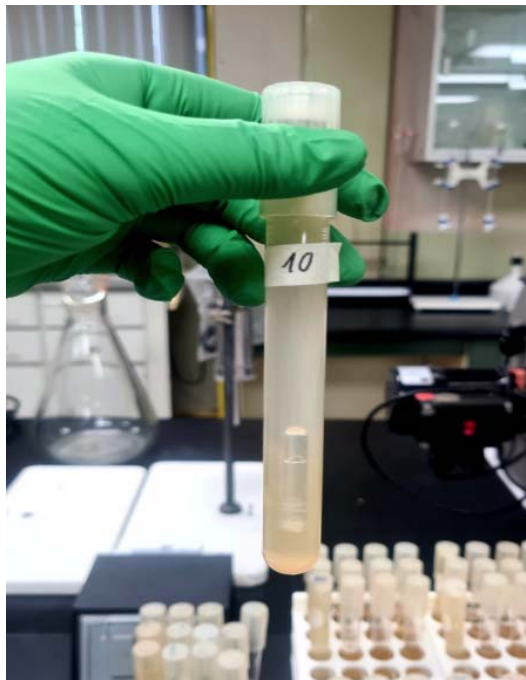


Figura 3.19. Fermentación de lactosa en medio EC.

3.1.1.2 *E. coli* por el método de NMP

A partir de los tubos positivos para CF se siembran en tubos de agua peptonada, se incuban a 35°C por 24 horas, al momento de su lectura se añade el reactivo Kovac (Figura 3.20), si se forma un anillo rosa (ver Figura 3.21) se confirma la producción de indol, característica de la presencia de *E. coli*.



Figura 3.20. Reactivo de Ehrlich modificado de Kovak.

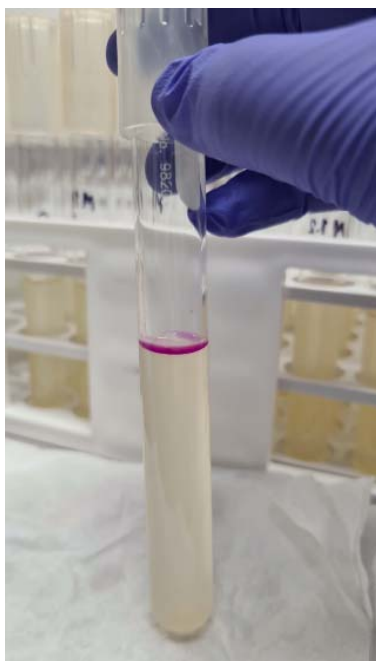


Figura 3.21. Muestra positiva de *E. coli*.

3.1.1.3 *Salmonella*

La detección de *Salmonella* se realizó de acuerdo a las especificaciones que marca el Método Oficial AOAC 989.13, cuya técnica consiste en la inmovilización de *Salmonella* en un medio móvil por anticuerpos polivalentes H (flagelares). Para ello se utiliza la prueba 1,2 test agregando una solución Iodo-Ioduro, se inocula la muestra con 0.1 mL de la muestra y después se agrega una gota del reactivo 2 siendo un anticuerpo (ver Figuras 3.22 a 3.26). Un resultado positivo se aprecia por la formación de una banda de células bien definidas (Inmunobanda).

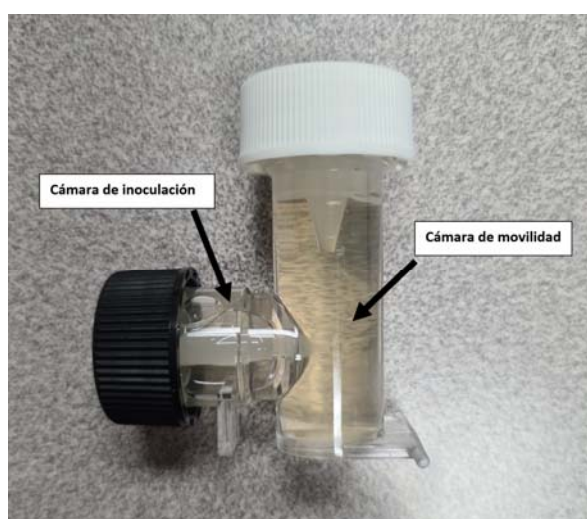


Figura 3.22. Partes que componen la prueba 1,2 test.



Figura 3.23. Prueba 1,2 test, anticuerpo y solución Iodo-Ioduro



Figura 3.24. Prueba 1,2 test siendo inoculada con 0.1mL de muestra.



Figura 3.25. Prueba agregándole una gota del reactivo no.2 (anticuerpos).



Figura 3.26. Muestras de agua de riego inoculadas en pruebas 1,2 test.

Tabla 3.9. . Equipo para el análisis fisicoquímico en agua

| Parámetro | Equipo | Marca |
|---------------------|--------------------------|------------------------|
| pH | Potenciómetro | Thermo Orión Star A111 |
| OD | Medidor de OD | YSI 58 |
| CE | Conductímetro | Thermo Orión 3 Star |
| Nitratos y nitritos | Fotómetro multiparámetro | HANA HI83300 |

3.1.1.4 Nitritos

Para la determinación de la concentración de nitrito (NO_2^-) se empleó la técnica por espectrofotometría de acuerdo a la norma mexicana NMX-AA-099-SCFI-2021. Se utilizó el Equipo HI 83099 COD y fotómetro multiparámetro marca HANNA (figuras 3.27 y 3.28).

Procedimiento:

Añadir 10 mL de muestra en el frasco, y calibrar a 0.00 mg/L.

Agregar el reactivo disulfato de potasio (previsto en paquete individual).

Al agitar la muestra con el reactivo y se observa un cambio de color si hay presencia de nitritos. (Ver Figura XX).

Introducir el vial al equipo y después de 15 minutos aparece la concentración en mg/L.

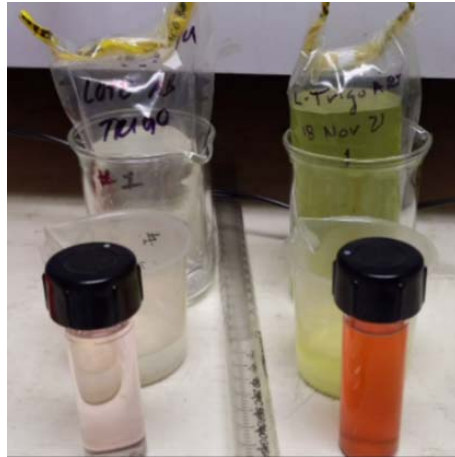


Figura 3.27. Muestras de ARC y ART detectados con nitritos.

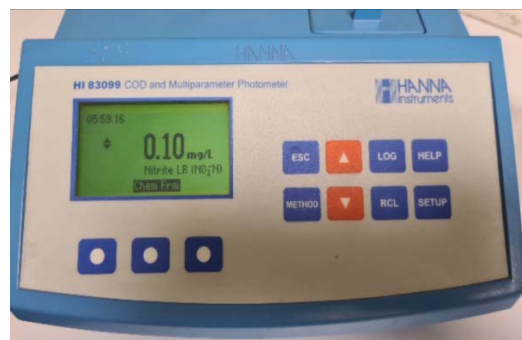


Figura 3.28. Lectura de nitritos en equipo.

3.1.1.5 Nitratos

Para la determinación de la concentración de nitratos (NO_3^-) se empleó la técnica por espectrofotometría de acuerdo a la norma mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001. Se utilizó el mismo equipo para la medición de nitritos.

Procedimiento:

Añadir 10 mL de muestra en el frasco, y calibrar a 0.00 mg/L.

Agregar el reactivo que contiene Cadmio disulfato de potasio y ácido sulfanílico (previsto en paquete individual).

Se agita la muestra con el reactivo por un minuto y se observa un cambio de color si hay presencia de nitratos.

Introducir el vial al equipo y después de 4 minutos y 30 segundos aparece la concentración en mg/L.

3.1.1.6 OD

Para medir el OD en muestras de agua se utilizó la técnica electrométrica de acuerdo a la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001. Las lecturas se tomaron durante los primeros 5 riegos con una multi-sonda YSI 556 MPS y al notar que empezó a fallar, se utilizó el equipo YSI 58 (ver Figura 3.29) para medir OD en el Laboratorio RHySIG.



Figura 3.29 Lectura de OD en equipo YSI 58 en laboratorio.

3.1.1.7 pH

Se midió el potencial de hidrógeno (pH) tomando en cuenta la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001. Las mediciones de los primeros 5 riegos de realizaron con una multi-sonda YSI 556 MPS (ver Figura 27). Después se utilizó el equipo Orion Star A111 que se encuentra

en el Laboratorio RHySIG siguiendo las instrucciones del manual del potenciómetro (ver Figuras 3.30).



Figura 3.30. Potenciómetro Orion Star A111.

3.1.1.8 CE

La CE en agua se midió en campo al momento del riego con la multi-sonda YSI 556 MPS conforme la norma mexicana NMX-AA-093-SCFI-2018 (ver Figura 27). También se utilizó el equipo Orion 3 Star que se encuentra en el Laboratorio RHySIG (ver Figura 3.31).



Figura 3.31. Conductímetro Orion 3 Star.

3.1.1.9 PRETRATAMIENTO EN MUESTRAS DE GRANO Y PAJA DE TRIGO.

Se requiere un pretratamiento de las muestras de grano y paja de trigo para realizar los análisis bacteriológicos (CT, CF, mesófilos, *E. coli* y *Salmonella*), el cual consiste en la obtención del grano de trigo de la espiga, corte de paja y molienda (Tabla 3.11).

Material y equipo

El material y equipo para el pretratamiento de trigo y bermuda y suelo se muestra en la Tabla 3.11.

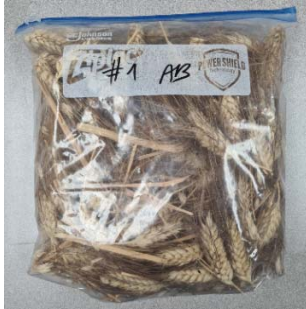
Tabla 3.10. Material y equipo para el pretratamiento de trigo y bermuda y suelo

| Material | Equipo | Marca | Reactivos y placas 3M Petrifilm |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|
| Tijeras | Molino inoxidable | acero Tekmar | Solución de cloro |
| Pinzas | Balanza Analítica | AND GR-200 | Alcohol etílico al 70 % |
| Bolsas estériles | Potenciómetro | Thermo Scientific | |
| Mechero | Agitador | Corning | |
| Espátulas de acero inoxidable | Licadora | Taurus | |
| Tamices | | | |

Procedimiento

Se utilizaron guantes estériles y se desinfectan con alcohol al 70 % si es necesario.

- A. Desinfectar el área de trabajo y la parte exterior de la bolsa que contiene muestra con alcohol etílico a 70 % (ver fotos a y b)



a). Muestra de espigas.



b). Muestra de paja.

- B. Rociar, pinzas y tijeras con alcohol etílico a 70% y esterilizar con calor en el mechero bunsen. Dejar enfriar antes de utilizarlos.
- C. Tomar dos bolsas estériles y romper el sello de hermeticidad y dejar abierta a un lado de la bolsa de la muestra de trigo. Una será para granos de trigo y la otra para paja.
- D. Abrir la bolsa con la muestra y proceder al corte de paja llenando la bolsa correspondiente hasta reunir 25 g. Ver fotos c, d y e.



c) Muestra de paja estéril.



d). Corte de paja.



e). Llenado de bolsa

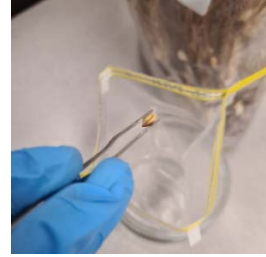
- E. Colocarse otro guante estéril cuidando mantener su esterilidad sin tocar nada más que las espigas y presionar la espiga hasta que comience a desprenderse los granos y tomarlos con ayuda de las pinzas estériles y colocarlos dentro de la bolsa estéril hasta reunir 25 g.
- F. Antes de moler una muestra, esterilizar el molino con alcohol y dejar que se volatilice.



f). Espiga de trigo completa.



g). Desprendimiento de grano.



h). Toma de grano con pinzas.

G. Agregar la muestra en el molino y moler hasta que se aprecie una textura similar al polvo.

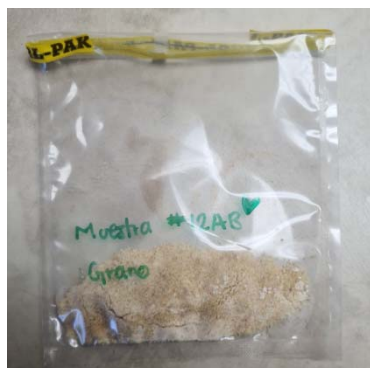


i). Molienda de trigo.

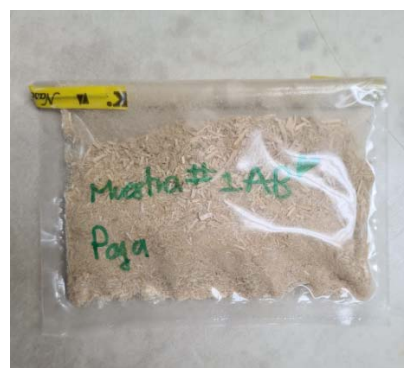


j). Molienda de paja.

H. Guardar la muestra molida en una bolsa estéril mientras se preparan otras muestras para hacer el análisis bacteriológico.



k). Muestra de grano molido



l). Muestra de paja molida

- I. Para el análisis fisicoquímico solo requiere tomar 40 g de grano ya desprendido de la espiga y paja de trigo. No es necesario su molienda.

3.1.1.10 Análisis de Coliformes y *E. coli* por el método de Placa 3M™ Petrifilm™

La placa 3M™ Petrifilm® para recuento rápido (entre 18 a 24 horas) de *E. coli*/coliformes. Es un sistema de medio de cultivo listo para muestras selectivo y diferencial que contiene nutrientes patentados, un agente gelificante soluble en agua fría, un indicador de la actividad glucuronidasa, y un indicador de tetrazolio que facilita la enumeración de colonias. Se utiliza en las industrias de alimentos y bebidas (Neogen, 2023).

Procedimiento

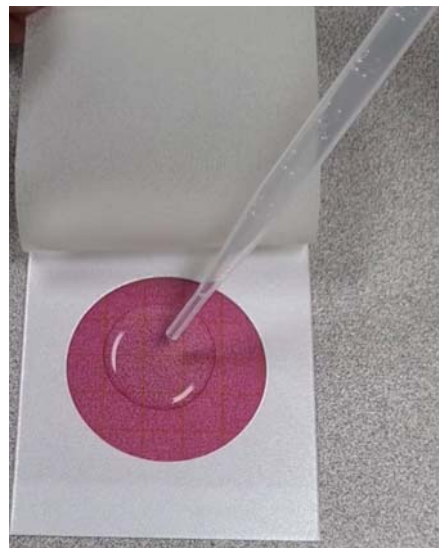
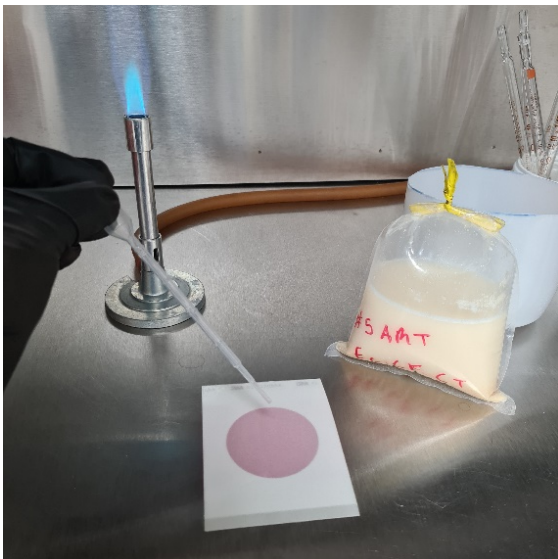
Preparación de la muestra

1. Pesar 25 g de muestra en una bolsa estéril y agregarle 225 mL de dilución amortiguadora de fosfatos estéril.
2. Mezclar la muestra durante 1 minuto hasta se encuentre homogénea.
3. Colocar la Placa 3M Petrifilm EC sobre una superficie nivelada, plana y esterilizada. (Ver fotos siguientes).



Placas petrifilm EC, pipetas estériles, y muestra de grano de trigo.

2. Levantar la película superior y con la pipeta perpendicular a la zona de inoculación distribuya 1 ml de suspensión de la muestra en el centro de la película inferior. (ver fotos siguientes)



Inoculación de las placas petrifilm 3M para EC con 1mL de muestra.

3. Soltar poco a poco la película superior sobre la muestra para evitar que queden burbujas de aire atrapadas.

4. Colocar el difusor de la marca 3M (foto siguiente izquierda) con la cara plana hacia abajo contra el centro de la placa. Presione ligeramente el centro del difusor para distribuir la muestra de manera uniforme como se puede observar en la foto siguiente derecha.



Placa difusora 3M



Placa petrifilm EC aplicando el difusor.

5. Difundir la muestra por todo el círculo de la placa antes de que se forme el gel.
6. Retire el difusor y deje la placa quieta por lo menos 1 minuto para permitir que se forme el gel.



Placa petrifilm EC hidratada con muestra.

7. Incubar las placas en posición horizontal con la superficie transparente hacia arriba en pilas de no más de 20 placas.

8. Emplear el tiempo y la temperatura de incubación específica para cada microorganismo.

Interpretación

1. Contar sólo las colonias que están dentro de la influencia selectiva del medio (dentro del círculo rosa claro) como se observa en las figuras 3.32 y 3.33.

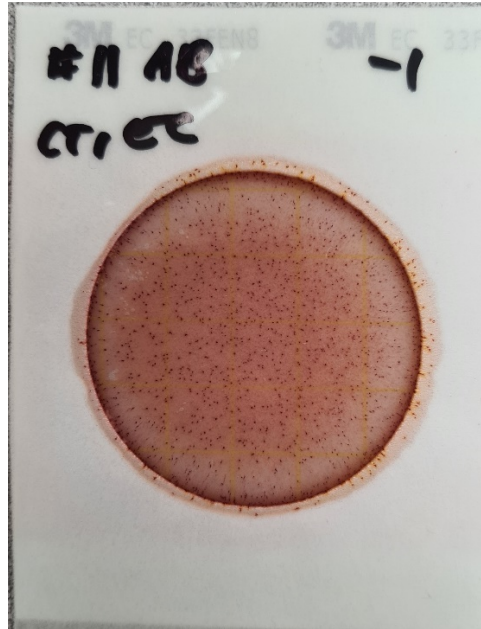


Figura 3.32. . Placas petrifilm EC 3M inoculadas con muestras de paja de trigo.

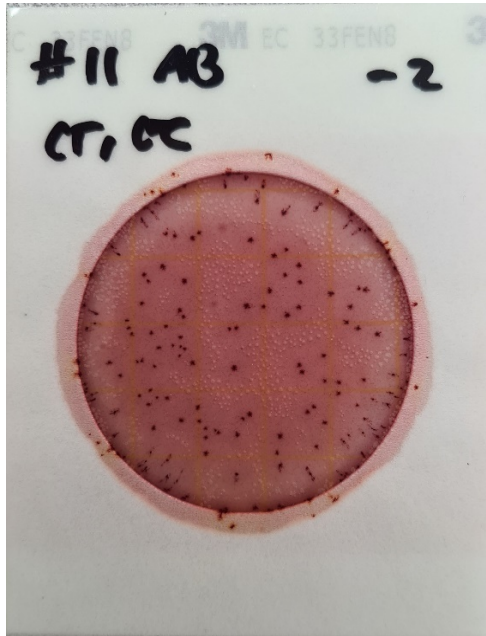


Figura 3.33. Resultado negativo para coliformes y E.coli.

2. La interpretación de las colonias *E. coli* en la placa Petrifilm EC de acuerdo al método oficial de la AOAC (998.08 y 991.14): enumera las colonias azuladas a rojo azuladas asociadas con gas atrapado, independientemente del tamaño o la intensidad de color, como *E. coli* confirmada. Las colonias azules sin gas no se cuentan como *E. coli*. (ver Figura 3.34).

E. coli: colonias azules con gas y los coliformes confirmados: todas las colonias con gas (azules y rojas).

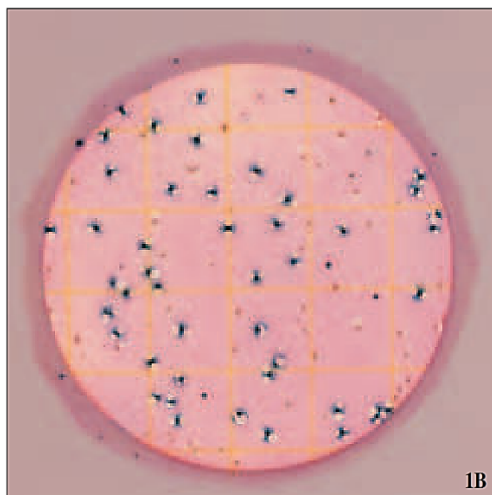


Figura 3.34. Cuento de E. coli y coliformes en placa 3M Petrifilm EC. Obtenida de: Instrucciones del producto Placa 3M™ Petrifilm™ para el recuento de E. coli y coliformes.

3. Las colonias de coliformes son de color rojo y están asociadas estrechamente con gas atrapado. Las colonias no asociadas con gas no se contarán como coliformes. El conteo total de coliformes consiste en las colonias rojas y azuladas asociadas con gas a 24 horas. (ver Figura 3.35).

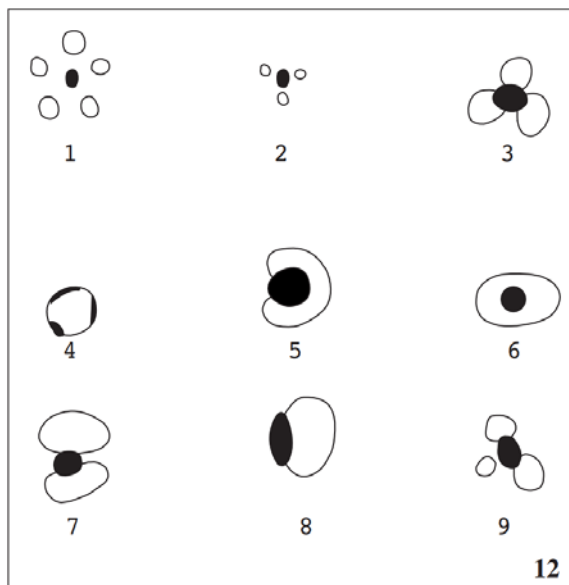


Figura 3.35. Ejemplos de burbujas asociadas a una colonia de coliformes y E. coli. Obtenida de: Instrucciones del producto Placa 3M™ Petrifilm™ para el recuento de E. coli y coliformes.

3.1.1.11 Salmonella

El Sistema 3M™ Petrifilm™ *Salmonella* Express (SALX) permite la detección cualitativa rápida de especies de *Salmonella* en muestras ambientales de alimentos enriquecidos y del proceso de alimentación.

La Placa 3M Petrifilm SALX (Figura 3.36) es un sistema de medio de cultivo cromogénico listo para usar que contiene un agente gelificante soluble en agua fría y es selectivo diferencial para la *Salmonella*, lo que proporciona un resultado presunto.



Figura 3.36. Paquete de placas petrifilm Salx para análisis de *Salmonella* Express.

Procedimiento

1. Se pesan 25 g de muestra molida de grano o paja de trigo en una bolsa estéril.
2. Se prepara el medio de cultivo “base enriquecida 3M *Salmonella*” (ver Figura 3.37) y se le agrega suplemento para *Salmonella* SESUP001 (ver Figura). El medio deberá de tomar un color verde.



Figura 3.37. Preparación de base enriquecida 3M Salmonella

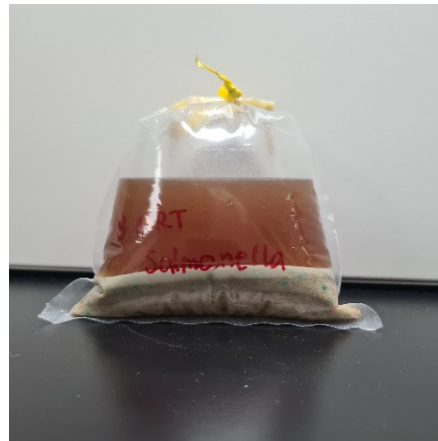
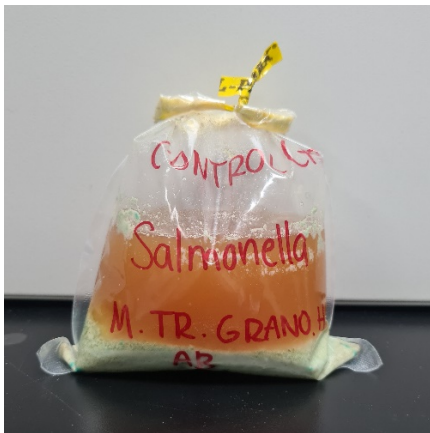


Figura 3.38. Suplemento de Salmonella SESUP001



Figura 3.39. Medio de cultivo “base enriquecida 3M Salmonella” sin suplemento (frasco izquierdo) y base enriquecida 3M Salmonella con suplemento para Salmonella SESUP001.

3. Se agregan 225 mL de la base enriquecida 3M *Salmonella* con su suplemento precalentado con a 41.5 ± 1.0 °C a los 25 g de muestra previamente pesados.



Muestra de grano de trigo enriquecida. Control positivo (+) enriquecida.

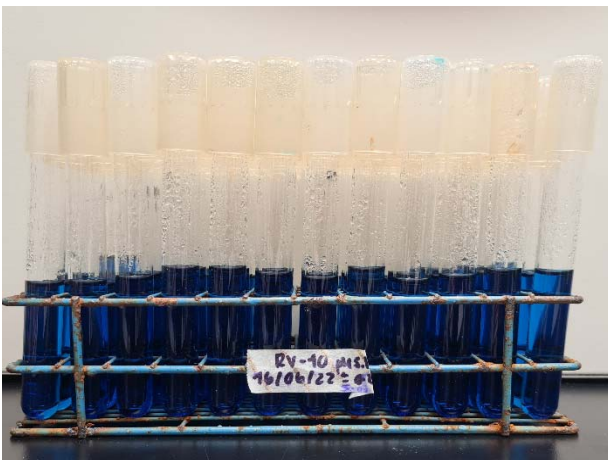
Muestra de grano de trigo enriquecida.

4. Combinar el medio de enriquecimiento y la muestra de forma aséptica. Homogeneizar bien durante 2 minutos. Encubar a 41.5 ± 1.0 °C durante 18-24 horas.

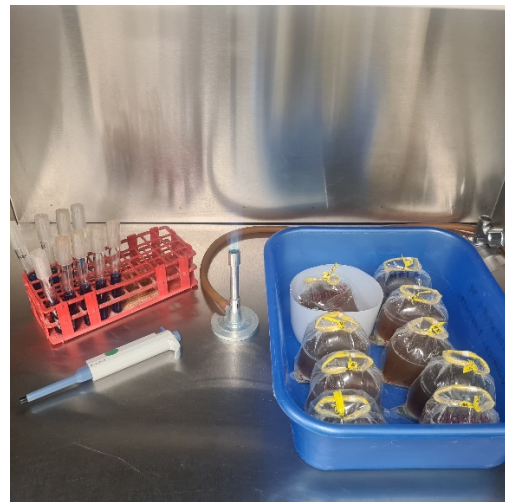


Muestras enriquecidas listas para incubar. Incubadora a 41.5°C

5. Después de la primera incubación enriquecida, transferir 0.1 mL del enriquecimiento principal a 10.0 mL de caldo Rappaport-Vassiliadis R10 (R-V R10). Incubar a una temperatura de 41.5 °C ± 1.0 °C durante 8-24 horas.



Medio de cultivo enriquecimiento secundario R-V R10 de a R-V R10



Enriquecimiento de muestras

Hidratación de placas

1. Colocar la Placa 3M Petrifilm SALX sobre una superficie nivelada y plana (ver Figura 3.40).
2. Levantar la película superior y, con la pipeta en posición perpendicular, distribuir 2.0 mL ± 0.1 mL de diluyente estéril en el centro de la película inferior.



Figura 3.40. Placa 3M Petrifilm SALX sobre una superficie plana.

- 4.** Desenrolle suavemente la película superior sobre el diluyente para evitar que se formen burbujas de aire.
- 5.** Colocar el 3M™ Petrifilm™ Difusor Plano en el centro de la Placa. Presionar ligeramente el centro del difusor para distribuir el diluyente de manera uniforme. Esparcir el diluyente por toda el área de crecimiento de la Placa antes de que se forme el gel. (ver Figura 3.41).

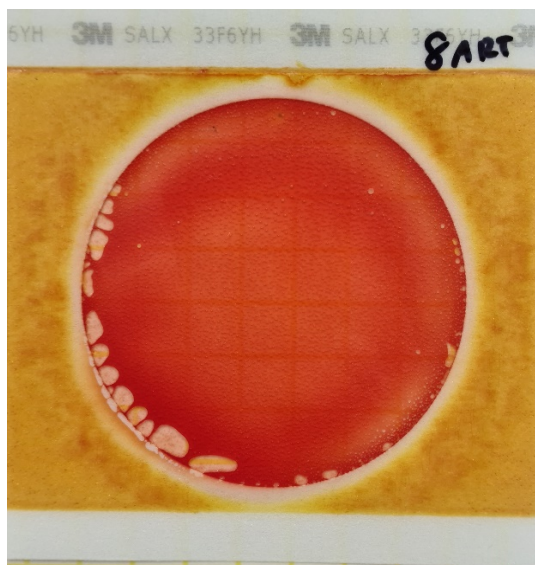


Figura 3.41. Distribución del diluyente en placa 3M petrifilm SALX express.

6. Quitar el difusor y no mover la placa durante, al menos, 1 minuto.
7. Colocar la Placa 3M Petrifilm SALX en una superficie plana durante, al menos, 1 hora a temperatura ambiente (20 °C-25 °C /<60 % de humedad relativa) protegidas contra la luz hasta por 8 horas antes del uso.
8. Después de que se quiten las Placas del almacenamiento, dejar que alcancen la temperatura ambiente antes del uso.

Inoculación de placas

1. Quitar el medio de enriquecimiento de la incubadora (tubos de R-V R10) y agite los contenidos a mano.
2. Usar un asa esterilizada de 10 µL (3 mm de diámetro) para retirar cada muestra.
3. Abrimos la placa y realizamos un estriado por el gel (ver Figura 3.42). Procurar realizar una pasada única para obtener colonias aisladas (ver Figura 3.43 y 3.44).

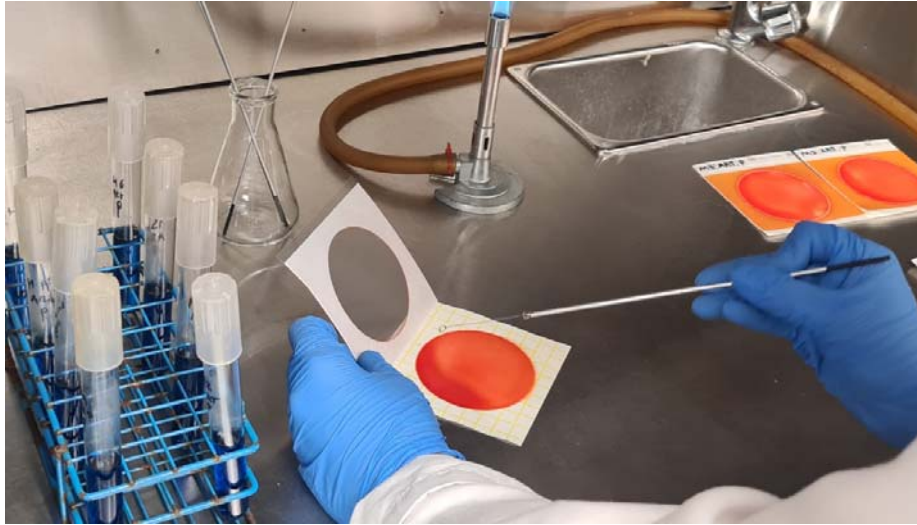


Figura 3.42. Inoculación de muestra del medio R-V R10 a placas 3M SALX express hidratadas.

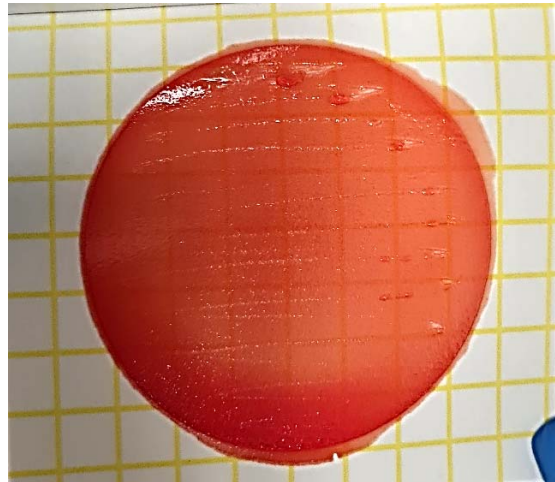


Figura 3.43 Patrón de rayado en la Placa 3M Petrifilm SALX.

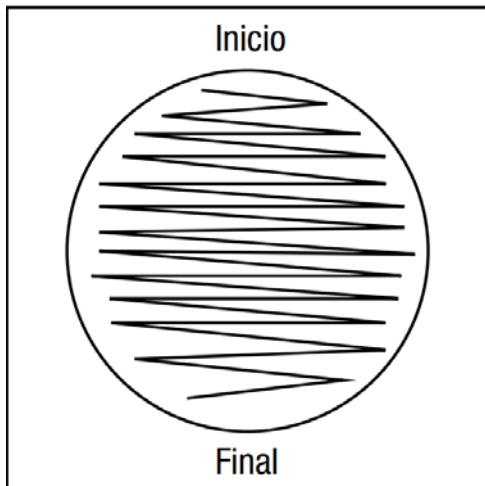


Figura 3.44. Ejemplo de estriado.

4. Desenrollar la película superior para cerrar la Placa.
5. Usando la mano con guante aplicar suavemente un movimiento amplio con presión uniforme sobre la película superior para eliminar cualquier burbuja de aire de la zona de inoculación.
6. Se incuban las placas a $41.5 \pm 1,0$ °C durante 24 horas \pm 2 horas en posición horizontal, con la parte coloreada hacia arriba, en pilas de hasta 20 placas.

Interpretación

1. Se sacan las placas de la incubadora y procedemos con la lectura visual de los resultados.
2. Para la interpretación se examinan visualmente las colonias aisladas. (No se cuentan las burbujas de la placa que se hayan generado al momento de hidratar la placa)
3. Las especies de *Salmonella* presuntamente positivas son colonias de rojo a marrón con una zona amarilla o burbujas de gas asociadas, o con ambas características (ver Figura 3.45).



Figura 3.45. Colonias presuntamente positivas de especies de *Salmonella*. Muestra sembrada como control (+).

Especies de no-*Salmonella*:

- Las colonias azules, verdes, azules a verdes o negras con o sin una zona amarilla o con burbujas de gas asociadas se consideran organismos de no-*Salmonella*.
- Las colonias rojas, rojo oscuro y marrones sin zona amarilla y sin gas asociado se consideran organismos de no-*Salmonella*.
- Las colonias rojas, rojo oscuro y marrones con una zona magenta se consideran organismos de no-*Salmonella*. Si no hay presentes colonias de *Salmonella* presuntamente positiva, los organismos de *Salmonella* no se detectaron en la matriz (ver Figura 3.46).

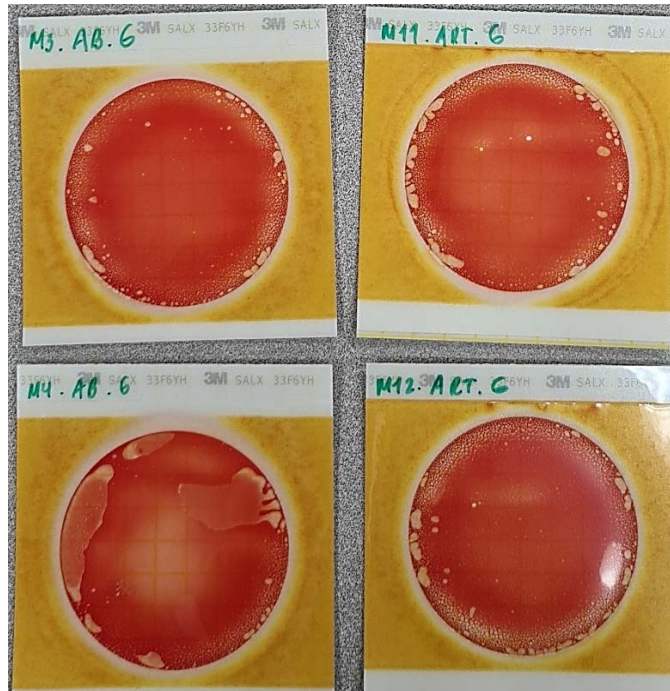


Figura 3.46. Placas sin organismos de Salmonella.

3.1.1.12 MESOFILOS AEROBIOS

Procedimiento

Preparación de la muestra

1. Pesar 25g de muestra en una bolsa estéril y agregarle 225mL de dilución amortiguadora de fosfatos estéril.
2. Mezclar la muestra durante 1 minuto hasta se encuentre homogénea.
3. Colocar la Placa 3M Petrifilm sobre una superficie nivelada, plana y esterilizada. (Ver figura)
4. Levantar la película superior y con la pipeta perpendicular a la zona de inoculación distribuya 1 ml de suspensión de la muestra en el centro de la película inferior (ver figura 3.47).



Figura 3.47. Hidratación de placa de mesófilos aerobios petrifilm 3M con 1mL de muestra.

5. Soltar poco a poco la película superior sobre la muestra para evitar que queden burbujas de aire atrapadas.
6. Colocar el difusor de la marca 3M (Figura) con la cara plana hacia abajo contra el centro de la placa. Presione ligeramente el centro del difusor para distribuir la muestra de manera uniforme como se puede observar en la Figura 3.48.

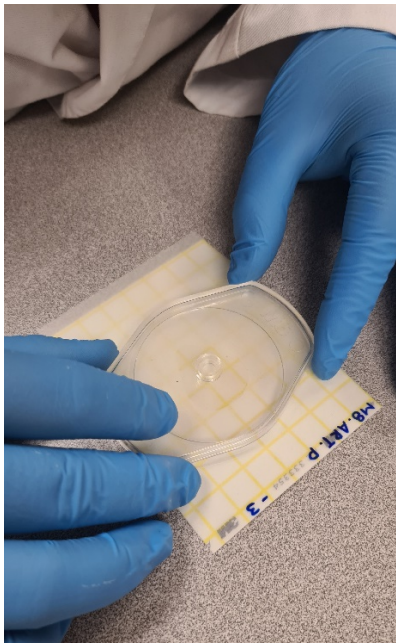
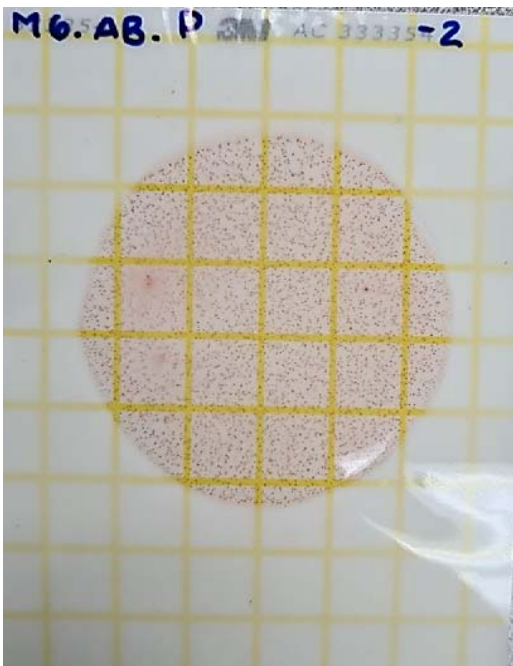


Figura 3.48. Placa difusora 3M en placa para mesófilos aerobios.

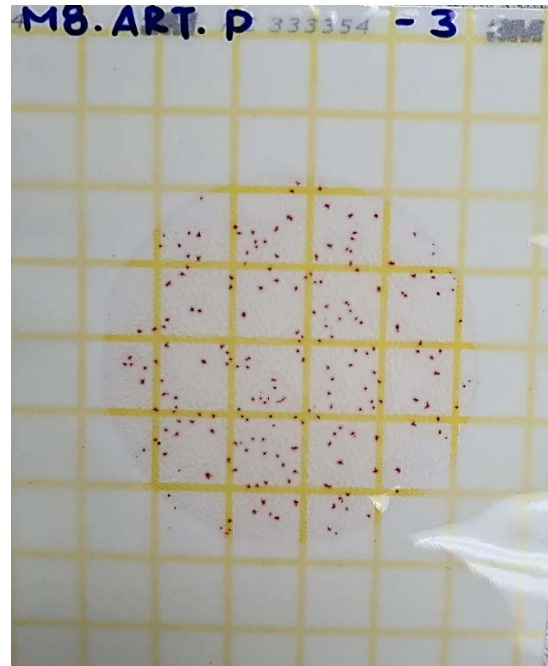
7. Difundir la muestra por todo el círculo de la placa antes de que se forme el gel.
8. Retire el difusor y deje la placa quieta por lo menos 1 minuto para permitir que se forme el gel.
9. Incubar las placas en posición horizontal con la superficie transparente hacia arriba en pilas de no más de 20 placas.
10. Emplear el tiempo y la temperatura de incubación específica para cada microorganismo.

Interpretación

11. Contar sólo las colonias que están dentro de la influencia selectiva del medio (dentro del círculo formado por el difusor) como se observa en las fotos siguientes.



Placa petrifilm mesofilos aerobios MNPC



Placa petrifilm mesofilos aerobios contable.

3.1.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS EN SUELOS

3.1.2.1 CF

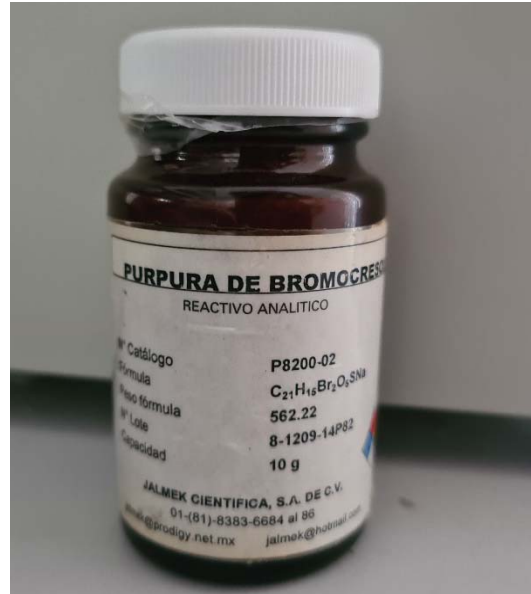
Procedimiento:

Prueba indirecta

1. Se transfirió 1 mL de las diluciones de muestra a cada una de las series de tubos de una matriz de 3x3 conteniendo 9 mL de caldo lauril triptosa (CLT) con púrpura de bromocresol e incubar a 35 ± 0.5 °C. (Ver fotos siguientes)



Preparación de CLT con púrpura de bromocresol



Reactivo de púrpura de bromocresol

2. Se examinó cada tubo a las 24 ± 2 horas. La acidificación, con o sin producción de gas (cambio de coloración de púrpura a amarillo), a partir de la fermentación de la lactosa en el medio de cultivo, indica una prueba presuntiva positiva de la presencia de bacterias del grupo coliformes.



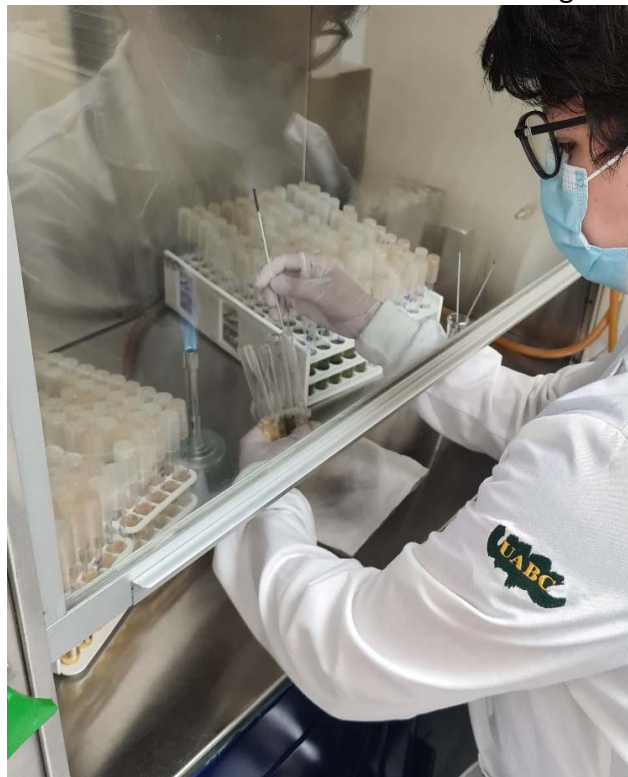
Tubo con medio CLT y púrpura de bromocresol sin fermentación.



Tubo con medio CLT y púrpura de bromocresol con acidificación del medio.

Prueba confirmativa flama del medio EC

3. Los tubos positivos de la prueba presuntiva se resembraron por triple asada (esterilizada al mechero y enfriada) en tubos de fermentación presuntiva negativa que contengan caldo EC e incubados a $44.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$ en baño de agua.



Resiembra por triple asada en medio EC.

4. Se examinó cada tubo a las 24 ± 2 horas.
5. El resultado se considera positivo cuando haya producción de gas a partir de la fermentación de la lactosa contenida en el medio EC (ver figura).



Fermentación de lactosa en medio EC.

3.1.3 ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS EN SUELOS

Tabla . Equipo y material para el análisis fisicoquímico en suelo

| Parámetro | Equipo | Marca | Materiales |
|-----------|---------------------------------|------------------------------|------------|
| pH | Potenciómetro | Thermo Orión Star A111 | |
| CE | Conductímetro Bomba de vacío | Thermo Orión 3 Star | |
| Humedad | Horno Balanza analítica | Cole Parmer 501550 GR 200 | |
| Textura | Batidoras de inmersión | Hamilton Beach | |

3.1.3.1 Determinación del contenido de humedad del suelo por gravimetría

El método AS-05 se basa en la determinación de la cantidad de agua expresada en gramos que contiene una muestra de suelo.

Procedimiento

1. Identificar los botes de aluminio. Maniobrar los botes con pinzas.
2. Colocar los botes en la estufa durante 8 horas como mínimo a una temperatura de 103 -105 °C.
3. Sacar del horno los botes y pasarlos al desecador hasta que se templen.
4. Pesar los botes con tapa y registrarlos como PB.
5. Registrar como PB + Psh el peso de la muestra húmeda (entre 30 a 50 g) colocada en el bote de aluminio y el bote.
6. Colocar el bote con la muestra en el horno a una temperatura de 103 - 105°C por 24 h.



Estufa de 103 a 105°C. desecador con botes vacíos y secos. Peso de muestra de suelo húmedo.

7. Colocar el bote con muestra de suelo seco (Pss) en el desecador hasta que se enfríe.
8. Pesar y registrar como PB + Pss.
9. Realizar los cálculos de % de humedad con la siguiente ecuación:

$$\theta g = \frac{(P B + P s h) - (P B + P s s)}{P B + P s s} \times 100$$

Donde:

θg = Contenido de humedad gravimétrica expresado en porcentaje (%).

PB= Peso del bote con tapa (g).

Psh= Peso de suelo húmedo (g).

PB+Psh= Peso del bote más peso del suelo húmedo (g).

PB + Pss= Peso del bote más peso del suelo seco (g)

Textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos

El método AS-09 define la textura del suelo como la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas. Se utilizó ya que proporciona una idea general de las propiedades físicas del suelo.

Procedimiento

1. Colocar al menos 100 g de muestra sobre una superficie limpia y secar por al menos 24 h.



Secado de muestras al aire.

2. Moler las muestras y se tamizarlas en malla de 2 mm



Molienda de muestra de suelo

1. Pesar 50 g de suelo en un vaso de precipitado de 250 mL.
2. Agregaron 100 mL de agente dispersante (solución de calgón)
3. Reposar la mezcla por 24 horas (ver fotos siguientes)



Peso de muestra 50 g.



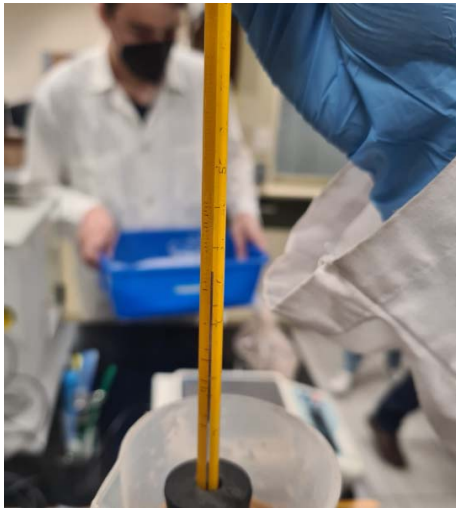
Muestra con solución calgón.

1. Vaciar la mezcla de la muestra a la copa del para realizar la dispersión de la muestra.
2. Homogenizar la muestra con el dispersor durante 5 minutos.
3. Vaciar su contenido en una probeta de 1000 mL lavando la copa con agua destilada.
4. Aforar la probeta con agua desionizada.
5. Tapar la probeta con parafilm.
6. Agitar 20 veces la probeta volteando de arriba hacia abajo y viceversa.



Equipo dispersor de muestra. Muestra en probeta de 1000mL con agua desionizada.

7. Colocar la probeta sobre la mesa y a los 20 segundos colocar el hidrómetro en la suspensión, a los 40 segundos se toma la primera lectura y con un termómetro se mide la temperatura.
8. A las 2 horas tomar la segunda lectura de la densidad con el hidrómetro y medir la temperatura.



Lectura de temperatura después de agitar.



Lectura con hidrómetro.

9. Con los valores de las lecturas obtenidas realizar las correcciones de temperatura.
10. Con los porcentajes de limo, arena y arcilla obtenidos determinar la textura correspondiente con el triángulo de texturas (Figura . 21).

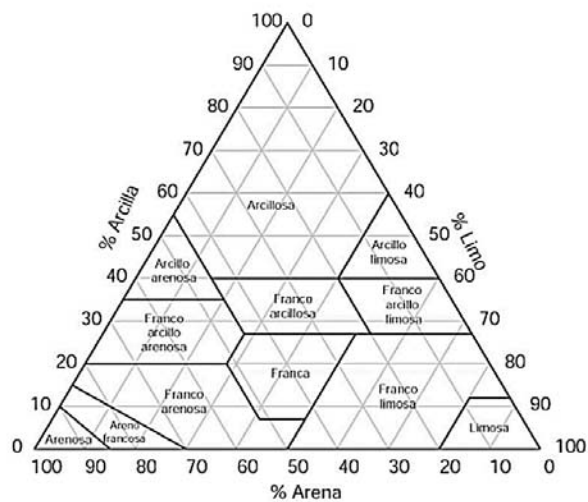


Figura 3.49. Triángulo de texturas.

3.1.3.2 Extracto de saturación

Obtención de la Pasta de saturación

El método AS-16 se aplicó para la obtención del extracto de saturación de muestras de suelo. El extracto de saturación es una solución acuosa importante porque muchas propiedades del suelo como la composición de las sales solubles y la CE del extracto de saturación están relacionadas con la respuesta de los cultivos a la salinidad (NOM-021-SEMARNAT, 2000).

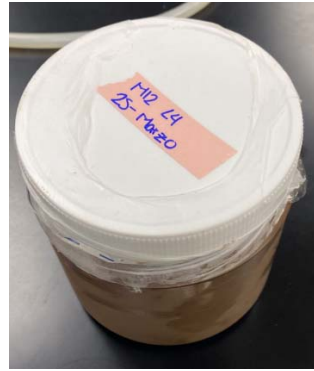
Procedimiento:

1. Se realizó la preparación de la muestra de suelo el cual fue a través del método AS-01, dejando secar las muestras de suelo al ambiente sobre una superficie de polietileno extendidas a una profundidad no mayor a 2.5 cm, en sombra y con una temperatura no mayor a 35 °C.
2. Moler las muestras ya secas con morteros de porcelana y pasar por un tamiz de 2 mm de acero inoxidable. Reservar la muestra en una bolsa de polietileno.

3. Tomar 250 g de muestra molida y agregar agua desionizada poco a poco y mezclar hasta conseguir una pasta brillante y húmeda (pasta de saturación).
4. Reposar durante 24 horas dentro del refrigerador.



Pasta de suelo tamizado



Pasta refrigerada a 4°C por 24 horas

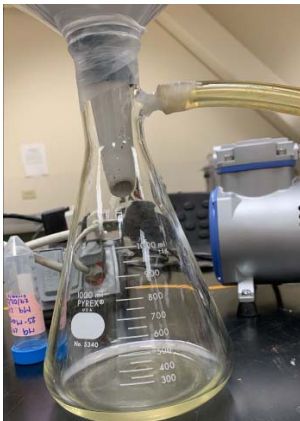
5. Revisar la consistencia y agregar agua desionizada o suelo según necesite la pasta y mezclar nuevamente.
6. Colocar la pasta que cubra el papel filtro Whatman del embudo Buchner del sistema de extracción.
7. Encender la bomba de vacío para iniciar la obtención del extracto de saturación.
8. Se colocó la pasta de suelo saturado en el matraz Kitasato sobre el papel filtro p
9. Se activó la bomba de vacío y se dejó la pasta de saturación en el sistema de extracción. Cuando se comenzaba a cuartear con ayuda de una espátula se sellaban las grietas con la misma pasta hasta que volviera a hacer succión.
10. Después de que dejó de gotear extracto, se detuvo la bomba de vacío y se guardó el extracto en tubos Falcón de 50 mL.
11. Se le agregó una gota de solución de $(\text{NaPO}_3)_6$ por cada 25 mL de extracto de saturación obtenido y así preservarlo a 4°C.
12. Guardar el extracto en tubos Falcón de 50 mL.
13. Agregar una gota de solución de $(\text{NaPO}_3)_6$ por cada 25 mL de extracto de saturación obtenido y así preservarlo a 4 °C.
14. Medir la CE en el extracto.



Equipo de extracción instalado.



Vaciado de pasta en embudo.



Extracto colectado de muestra de suelo.



Extractos colectados y preservados con solución hexametafosfato.

Determinación del pH medido en agua

El método AS-02 determina el pH en muestras de suelo en una solución de agua pura y es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios de suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas en el suelo.

Procedimiento:

1. Pesar 10 g de suelo en un vaso de precipitado. Adicionar 20 mL de agua desionizada.

2. Agitar con una varilla de vidrio la mezcla en intervalos de 5 minutos, durante 30 minutos
3. Dejar en reposo durante 15 minutos.
4. Medir el pH con el potenciómetro previamente calibrado de acuerdo al manual del fabricante.
5. Con los valores de pH obtenidos determinar la clasificación del suelo de acuerdo a la Tabla 4.

Tabla 4. Interpretación de resultados en cuanto a su valor de pH

| Clasificación | pH |
|-----------------------|-----------|
| Fuertemente ácido | < 5.0 |
| Moderadamente ácido | 5.1 - 6.5 |
| Neutro | 6.6 - 7.3 |
| Medianamente alcalino | 7.4 - 8.5 |
| Fuertemente alcalino | > 8.5 |



Mezcla de muestra con varilla.



Termino de mezcla de muestra dejándose reposar 15min

En este apartado se presentan los resultados de las mediciones de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los elementos del sistema involucrados en el estudio, agua-suelo-planta. Como se mencionó en el capítulo anterior, estos elementos son: las aguas utilizadas para riego (ARC y ART), los suelos de las parcelas seleccionadas y los cultivos de trigo, regados con ambas aguas. Se tienen resultados tanto del grano como de la paja, por ser esta última un subproducto utilizado para alimento de ganado. La campaña agrícola fue 2021-2022.

4.1 Resultados físicos, químicos y bacteriológicos en ARC y ART.

En este apartado se presentan los resultados de parámetros físicos y químicos de las aguas utilizadas para riego. En general, se intentó obtener una muestra cada vez que se realizaba un riego y cerca de la entrada a cada parcela, para que fuera una muestra representativa del momento de riego.

4.1.1 pH en ARC y ART

Los valores de pH de ambas aguas (Figura 4.1) fueron muy cercanos, se puede decir que no presentan diferencias importantes. La diferencia mayor se da en una sola muestra, que es la muestra número 4 del riego con ART. Así para el ART se tuvieron valores de 8.18 a 8.98 unidades y en el ARC de 8.76 a 8.98 unidades. Los valores de pH en el ART estuvieron en el rango permisible de 5-10 unidades indicados en la NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1997). Así que su descarga en un bien nacional, como es el suelo, es permitida. La prueba estadística de análisis de varianza, tanto la prueba-F del ANOVA como la Prueba de Kruskal-Wallis indican que no hay diferencias estadísticamente significativas (ver anexo B).

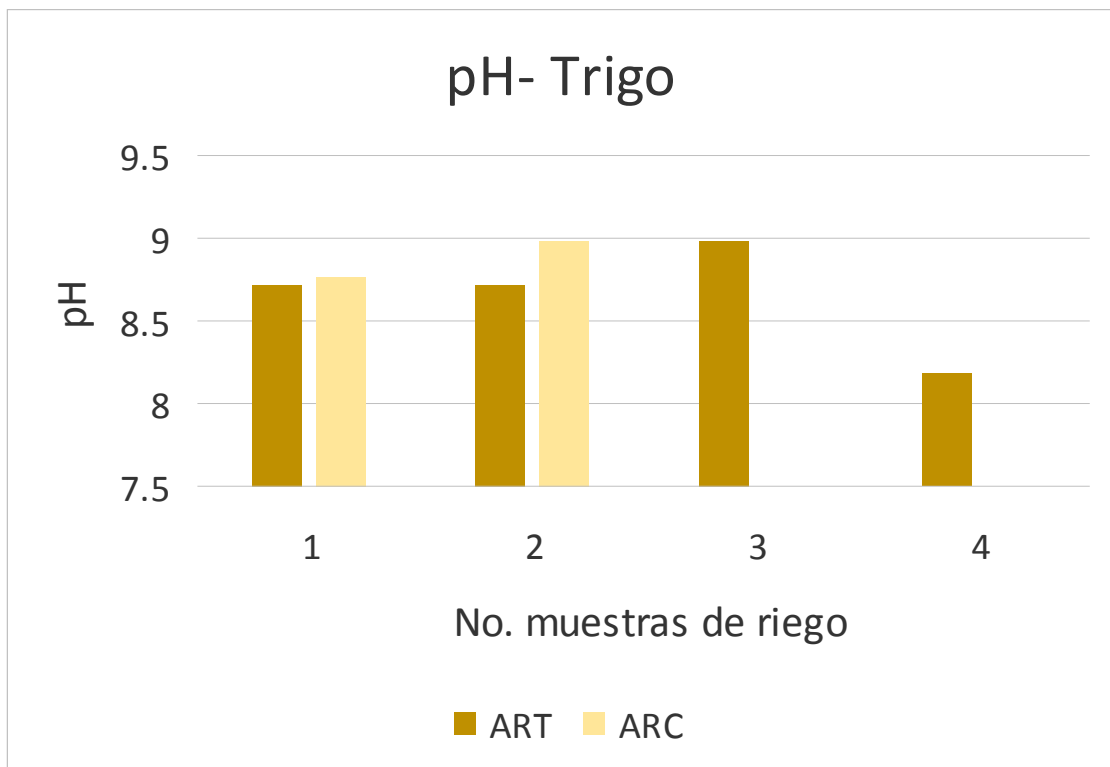


Figura 4.1. pH en muestras de ARC y ART para riego de trigo en ciclo 2021-2022.

4.1.2 CE en ARC y ART

Los valores de CE se presentan en la Figura 4.2. Se observan variaciones importantes entre aguas de la misma fuente; con un valor promedio para el ART de 1,754 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una desviación estándar (σ) de 661.74; y, en el ARC un promedio de 1,751.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con una σ de 823.07 (ver anexo A). Se esperaría que el ART tuviera una CE más alta que el ARC, sin embargo, no se tiene esos valores. En general, varios autores han encontrado valores mayores del ART respecto al agua de la que proviene esta, principalmente relacionado a que durante su uso se agregan sales relacionados a los diferentes usos consuntivos (Ganjegunte et al., 2017; Toze, 2006; Qadir y Scott, 2010; Muyen et al., 2011; Becerra-Castro et al., 2015; citados por Elgallal et al., 2016). No se tiene una explicación clara al respecto, pero se puede deber a una dilución del ART con agua de lluvia y/o con la misma ARC. Aunque los datos son escasos, se realizó la prueba estadística y se comprueba que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre los dos sistemas de riego (ver anexo B).



Figura 4.2. C.E. en muestras de ARC y ART para riego de trigo en ciclo 2021-2022.

4.1.3 OD en ARC y ART

La figura 4.3 presenta los valores de oxígeno disuelto (OD) de ambas aguas. Se puede apreciar que los valores de ART son menores que los de ARC. Este comportamiento es el esperado ya que el ART, por su mismo origen, tiene mayor contenido de materia orgánica, que, al oxidarse, demanda una mayor cantidad de oxígeno (Ramalho, 1990). El OD en ARC tiene un promedio de 9.27 mg/L que contrasta con los 2.55 mg/L en ART (ver anexo A). La prueba estadística de análisis de varianza, prueba-F del ANOVA indica que hay una diferencia estadísticamente significativa entre el ART y ARC que se confirma con la prueba de rangos múltiples (ver anexo B, apartado 6.1.3).

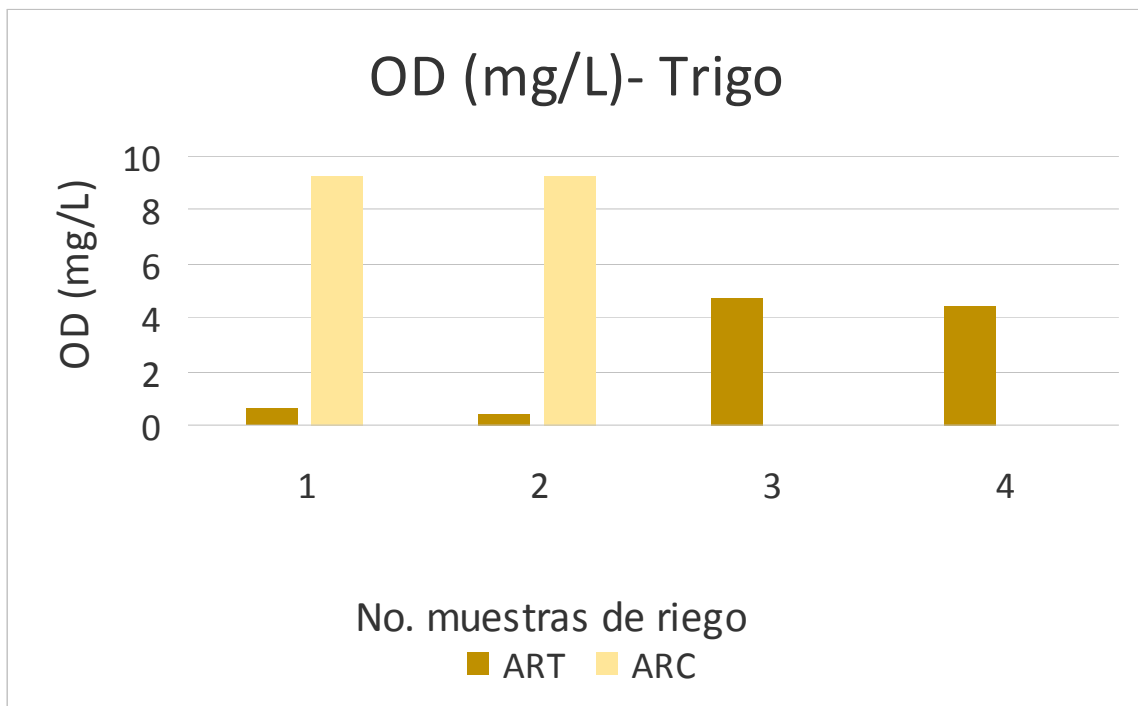


Figura 4.3. OD en muestras de ARC y ART para riego de trigo en ciclo 2021-2022.

4.1.4 Nitritos y nitratos en ARC y ART

La Figura 4.4 muestra los valores de nitritos (NO_2^{-1}) en ambas aguas. Los valores observados de NO_2^{-1} en ART varían de 0.06 a 0.11 mg/L y en el ARC de 0.03 a 0.04 mg/L (ver anexo A). Estos valores son adecuados ya que, ambas aguas, al estar en contacto con el oxígeno atmosférico oxidan los NO_2^{-1} a otra fase nitrogenada; así, la mayor parte se encuentra como nitrato (NO_3^{-1}). La figura 4.5 muestra los valores NO_3^{-1} que varían de 24.7 a 30 mg/L en el ART y de 0.2 a 0.4 mg/L en el ARC (ver anexo A). Los valores encontrados de nitrógeno en ambas fases son considerablemente más altos en el ART lo cual es lo esperado por el origen del agua. De hecho, es una de las ventajas y desventajas del reúso de las aguas, ya que se aprovecha el nitrógeno para los cultivos, pero a la vez, si el contenido es en exceso, puede contaminar el acuífero (Haruvy, 1998; Sengupta et al., 2015; Ofori et al., 2021, entre otros). El análisis estadístico comprueba las diferencias observadas, esto es, que existe una diferencia significativa de los valores medios entre

ambos tipos de agua, como se muestra en las pruebas ANOVA y Kruskal-Wallis (ver anexo B, apartado 6.1.4).

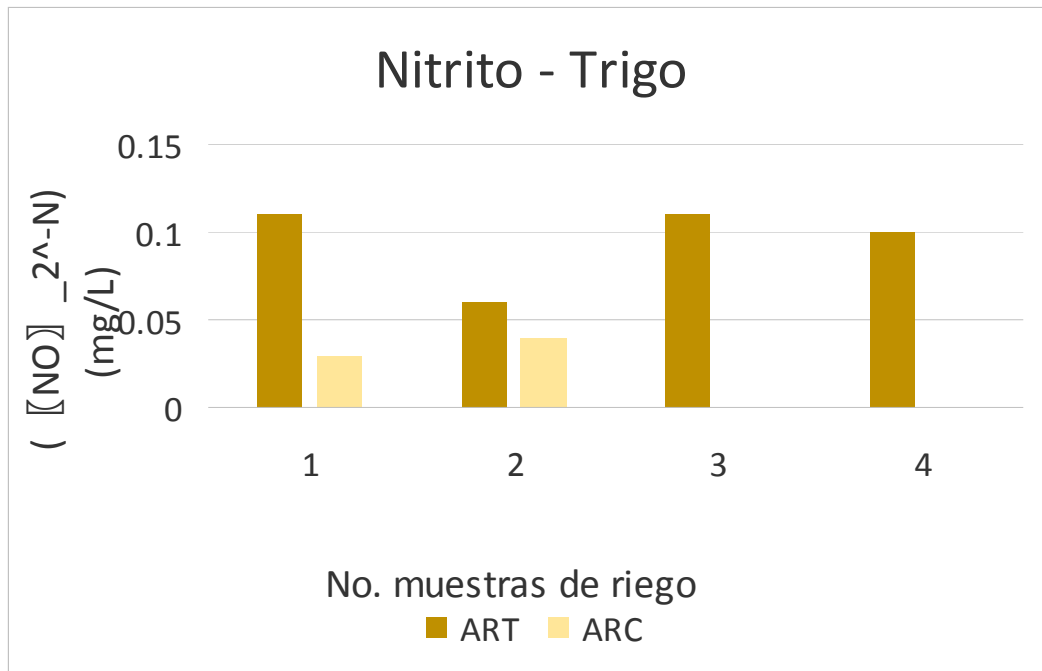


Figura 4.4. Nitritos en muestras de ARC y ART para riego de trigo en ciclo 2021-2022.

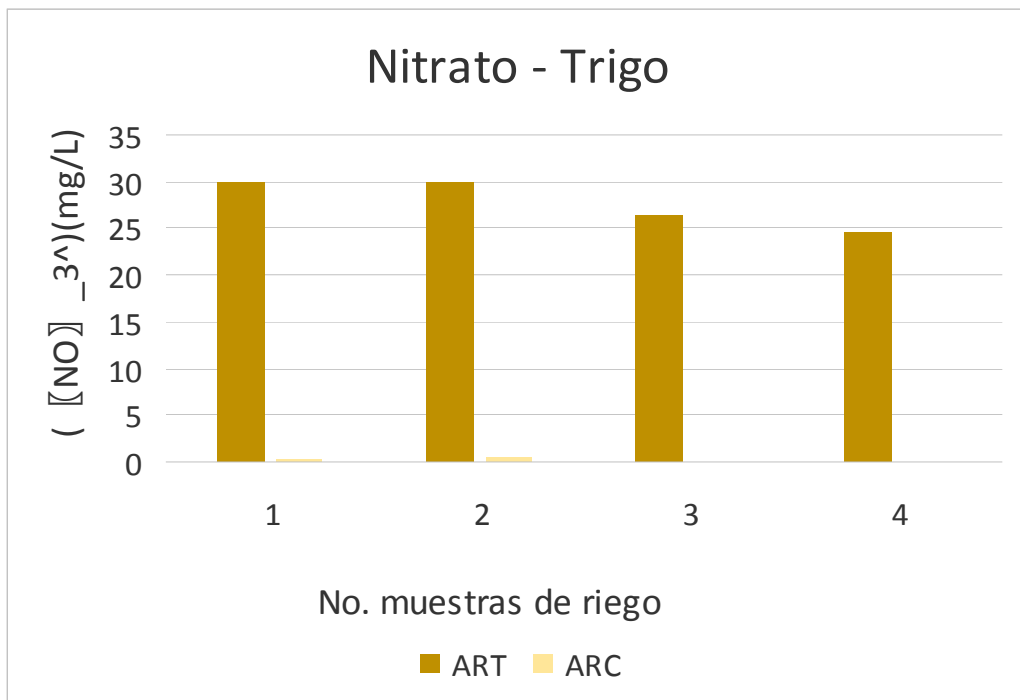


Figura 4.5. Nitratos en muestras de ARC y ART para riego de trigo en ciclo 2021-2022.

4.1.5 Resultados bacteriológicos en ARC y ART

En la Figura 4.6 se muestran los resultados de CF en las muestras de ARC y ART utilizadas para riego de las parcelas lote 2 y lote 50, respectivamente, del ciclo agrícola 2021-2022. En general se presentan valores mayores en el ART en comparación con el ARC. Es conveniente aclarar que las fechas de los muestreos no fueron exactamente el mismo día, ya que, a veces, diferían en varios días. Así estos valores dan una idea precisa, para esta temporada, del contenido de CF para ambas aguas. Los valores en el ART variaron de 106.25 a 2,400 NMP/100 mL, con un promedio de 897.22 NMP/100 mL, aunque con una σ muy alta de 879.84 NMP/100 mL. Aunque se observan CF en ambas aguas, se puede decir que solo la muestra puntual número 1 de ART sobrepasa el límite máximo permitido (LMP) de 2000 NMP/100 mL que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1997), aunque este es como promedio diario. También se puede mencionar que la mayoría de las muestras superó los 200 NMP/100 mL indicados por la EPA como límite permitido en USA (EPA, 2012). Algunos autores han encontrado, en agua fresca de riego, valores que sobrepasan el límite mexicano y el de la EPA (Sarabia et al., 2011; Campos et al., 2015, entre otros). Respecto al ART, Minhas et al. (2006) midió en el ART, para el riego de trigo, concentraciones de CF promedio de 1.5×10^8 /100 mL. El análisis estadístico, con la prueba ANOVA indica que no que existe una diferencia significativa de los valores medios entre ambos tipos de agua. La prueba Kruskal-Wallis que se basa en la mediana y que se usa cuando existen valores atípicos, también indica que no hay diferencia significativa (ver anexo B, apartado 6.1.5).

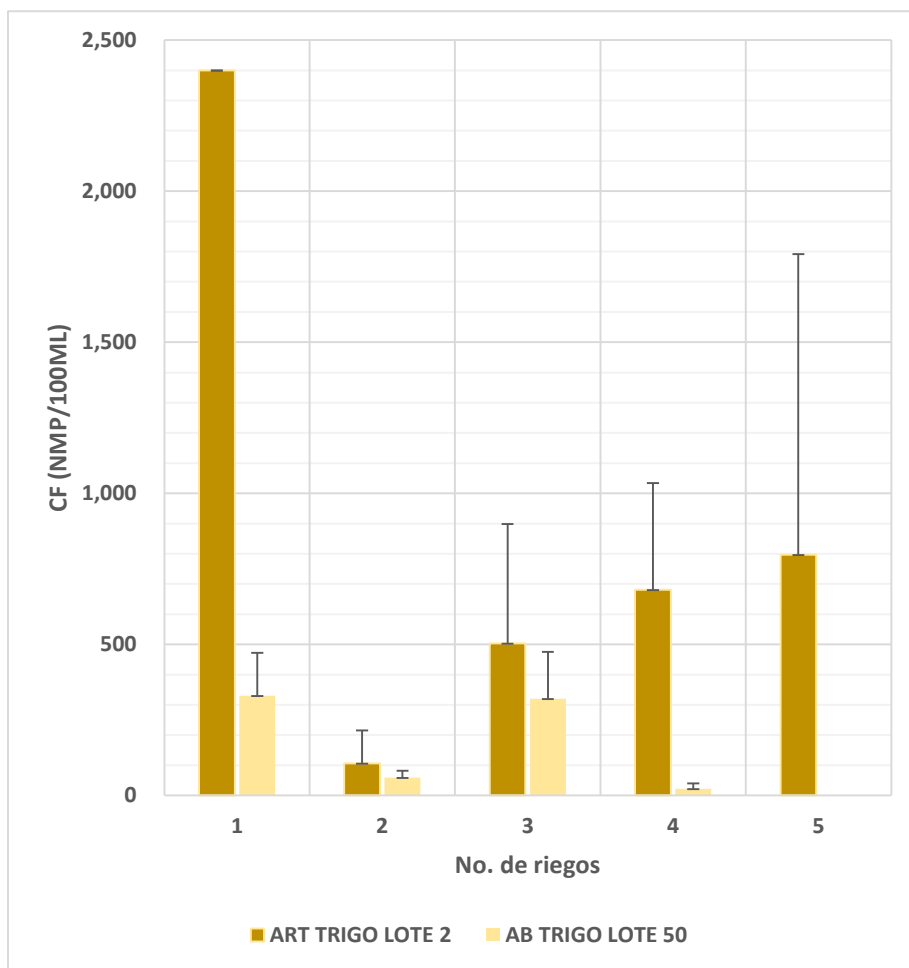


Figura 4.6. Coliformes Fecales (CF) en muestras de ARC y ART para riego de trigo en ciclo 2021-2022.

4.2 Resultados físicos y químicos en suelos con cultivo de trigo

En este apartado se presentan los resultados de parámetros físicos y químicos en los suelos de ambas parcelas, regadas con ART y ARC. En general, se obtuvieron 12 muestras por parcela, antes de la siembra y de la cosecha para tratar de distinguir las condiciones iniciales y finales, respectivamente de estos parámetros en el suelo.

4.2.1 pH en suelos de parcelas regadas con ART y ARC.

Los valores de pH en los suelos regados con ART son mayores que los de ARC. Los valores promedio son de 7.6 y de 7.0 para los suelos ART y ARC, respectivamente (Ver Anexo B,

apartado 5.2.1). No se tiene una explicación concluyente sobre esta diferencia, pero puede deberse a la mayor carga orgánica del ART respecto ARC o a algún proceso de nitrificación de amonio (Vazquez-Montiel et al., 1996). Aunque la diferencia en el pH parece relativamente poco entre ambos tipos de agua de riego, el análisis estadístico indica que existe una diferencia significativa entre ambas, como se muestra en las pruebas ANOVA y Kruskal-Wallis (ver anexo B, apartado 6.1.4).

La NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2001) clasifica a estos suelos como neutros para los suelos regados con ARC y medianamente alcalinos para los de ART. Algunos autores han encontrado cambios en los valores del pH asociado al reusó del ART (Becerra-Castro et al., 2015; Ofori et al., 2021, entre otros).

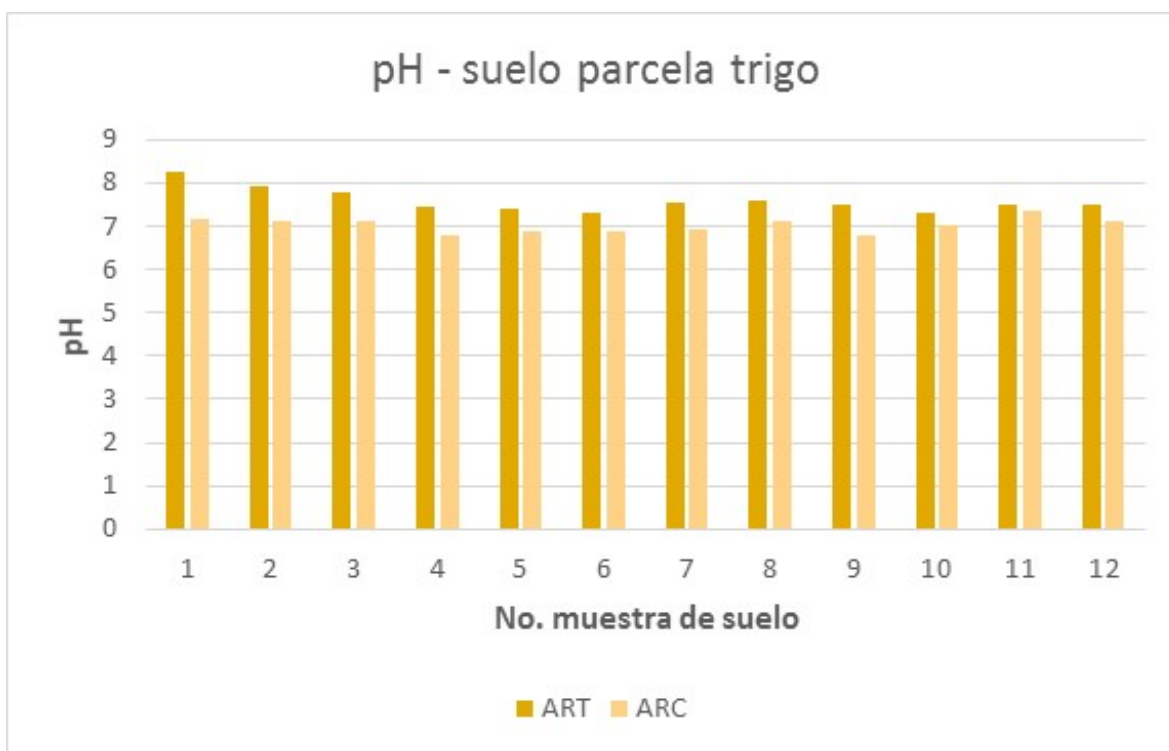


Figura 4.7. pH en muestras de suelos regados con ARC y ART. Ciclo agrícola 2021-2022.

4.2.2 CE en suelos de parcelas regadas con ART y ARC.

En la Figura 4.8 se observan las conductividades en las muestras de suelo regado con ART y ARC. Los valores encontrados presentan valores no esperados ya que se esperaba que el

ART tuviera valores mayores que el ARC. Sin embargo, la mayoría de las muestras de ARC tuvieron valores mayores; el ARC varió de 1.96 a 7.28 mS/cm y el ART de 1.7 a 3.75 mS/cm respectivamente (Ver Anexo B, apartado 5.2.2). Estos valores, considerando la clasificación de la CE de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2001); indican que las muestras del suelo regado con ART y ARC varían de ligeramente salino (rango de 1100-2000 $\mu\text{S/cm}$) a salino (4100-8000 $\mu\text{S/cm}$). Estos episodios de ARC muy salinos pueden deberse a que las descargas de aguas internacionales vienen con un exceso de sales, como ya ha ocurrido en otras ocasiones. En un estudio previo, Salazar (2021) observó que la CE del suelo regado con ART fue mayor que el suelo regado con ARC. De este modo, aunque el ART, en general, es moderadamente salina, en esta temporada (campaña 2021-2022), la CE, es mayor en el ARC. Se debe tener cuidado al usar agua demasiado salina para el riego agrícola, ya que puede ocasionar acumulación de sales en el suelo, principalmente en la capa superficial por procesos de evapotranspiración (Elgallal et al., 2016). Aunque los valores de CE son muy variados, el análisis estadístico indica que existe una diferencia significativa entre ambos suelos, como se muestra en las pruebas ANOVA y Kruskal-Wallis (ver anexo B, apartado 6.1.5).

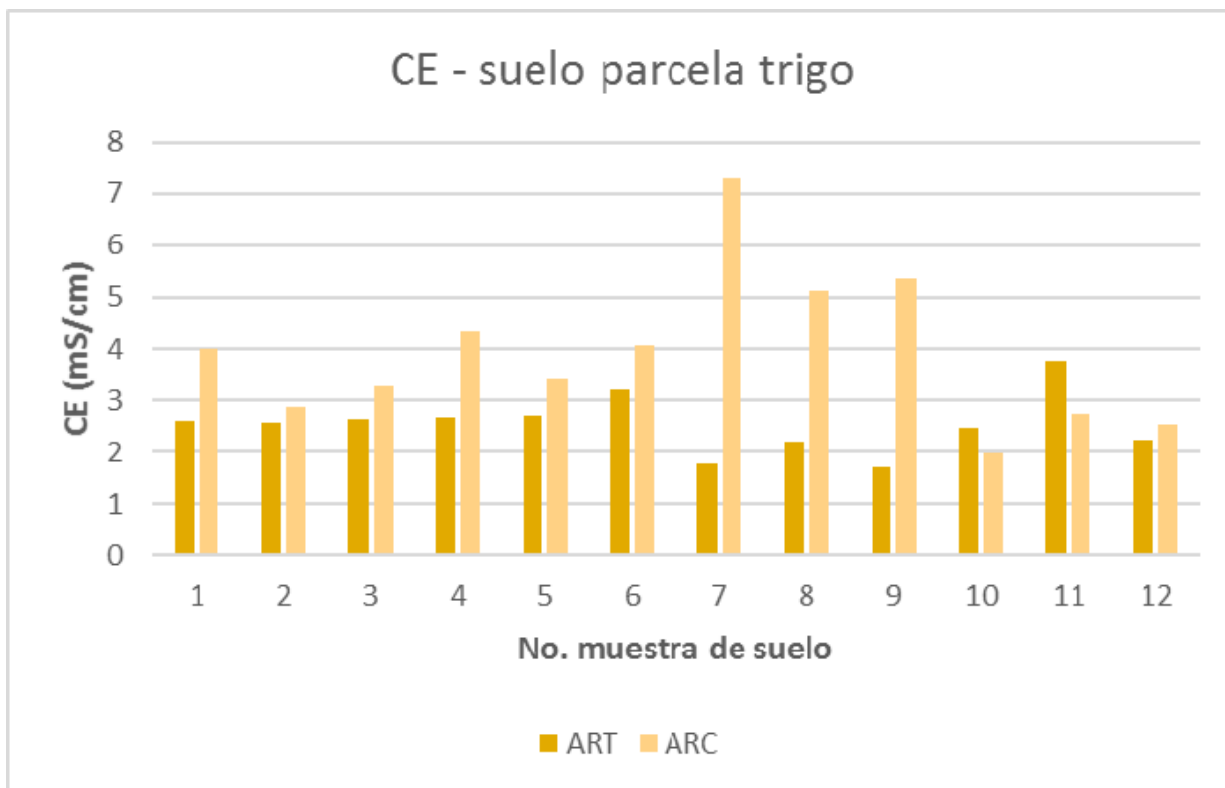


Figura 4.8. CE en muestras de suelos regados con ARC y ART. Ciclo agrícola 2021-2022.

4.2.3 Humedad en suelos de parcelas regadas con ART y ARC.

La Figura 4.9 presenta los resultados de humedad del suelo de parcelas regadas con ART y ARC, antes de la siembra. Se tienen valores de humedad de 0.31 a 5.13 % en suelos regados con ART y de 2.45 a 5.87 % en los regados con ARC, con lo que se puede decir que los suelos de la parcela con ART tienen un déficit de agua mayor. Esto es importante a la hora de realizar la planeación de los riegos ya que se requerirá un volumen mayor de agua en suelos más secos. La humedad del suelo es un factor importante, entre otros, para los procesos iniciales de asimilación de nutrientes y germinado de semilla a la hora de la siembra. También es importante para la evolución de la población de microorganismos aerobios, patógenos y fecales, sobre todo cuando se aplica ART y en condiciones de humedad del 10 % (Estrada et al., 2003). La Figura 4.10 muestra los resultados de humedad del suelo de parcelas regadas con ART y ARC, antes de la cosecha, o sea el agua residual que queda después del ciclo agrícola, en la zona de estudio, debido a las condiciones climáticas, esta agua se perderá por evaporación, aunque ayudará a

mantener, por un momento, el equilibrio ecológico de los microorganismos en el suelo. En este caso, se tienen valores de humedad de 5.33 a 11.13 % en suelos regados con ART y de 8.09 a 14.21 % en los regados con ARC, con lo que se puede decir que los suelos de la parcela con ARC tiende a mantener la humedad un tiempo mayor. La explicación puede ser a que el contenido de arcillas puede ser mayor y/o que la cercanía de alguna fuente de agua, el acuífero superficial y/o algún dren o canal, están proveyendo de agua al suelo. Cabe resaltar, que en promedio se tienen valores mayores de humedad antes de la cosecha para los suelos regados con el ART y ARC. Los promedios, al inicio de la siembra y al inicio de la cosecha, variaron de 1.77 a 7.57 % en el ART y de 3.78 a 10.12 % en el ARC, respectivamente (ver Anexo A, apartado 5.2.3). Esto parece lógico ya que, en esas fechas, finales de abril, la temperatura apenas empieza a subir y el último riego está relativamente cercano, mediados de marzo. Todas estas observaciones de resultados se comprueban con las pruebas estadísticas de análisis de varianza, tanto la prueba-F del ANOVA como la Prueba de Kruskal-Wallis que indican que hay diferencias estadísticamente significativas (ver anexo B, apartado 6.1.8). La prueba de múltiples rangos demuestra que esas diferencias se dan en todos los 4 conjuntos de datos, esto es, el ART y ARC antes de la siembra y de la cosecha.

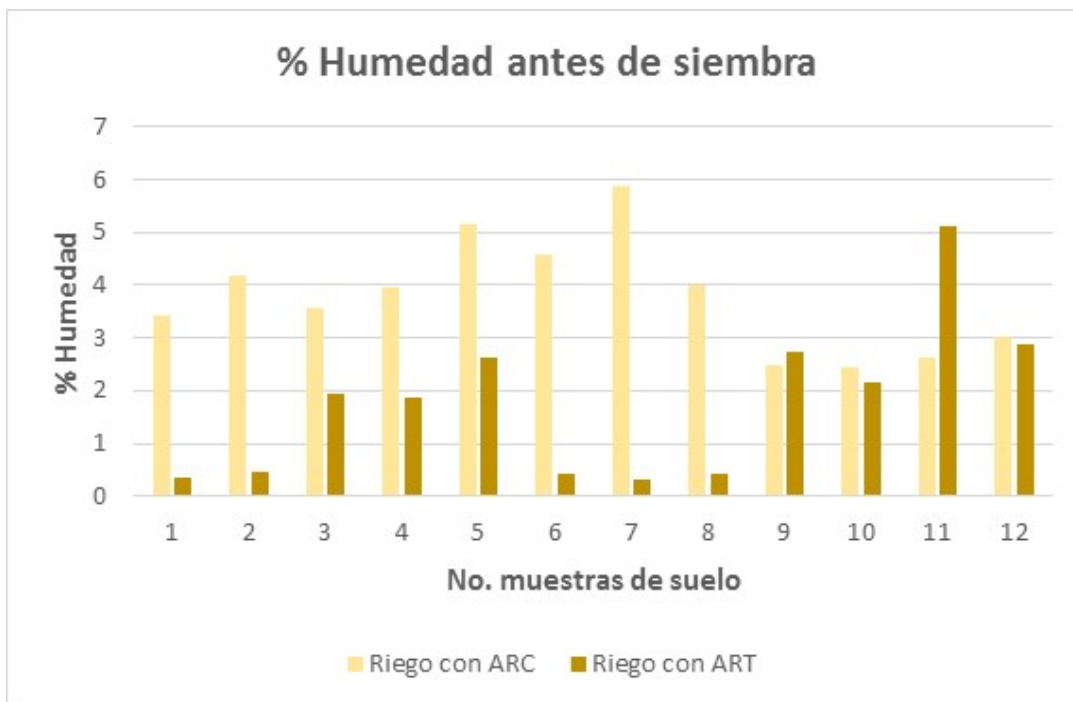


Figura 4.9. Humedad en muestras de suelos regados con ARC y ART, antes de la siembra. Ciclo agrícola 2021-2022.

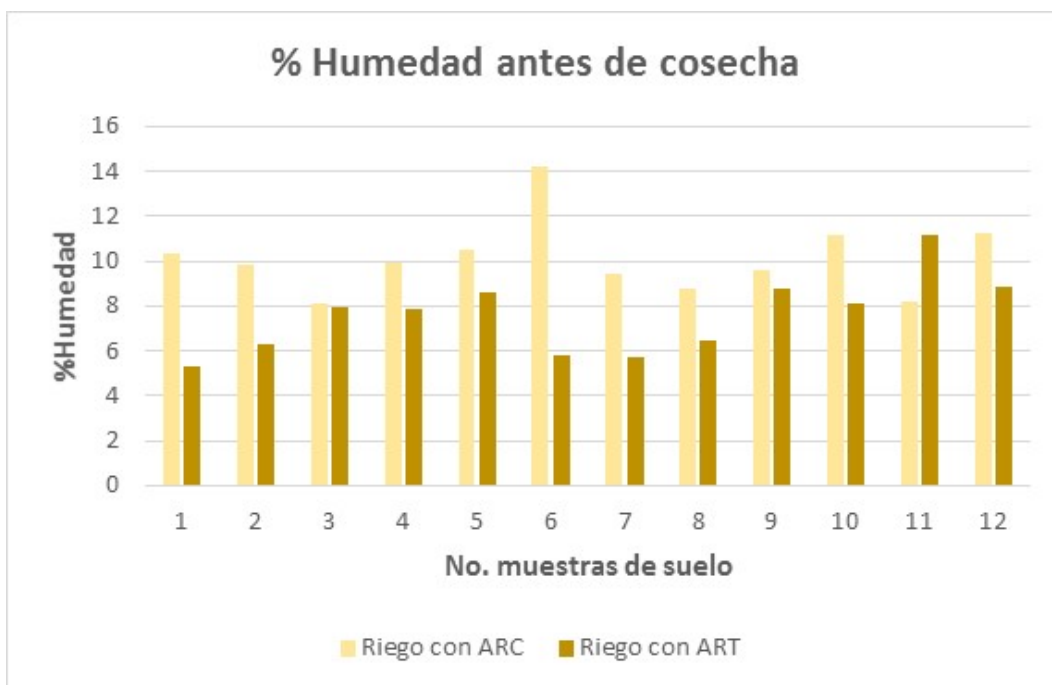


Figura 4.10. Humedad en muestras de suelos regados con ARC y ART, antes de la cosecha. Ciclo agrícola 2021-2022.

4.2.4 Textura de suelos regados con ARC y ART.

La textura de todos los suelos analizados presentó una textura arcillosa (ver Anexo A, 5.2.4). Como se mencionó en la metodología el procedimiento usado es el de Bouyoucos. Aunque con esto se puede discernir que el tipo de suelo no provocaría cambios físicos, químicos y biológicos en ambas parcelas y asociarlos simplemente al tipo de agua aplicado (ARC y ART), esto puede no ser del todo cierto. Como se mencionó, todos los suelos son arcillosos, los valores del % de arcillas en los diferentes suelos van de 57.24 a 85.8. Al ser las arcillas las partículas del suelo más reactivas se podrían asociar algunos cambios en los procesos de intercambio iónico, ciertos procesos geoquímicos y/o procesos de retención de fuentes nitrogenadas como amonio, para el posterior aprovechamiento de los cultivos (Reyes, 1999).

4.2.5 Resultado bacteriológico en suelos (CF).

En la Figura 4.11 se presentan los resultados de CF en muestras de suelo antes de la cosecha. Estos presentan valores de <3.0 (que corresponde al límite de detección de la técnica utilizada para el análisis) a 93 NMP/100 ml, con un promedio de 29.83 NMP/100 ml. Estos valores son relativamente bajos si se compara con el valor de 1.2×10^3 UFC/g en suelo encontrados por Muamar et al. (2014) al usar agua residual. Fattahi et al., (2020) sugieren que, de acuerdo a los índices de CF, no usar en cultivos cosechados con humedad alta y condiciones para la supervivencia de patógenos. En cuanto a las muestras del suelo después de la cosecha en ART (figura 4.12) se observan incluso valores más bajos de <3.0 a 3.6 NMP/100 ml (ver Anexo B, apartado 5.2.5); que puede interpretarse que las condiciones ambientales y las del suelo no provocan acumulación de CF. Incluso en los CF en suelos regados con ARC, para antes de la cosecha, los valores son de <3.0 a 93 NMP/100 ml (igual que el ART), pero con un promedio de 21.53 NMP/100 ml y en los valores posteriores a la cosecha son de <3.0 a 93 NMP/100 ml, con un valor promedio de 18.75 NMP/100 ml. El análisis de varianza para la tabla ANOVA señala que no hay diferencias significativas entre las medias de los diferentes conjuntos de datos, ARC antes cosecha, ARC después cosecha, ART antes cosecha y ART después cosecha (ver apartado

B, 6.1.9). Sin embargo, la norma mexicana menciona que las presencias de CF deben estar ausentes de todos los alimentos. Farhadkhani et al. (2018) evaluaron CT, CF y *E. coli* en ART, suelo y cosechas al usar riego con ART; estos autores encontraron concentraciones de CF de 6 NMP/g antes de la siembra, 146 NMP/g después del primer ciclo de cosecha y 1048 NMP/g después del segundo ciclo. A diferencia de nuestro estudio, la concentración de CF en suelo aumentó conforme se riega con ART.

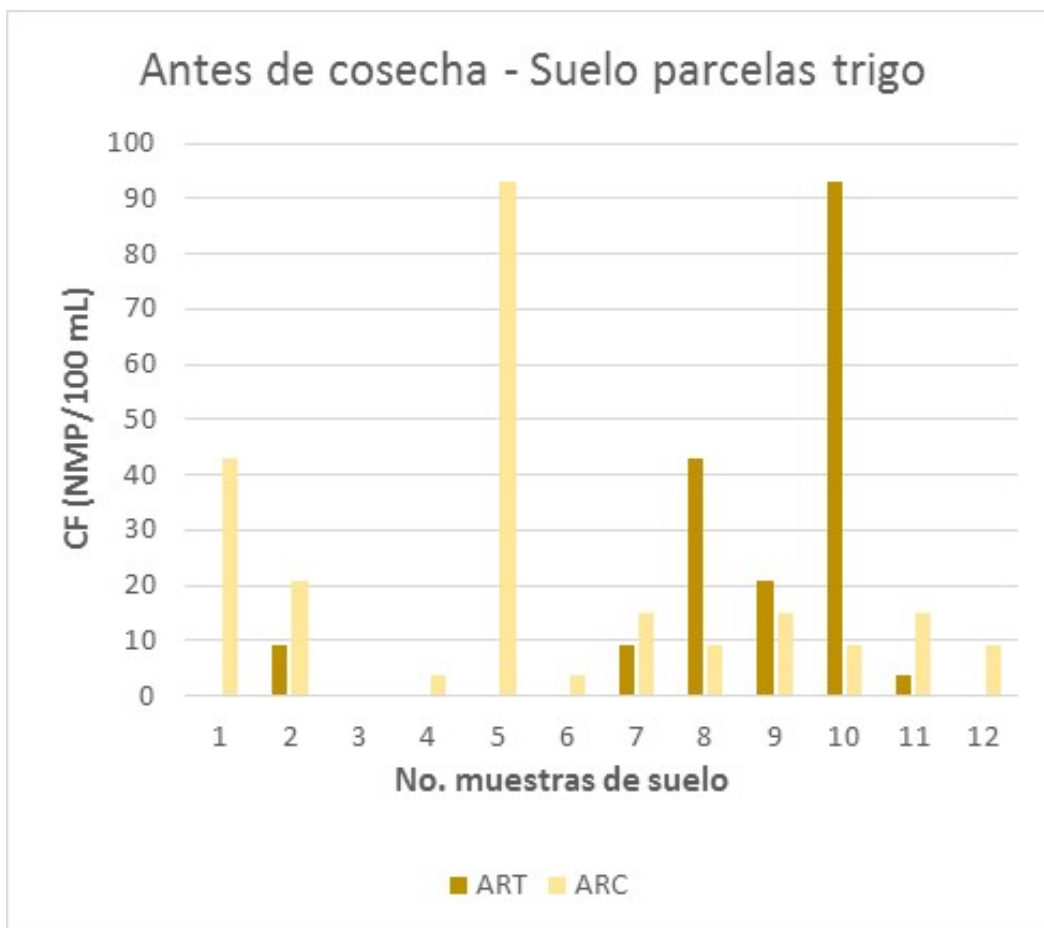


Figura 4.11. CF en muestras de suelos regados con ARC y ART, antes de la cosecha. Ciclo agrícola 2021-2022.

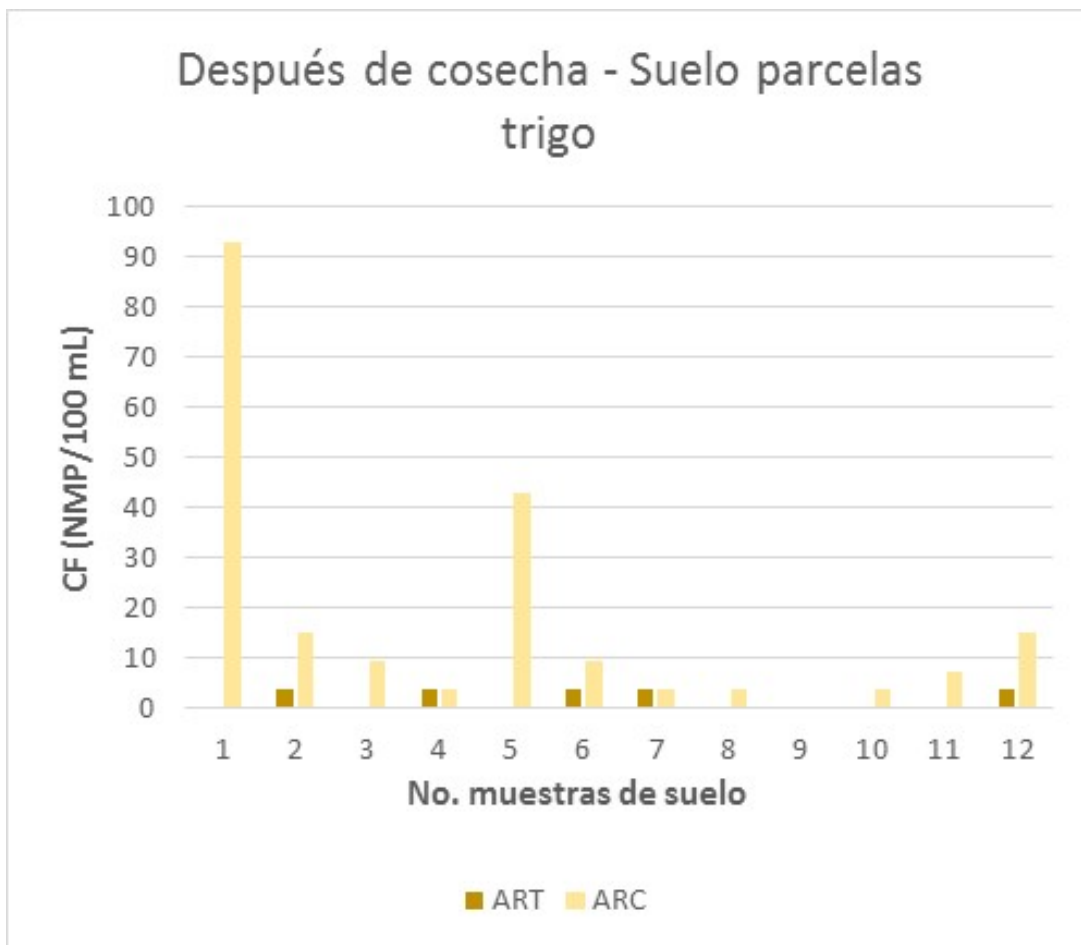


Figura 4.12. CF en muestras de suelos regados con ARC y ART, después de la cosecha. Ciclo agrícola 2021-2022.

4.3 Resultados bacteriológicos en grano y paja de trigo.

En este apartado se presentan los resultados de CT y CF en grano y paja de trigo de las 12 muestras tomadas de las parcelas regadas con ART y ARC.

4.3.1 CT y CF en grano de trigo.

En la Tabla 4.1 se presentan las concentraciones de CT y CF en grano de trigo regado con ARC y ART. Todas las concentraciones están debajo de los límites establecidos por la NOM-187-SSA1/SCFI-2002 (SSA/SCFI, 2003) y 6 muestras rebasan el límite establecido por la Unión Europea. Esta comparación se considera porque el trigo es la materia prima de la

harina integral para tortilla. Con respecto a los CF, todas las muestras de trigo tuvieron valores menores a 3 NMP/g (que es el límite de detección del método). En el estudio de Minhas et al. (2006), para determinar patógenos en ciertos cultivos regados con ART, en granos de trigo, se obtuvieron resultados parecidos a los de este estudio; atribuyendo la reducción de contaminación microbiológica al secado al sol de los granos y a que no hubo contacto directo con el ART. Las concentraciones de CF estuvieron abajo del LMP de la APHA y de la Unión Europea. El análisis de varianza para la tabla ANOVA señala que no hay diferencias significativas entre las medias de CT en granos de trigo regados con ART y ARC.

Tabla 4.1. CT y CF en grano de trigo regado con ARC y ART (ciclo 2021-2022).

| Puntos de muestreo | CT [NMP/g] | | LMP [NMP/g] | LMP [NMP/g] | CF [NMP/g] | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--|----------------------------|--------------------|--------------------|
| | Grano de trigo ARC | Grano de trigo ART | NOM-187 SSA1/SCFI 2002 ^a (SSA/SCFI, 2003) | Unión Europea ^c | Grano de trigo ARC | Grano de trigo ART |
| 1 | 335 | 26.1 | | | < 3.0 | < 3.0 |
| 2 | 240 | 43 | | | < 3.0 | < 3.0 |
| 3 | 33 | 3.6 | | | < 3.0 | < 3.0 |
| 4 | 58 | <3.0 | 500 | 100 | < 3.0 | < 3.0 |
| 5 | 240 | 93 | | | < 3.0 | < 3.0 |
| 6 | 3.6 | <3.0 | | | < 3.0 | < 3.0 |
| 7 | 240 | 335 | | | < 3.0 | < 3.0 |
| 8 | 23 | 39.3 | | | < 3.0 | < 3.0 |
| 9 | <3.0 | <3.0 | | | < 3.0 | < 3.0 |
| 10 | <3.0 | 166.5 | | | < 3.0 | < 3.0 |
| 11 | <3.0 | 43 | | | < 3.0 | < 3.0 |
| 12 | <3.0 | 240 | | | < 3.0 | < 3.0 |

a. LMP de CT en harina integral para tortillas NOM-187-SSA1/2002 (SSA/SCFI, 2003). (n = 3) triplicado

b. APHA American Public Health Association, 2003.

En la Tabla 4.2, se presenta las concentraciones de microorganismos en granos de trigo molido que se comparan con un estudio realizado en la misma zona de estudio, en campañas agrícolas anteriores por Salazar (2021). Este resultado se presentó en un

congreso internacional (Alvarez et al., 2023) donde se establece que los mesófilos y el porcentaje de humedad se consideran aceptables según la NOM-247-SSA2-2008; y, los CT no se detectaron en el trigo del primer ciclo agrícola y en el segundo ciclo sólo en algunas muestras. Estos mismos autores mencionan que la concentración promedio, aunque sólo en 6 muestras de Trigo-ART fue de 305 NMP/g valor superior al de 153 NMP/g de las 5 muestras positivas de Trigo-ARC, sin embargo, ambas concentraciones son menores al LMP establecido en la NOM-187-SSA1/SCFI-2002, considerando al trigo molido como harina integral para elaborar tortilla. Finalmente mencionan que el Trigo-ART no presentó contaminación por CF, aunque fue regado con ART con concentraciones promedio de 2.1×10^3 NMP/100 mL de CF en el primer ciclo agrícola y en el segundo de 863 NMP/100 mL (resultados obtenidos de 4 muestreos simples por ciclo, realizados en el canal de riego).

Un dato importante a resaltar de la Tabla 2 es el porcentaje de humedad de la muestra de grano de trigo. El porcentaje de humedad mostrados en la Tabla 2 no superan los límites máximos establecidos en la Norma NOM-247-SSA1-2008 (SSA, 2009) en el apartado 5.2.2.4 de especificaciones físicas y microbiológicas. En esta campaña agrícola 2021-2022 el porcentaje de humedad en trigo ART fue de 9.57 ± 1.26 % y en trigo ARC 9.26 ± 2.56 %. Aydin et al. (2009) obtuvieron niveles de humedad baja en el trigo, atribuyéndolo a la temperatura alta del ambiente. En general, la cosecha del trigo, en nuestro estudio, se da cuando a una temperatura ambiente superior a 30 °C en abril y mayo.

Tabla 4.2. Resultados bacteriológicos en grano de trigo. Tomado de Alvarez et al. (2023).

| Trigo molido | Ciclo agrícola | Humedad [%] | Mesófilos [UFC/g] | A. CT [NMP/g] | CF/E. coli [NMP/g] | Salmonella [P/A] |
|--------------|----------------|-----------------|--------------------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|
| Trigo-ART | 2018-2019 | 6.89 ± 0.61 | $23,250 \pm 1145$ | < 3 | < 3 / NA | NA |
| Trigo-ARC | 2018-2019 | 7.96 ± 0.66 | $15,767 \pm 3,069$ | < 3 | < 3 / NA | NA |
| Trigo-ART | 2021-2022 | 9.57 ± 1.26 | 2650 ± 326 | < 3 a 305 ± 59 | < 3 / < 3 | Ausencia |
| Trigo-ARC | 2021-2022 | 9.26 ± 2.56 | 4079 ± 772 | < 3 a 153 ± 136 | < 3 / < 3 | Ausencia |
| LMP | | 15 ^a | 5×10^{5a} < 10^{6c} | 500 ^b | < 10^{3c} / A ^c | Ausencia ^c |

^aNOM-247-SSA1-2008 (SSA, 2009). ^bNOM-187 SSA1/SCFI-2002. ^cFEDNA. NA: no analizado.

4.3.2 CT y CF en paja de trigo.

Se puede observar en la Figura 4.13 que solo 4 muestras presentaron una concentración de CF en las muestras de paja de trigo regada con ART y 3 muestras para las regadas con ARC. El promedio en ART fue de 18.15 ± 5.6 NMP/100 mL mayor que en la paja regada con ARC con 11.2 ± 6.58 NMP/100 mL (ambas en base seca) –ver Anexo A, 5.2.7-. No se detectó en ninguna muestra contaminación por CF, aunque Salazar (2021) señala la presencia de CF en muestras de paja de trigo, para la misma zona de estudio. Cabe resaltar que en nuestro estudio, se continuó con el mismo sistema agrícola y se continuó con el riego por inundación.

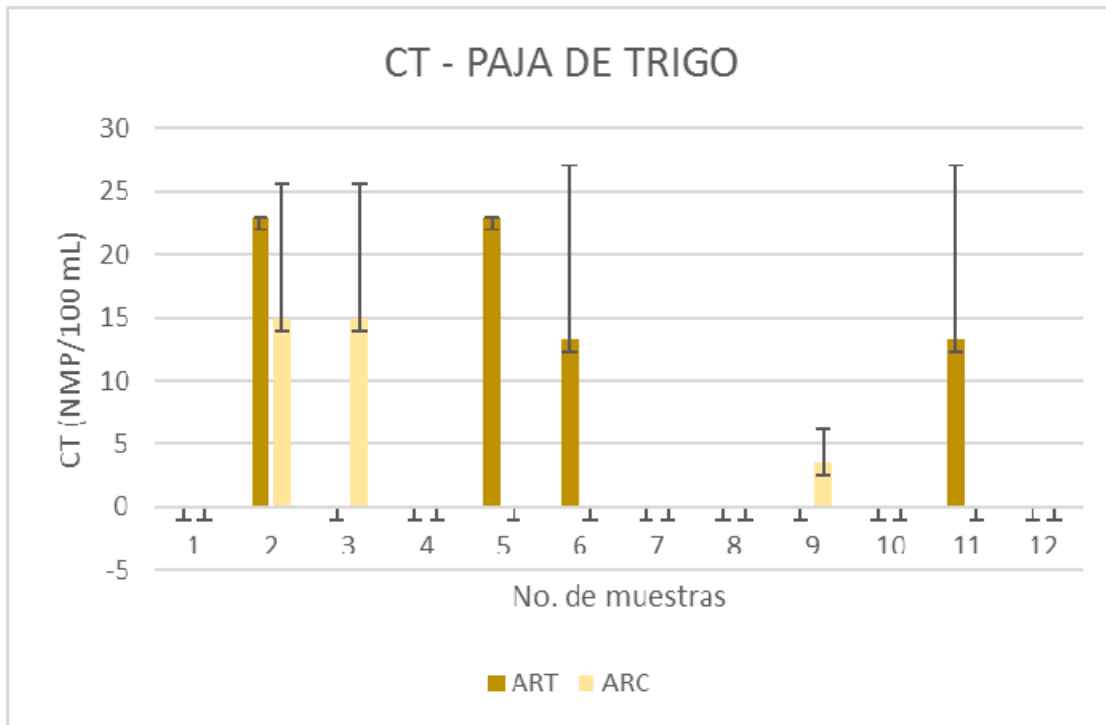


Figura 4.13. CT en paja de trigo regado con ART y ARC. Campaña agrícola 2021-2022.

La tabla 3 muestra la comparación con el estudio de Salazar (2021) realizado en la misma zona agrícola, resaltando las observaciones anteriores. Así, Los resultados promedios obtenidos en paja de trigo en base seca se muestran en esta tabla. Se observan las concentraciones mayores de CT en Paja-ART que en Paja-ARC pero para el ciclo agrícola previo (2018-2019); en el estudio del presente documento, no se detectaron. Al igual

sucede con los CF prácticamente sólo se detectaron en la Paja-ART del primer ciclo agrícola (2018-2019) y fue menor a 10^3 del LMP de la FEDNA y no hubo presencia de la *E. coli* ni de *Salmonella* en el segundo ciclo agrícola (en el primero no se analizaron estos parámetros bacteriológicos). Salazar asocia la presencia de CF en la paja de trigo a que son las partes de los cultivos que entran en contacto directo con el agua (ART), esto también lo señala Minhas et al. (2006). Sin embargo, en este estudio no se tuvieron los mismos resultados.

Tabla 4.3. Resultados bacteriológicos en paja (heno) de trigo. Tomada de Alvarez et al. (2023).

| Trigo (paja) | Ciclo agrícola | CT [UFC/g] | CF [UFC/g] | <i>E. coli</i> [UFC/g] | <i>Salmonella</i> P/A |
|--------------|----------------|------------|--------------|------------------------|-----------------------|
| Paja-ART | 2018-2019 | 25 ± 4.2 | 12.8 ± 3.0 | NA | NA |
| Paja-ARC | 2018-2019 | 6 ± 1.2 | < 3.0 - 3.6* | NA | NA |
| Paja-ART | 2021-2022 | < 3 a 23* | < 3 | < 3 | Ausencia |
| Paja-ARC | 2021-2022 | < 3 a 15* | < 3 | < 3 | Ausencia |
| LMP FEDNA | | | < 10^3 | Ausencia | Ausencia |

P/A: Presencia/Ausencia. NA: no analizado *Rango de valores: el mínimo se presenta en varias muestras.

4.3.3 Mesófilos aerobios en grano y paja de trigo regados con ART y ARC.

La figura 4.14 muestra los mesófilos aerobios en grano de trigo regados con ART y ARC. De acuerdo a estos resultados, el grano de trigo presenta una buena calidad sanitaria ya que no supera el LMP de la norma mexicana NOM-247-SSA1-2008 15 que es de 500,000 UFC/g. Silva (2004) señala que los mesófilos aerobios indican calidad sanitaria. En el estudio de Minhas et al. (2006), se encontraron concentraciones de mesófilos aerobios de 3.8×10^{10} UFC/g (media). Cabe resaltar que para este parámetro bacteriológico los valores en grano de trigo regados con ARC son más altos que los regados con ART. Este resultado parece contradictorio ya que se esperaría que el ART, por su mismo origen, aporte una carga bacteriológica mayor.

En cuanto a los mesófilos aerobios en la paja de trigo regado con ambos tipos de agua (fig. 4.15), muestran valores más elevados y cercanos al LMP de la norma. Incluso una de las muestras sobrepasa este LMP. Sin embargo, al igual que en los valores encontrados en el grano de trigo, los valores mayores se dan en las muestras regadas con ARC.

El análisis estadístico con la prueba ANOVA, tanto para el grano y paja de trigo, indica que no que existe una diferencia significativa de los valores medios entre ambos tipos de agua. La prueba Kruskal-Wallis que se basa en la mediana y que se usa cuando existen valores atípicos, también indica que no hay diferencia significativa (ver anexo B, apartado 6.1.11).

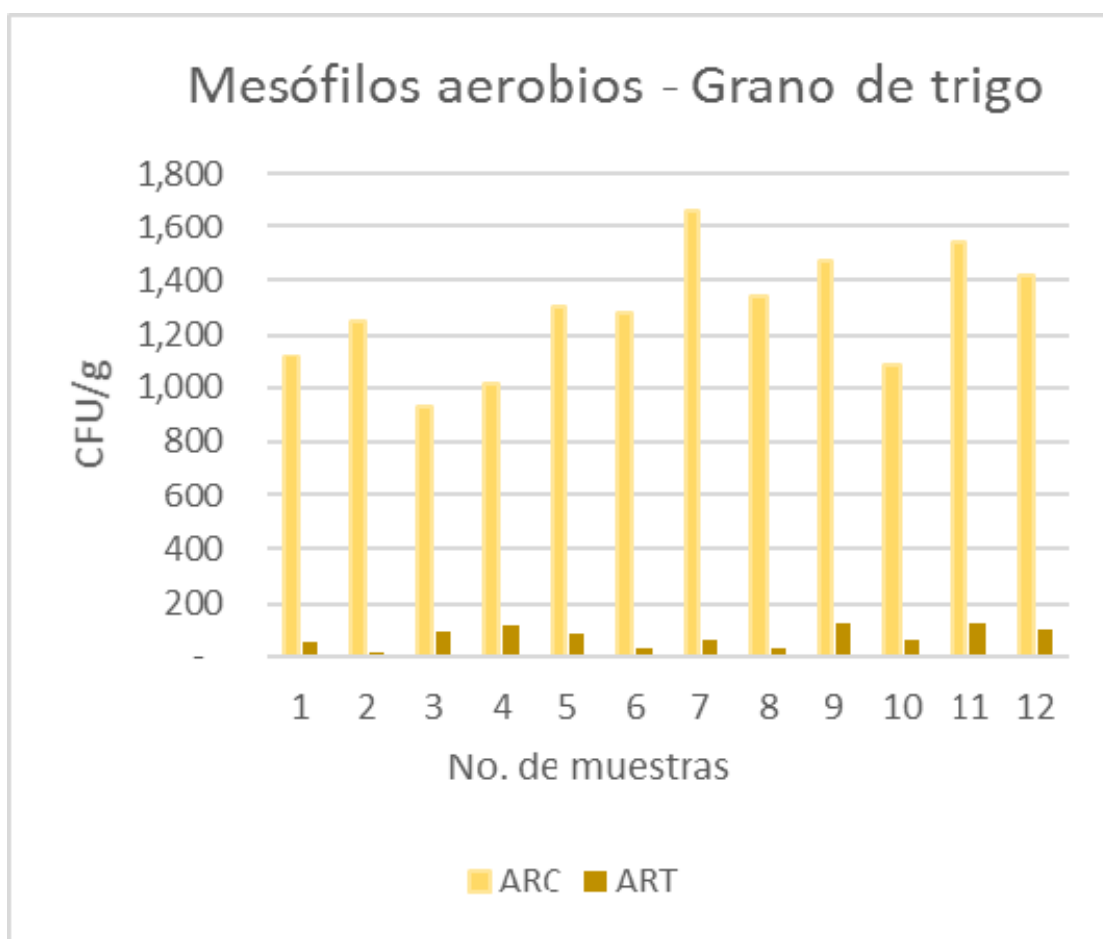


Figura 4.14. Mesófilos aerobios en grano de trigo regados con ART Y ARC. Campaña agrícola 2021-2022.

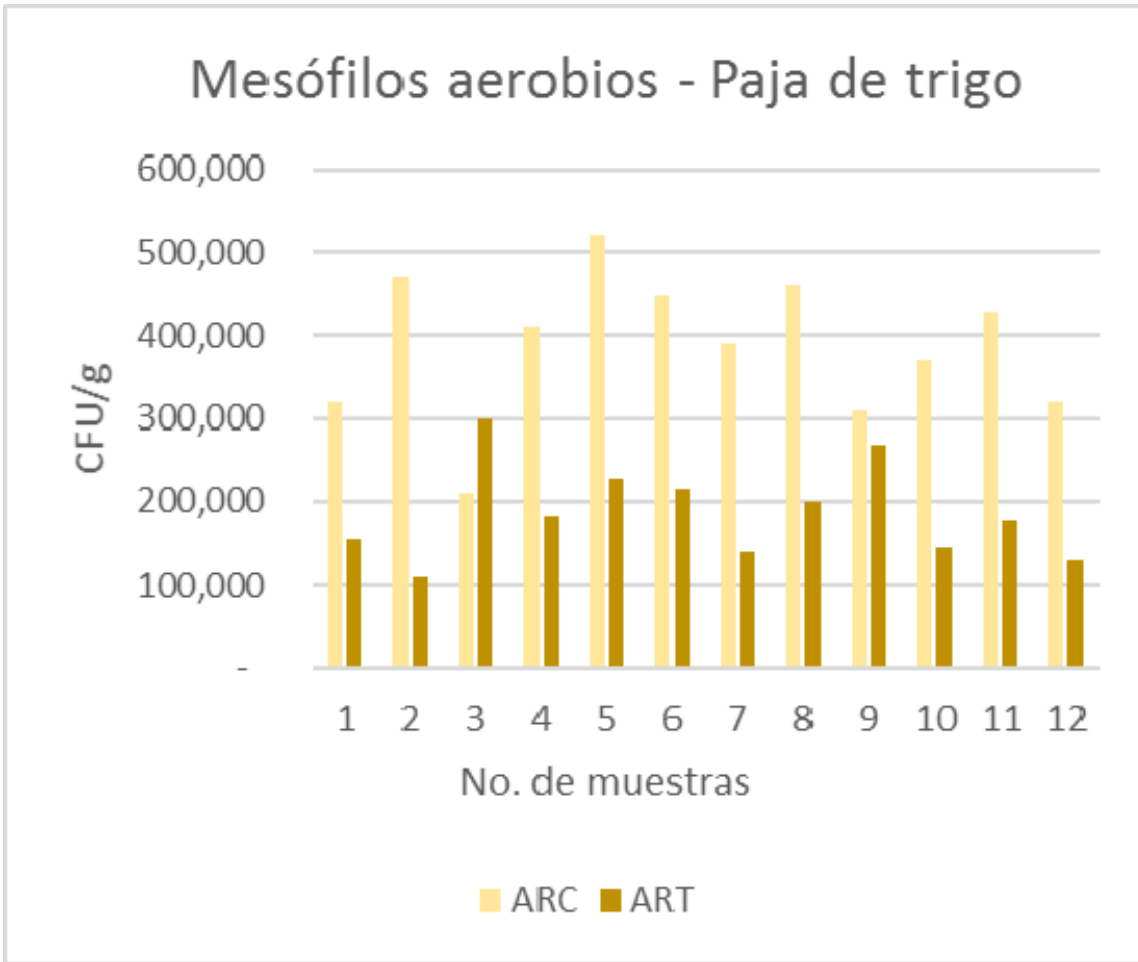


Figura 4.15. Mesófilos aerobios en paja de trigo regados con ART Y ARC. Campaña agrícola 2021-2022.

5 CAPÍTULO CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En muchos lugares del mundo, el uso del ART en la agricultura es una realidad, ya que alivia la escasez hídrica y da beneficios al sector agrícola y al medio ambiente. Aunque, si el agua residual no se trata o no tiene un tratamiento adecuado, puede ocasionar problemas sanitarios, principalmente por la presencia de sustancias nocivas y microorganismos patógenos en alimentos.

En este estudio, el análisis bacteriológico del grano de trigo en el ciclo agrícola 2021-2022, respecto a la concentración de CT y riego con ART, no presentó afectación, aunque si una mayor concentración de mesófilos aerobios, pero aceptable según los LMP de la norma NOM-247-SSA1-2008.

La paja de trigo tuvo valores de CT abajo del LMP, y los microorganismos patógenos de CF, E. coli y Salmonella ausentes o abajo del límite de detección por lo que se puede considerar apta para el consumo de ganado según la norma española FEDNA. Se recomienda más estudios respecto a la calidad nutricional del trigo y de otros posibles productos agrícolas con el fin de valorar si los nutrientes aportados y contenidos en el ART del Valle de Mexicali son asimilados por los cultivos y si hay una diferencia significativa entre el uso agrícola del ART respecto al ARC.

Respecto al suelo, el pH fue medianamente alcalino y la CE indica ligeramente salino con el ART, y el regado con ARC se clasifica como salino. En este periodo de evaluación la parcela regada con ART tiene una menor salinidad que la de ARC, lo que parece ser contradictorio. Se recomienda darle seguimiento al estudio por posibles incrementos críticos de indicadores ambientales, para en su caso, realizar las medidas adecuadas de protección ambiental y de posibles consumidores de productos regados con ART.

De esta forma y de acuerdo a los resultados obtenidos, de las concentraciones promedios de los diferentes microorganismos analizados en trigo y comparadas con los LMP de las normas mexicanas citadas, se resume que el cultivo de trigo regado con ART hasta la

etapa de la precosecha de las parcelas analizadas en este estudio es inocuo para el consumo humano y el consumo de ganado.

Con estos indicadores se puede seguir optando por la aplicación de ART en el sector agrícola ya que no es un factor que propicie un aumento microbiano que rebase los LMP. Esto considerando que se tienen resultados bacteriológicos de dos ciclos agrícolas, se recomienda seguir en ensayos y su debido reporte para poder realizar predicciones o análisis extensos respecto a la afectación del cultivo y suelo.

- ACHIPIA, Área Soporte al Análisis de Riesgo. (2017). Ficha de peligros/ACHIPIA N°08: *Vibrio parahaemolyticus*. Versión 01. Santiago, Chile.
- ACHIPIA, Área Soporte al Análisis de Riesgo. (2018). Ficha de peligros/ACHIPIA N°09: *Shigella* spp. Versión 01. Santiago, Chile.
- Alvarez Valdez Brisa, Salazar Escalante Luz Estela, Reyes López Jaime Alonso y Vega Cázares Miguel, 2023. Calidad bacteriológica del cultivo de trigo regado con agua residual tratada en el valle de Mexicali, Baja California. XXVI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas, Mexicali, B.C. Mexicali, B.C., 26 y 27 de octubre de 2023. Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California; Mexicali, B.C. México
- Álvarez Valencia, L. H., García Reyes, R. B., Ulloa Mercado, R. G., Arellano Gil, M., & García González, A. (2019). Potencial biotecnológico para la valorización de residuos generados en granjas porcinas y cultivos de trigo. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 7(21), 1-21.
- Amazará-García, Estiven & Quintero-Lidueñez, Yeison. (2022). *Microbiología de alimentos recuento de los microorganismos aerobios mesófilos*.
- AOAC 2014.01. *Salmonella in Selected Foods*. Kit name 3M™ Petrifilm™. *Salmonella Express System*.
- AOAC 989.13-1998 (2000) Title: *Motile salmonella in all foods*. Immunodiffusion (1-2TEST) method.
- AOAC 991.14. *Coliform and Escherichia coli Counts in Foods*. Kit name Petrifilm™ *E. coli/Coliform Count Plate™*, Petrifilm™ *Coliform Count Plate™*.
- Aydin, A., Paulsen, P., y Simuldere, F.J.M. (2009). The physico-chemical and microbiological properties of wheat. *Turk J. Agric.*33, 445–454. doi: 10.3906/tar-0901-20

- Becerra-Castro, C., Lopes, A.R., Vaz-Moreira, I., Silva, E.F., Manaia, C.M., Nunes, O.C., 2015. Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environ. Int.* 75, 117–135.
- Becerra-Castro, C., Lopes, A.R., Vaz-Moreira, I., Silva, E.F., Manaia, C.M., Nunes, O.C., 2015. Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environ. Int.* 75, 117–135.
- Berghofer, L. K., Hocking, A. D., Miskelly, D., & Jansson, E. (2003). Microbiology of wheat and flour milling in Australia. *International Journal of Food Microbiology*, 85(1–2), 137–149.
- Bichai, F., Polo-López, M. I., & Ibañez, P. F. (2012). Solar disinfection of wastewater to reduce contamination of lettuce crops by *Escherichia coli* in reclaimed water irrigation. *Water research*, 46(18), 6040-6050.
- Blumenthal, U.J., D.D.Mara, A. Peasey, G. Ruiz-Palacios y R. Stott. 2000. Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the World Health Organization* 78(9),1104-1116.
- Callicó, A., Cedré, B., Sifontes, S., Torres, V., Pino, Y., Callís, A. H., & Esnard, S. C. (2004). Caracterización fenotípica y serológica de aislamientos clínicos de *Pseudomonas aeruginosa*. *VacciMonitor*, 13(3), 1-9.
- Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Emerging and Zoonotic Infectious Diseases (NCEZID), Division of Foodborne, Waterborne, and Environmental Diseases (DFWED) (2023). Salmonella Outbreak Linked to Flour. CDC Centers for Disease Control and Prevention. Updated 07/13/2023.
- Cereal Foods World* , 57 (3) (2012) , págs . 104-109 ,10.1094/CFW-57-3-0104
- Chen, Y. X., Guo, X. N., Xing, J. J., & Zhu, K. X. (2020). Effects of tempering with steam on the water distribution of wheat grains and quality properties of wheat flour. *Food Chemistry*, 323, 126842.

- Chen, Y. X., Guo, X. N., Xing, J. J., Sun, X. H., & Zhu, K. X. (2020). Effects of wheat tempering with slightly acidic electrolyzed water on the microbial, biological, and chemical characteristics of different flour streams. *Lwt*, 118, 108790.
- Chojnacka, K., Witek-Krowiak, A., Moustakas, K., Skrzypczak, D., Mikula, K., & Loizidou, M. (2020). A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: Prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109959.
- Cisneros y Saucedo, 2016. Cisneros Estrada Olga Xóchitl y Saucedo Rojas Heber (2016) Reúso de aguas residuales en la agricultura. Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua © 2016. 170 pp. ISBN 978-607-9368-76-0 1. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/reuso-aguas-residuales.pdf
- CONAGUA, 2010. (Comisión Nacional del Agua). 2010. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año 2007-2008. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Contreras, J. D., Meza, R., Siebe, C., Rodríguez-Dozal, S., López-Vidal, Y. A., Castillo-Rojas, G., & Eisenberg, J. N. (2017). Health risks from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: A 25-year update. *Water Research*, 123, 834-850.
- Cortez Lara, Alfonso Andrés. (2000). La autogestión de usuarios hidroagrícolas del valle de Mexicali: Efectos del proceso de transferencia. *Estudios fronterizos*, 1(2), 65-91. Recuperado en 01 de diciembre de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-69612000000200003&lng=es&tlng=es.
- Crowe, S.J., Bottichio, L., Shade, L.N., Whitney, B.M., Corral, N., Melius, B., Arends, K.D., Donovan, D., Stone, J., Allen, K., Rosner, J., Beal, J., Whitlock, L., Blackstock, A., Wetherington, J., Newberry, L.A., Schroeder, M.N., Wagner, D., Trees, E., Viazis, S., Wise, M.E., Neil, K.P., (2017). Shiga toxin-producing *E. coli* infections associated with flour. *N. Engl. J. Med.* 377, 2036–2043. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1615910>.

- Croxen, M. A., Law, R. J., Scholz, R., Keeney, K. M., Wlodarska, M., & Finlay, B. B. (2013). Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clinical microbiology reviews*, 26(4), 822-880.
- Eglezos S. (2010). Microbiological quality of wheat grain and flour from two mills in Queensland, Australia. *Journal of Food Protection*, 73(8), 1533- 1536. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-73.8.1533>
- Elgallal, M., Fletcher, L. y Evans, B. (2016). Evaluación de los riesgos potenciales asociados con los productos químicos en las aguas residuales utilizadas para riego en zonas áridas y semiáridas: una revisión *Gestión del agua agrícola*, 177, 419-431
- EPA, 2012. United States Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse. AR-1530. EPA/600R-16-618-September 2012.
- Espinosa, M., Ortiz, F., Vargas, E. (2011). "Muestreo de Suelos y preparación de muestras". Gobierno Federal. SAGARPA. INIFAP. Obtenido de: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/935.pdf>
- European Commission. (2020). Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. *Official Journal of the European Union L*, 177, 32-55.
- FAO (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). Reutilización de aguas residuales en América Latina y el Caribe. Estado, Principios y necesidades. Editado por Javier Mateo-Sagasta. Santiago de Chile, 2017. Disponible desde Internet en: <http://www.fao.org/3/a-i7748s.pdf>
- Fatima-Zahra Lahlou, Hamish R. Mackey, Tareq Al-Ansari (2021). Wastewater reuse for livestock feed irrigation as a sustainable practice: A socio-environmental-economic review, *Journal of Cleaner Production*, Volume 294, 2021. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621005515>)

Fattahi, F., Daneshvar, M., Rahmani, H. R., Modarress Sanavy, S. A. M., & Sami, M. (2020). Effect of irrigation with municipal wastewater on heavy metal and fecal coliform concentrations in plant and soil. *Global Nest Journal*, 22(1), 42-47.

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura [FIRA]. (2015). Panorama Agroalimentario: Trigo. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61954/Panorama_Agroalimentario_Trigo_2015.pdf

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura [FIRA]. (2015). Panorama Agroalimentario: Trigo. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61954/Panorama_Agroalimentario_Trigo_2015.pdf

Focker, M., & van der Fels-Klerx, H. J. (2020). Economics applied to food safety. *Current Opinion in Food Science*, 36, 18-23.

Fronterizos, 6, 119-153.

Fundación española para el desarrollo de nutrición animal (FEDNA), 2002. <http://www.fundacionfedna.org/normas-fedna-control-calidad> consultado en diciembre de 2020.

Ganjegunte Girisha, Ulery April, Niu Genhua, Wu Yanqi, (2017). Effects of treated municipal wastewater irrigation on soil properties, switchgrass biomass production and quality under arid climate, *Industrial Crops and Products*, Volume 99, 2017, Pages 60-69, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.01.038>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669017300389>)

García, C., Montero, G., Coronado, M., & Acosta, M. (2013). Potencial energético de la paja de trigo en el valle de Mexicali. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 67-72.

[gob.mx/work/templates/enciclo /bajacalifornia/municipios/02002a.htm](http://gob.mx/work/templates/enciclo/bajacalifornia/municipios/02002a.htm) [en línea] 02/05/2011.

Gomiero, T., Paoletti, M. G., & Pimentel, D. (2008). Energy and environmental issues in organic and conventional agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27(4), 239-254.

Harris, L. J., & Yada, S. (2019). Flour and cereal grain products: foodborne illness outbreaks and product recalls [Tables and references]. *Flour & Cereal Grains—Outbreaks and Recalls*. Available at: https://ucfoodsafety.ucdavis.edu/Low_Moisture_Foods.

Harris, L. J., & Yada, S. (2021). (2021-present) supported by the Agriculture and Food Research Initiative, Sustainable Agricultural Systems Program grant no. 2020-68012-31822 from the USDA National Institute of Food and Agriculture. Updated 8/6/2021.

Haruvy, N. (1998). Wastewater reuse—regional and economic considerations. *Resources, Conservation and Recycling*, 23(1-2), 57-66.

Hernández Vázquez Benjamín, Alvarado Padilla J. Iván, Valenzuela Palafox J. Alberto (2011). Descripción de las Variedades de Trigo para el Valle de Mexicali, B.C. y Norte de Sonora. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional Noroeste Campo Experimental Valle de Mexicali. Mexicali, B. C., diciembre de 2011. Folleto técnico No. 18 ISBN: 978-607-425-674-1

<https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-345>

<https://multimedia.3m.com/mws/media/16257180/3m-sistema-petrefilm-salmonella-express-pfsx-gua-de-interpretacin.pdf>

<https://www.neogen.com/categories/microbiology/petrefilm-rapid-e-coli-coliform-count-plates/>

Huertas, E., Salgot, M., Hollender, J., Weber, S., Dott, W., Khan, S., & Chikurel, H. (2008). Objetivos clave para los conceptos de reutilización del agua. *Desalación*, 218 (1-3), 120-131.

- INFDM, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (2005). Gobierno del Estado de Baja California. Enciclopedia de los municipios de México, Estado de Baja California, Mexicali. <http://www.elocal>.
- Jaramillo, M. F., & Restrepo, I. (2017). Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. *Sustainability*, 9(10), 1734
- K., & Alamri, S. A. (2018). Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. *Encyclopedia of the Anthropocene*, 5, 225-240.
- Karan, R., & Subudhi, P. K. (2012). Approaches to increasing salt tolerance in crop plants. *Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability*, 63-88. Khan, M. N., Mobin, M., Abbas, Z.
- Laca, A., Mousia, Z., Díaz, M., Webb, C., & Pandiella, S. S. (2006). Distribution of microbial contamination within cereal grains. *Journal of Food Engineering*, 72(4), 332–338. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.01>
- Lahlou, F. Z., Mackey, H. R., & Al-Ansari, T. (2021). Wastewater reuse for livestock feed irrigation as a sustainable practice: A socio-environmental-economic review. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126331
- Li, F. Q., Li, Y. W., Luo, X. Y., & Yoshizawa, T. (2002). Fusarium toxins in wheat from an area in Henan Province, PR China, with a previous human red mould intoxication episode. *Food Additives & Contaminants*, 19(2), 163-167.
- Li, M., Peng, J., Zhu, K. X., Guo, X. N., Zhang, M., Peng, W., & Zhou, H. M. (2013). Delineating the microbial and physical–chemical changes during storage of ozone treated wheat flour. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 223-229.
- Made, et al., 2017. Made, D., Geuthner, A. C. Imming, R., and Wicke, A. (2017). Detection and isolation of shiga-toxin producing *Escherichia coli* in flour in Germany. *J. Consum. Prot. Food Saf.* 12, 245-253. Doi: 10.1007/s00003-017-1113-1
- Magallanes López, A. M., & Simsek, S. (2021). Pathogens control on wheat and wheat flour: A review. *Cereal Chemistry*, 98(1), 17-30.

- Mahami, T., Odai, B. T., Nettey, S. N., Asamoah, A., Adjei, I., Offei, B., ... & Ocloo, F. C. (2023). Microbial food safety of lettuce produced under irrigated wastewater from Onyasia River in Ghana. *Heliyon*, 9(9).
- Manthey, F. A., Wolf-Hall, C. E., Yalla, S., Vijayakumar, C., & Carlson, D. (2004). Microbial loads, mycotoxins, and quality of durum wheat from the 2001 harvest of the Northern Plains region of the United States. *Journal of Food Protection*, 67(4), 772–780. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.4.772>
- Metcalf y Eddy. 2003. *Waste engineering: treatment and reuse*. 4th ed. McGraw-Hill, Nueva York. 1819 p.
- Minhas, P. S., Sharma, N., Yadav, R. K., Joshi, P. K., 2006. Prevalence and control of pathogenic contamination in some sewage irrigated vegetable, forage and cereal grain crops. *Bioresour. Technol.* 97, 1174–1178
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2013). *Estrategia Nacional de Recursos Hídricos*. En: http://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf (01 de noviembre de 2013).
- Mishra, S., Kumar, R., & Kumar, M. (2023). Use of Treated Sewage or wastewater as an Irrigation Water for Agricultural Purposes-Environmental, Health, and Economic Impacts. *Total Environment Research Themes*, 100051. Mizyed, N. R. (2013). Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid areas. *Environmental science & policy*, 25, 186-195.
- Mojid, M.A. Biswas, S.K. Wyseure G.C.L. (2012). Interaction effects of irrigation by municipal wastewater and inorganic fertilisers on wheat cultivation in Bangladesh, *Field Crops Research*, Volume 134, 2012, Pages 200-207, ISSN 0378-4290, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.06.010>.
- Montero Gisela, Coronado Marcos A., Torres Ricardo, Jaramillo Beatriz E., García Conrado, Stoytcheva Margarita, Vázquez Ana M., León José A., Lambert Alejandro A., Valenzuela Edgar (2016). Higher heating value determination of wheat straw from Baja California, Mexico, *Energy*, Volume 109, 2016, Pages

- Moreno M. y López M. (2005). Desarrollo agrícola y uso de agroquímicos en el Valle de Mexicali. Estudios
- Morton, V., Cheng, J.M., Sharma, D., Kearney, A., (2017). An outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O121 infections associated with flour—Canada, 2016-2017. *Can. Commun. Dis. Rep.* 43, 154–155.
- Moscoso, J. 2016. Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas. Autoridad Nacional del Agua (ANA) y Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Muamar, A., Tijane, M. H., Shawqi, E., El Housni, A., Zouahri, A., & Bouksaim, M. (2014). Assessment of the impact of wastewater use on soil properties. *J. Mater. Environ. Sci.* 5(3), 747-752.
- Mussarat, M., Jamal, W. A., Muhammad, D., Ahmad, M., Saleem, A., Khan, S., ... & Malik, W. (2021). Risk of heavy metals accumulation in soil and wheat grains with waste water irrigation under different NPK levels in alkaline calcareous soil. *Plos one*, 16(11), e0258724.
- Muyen, Z., Moore, G.A., Wrigley, R.J., 2011. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agric. Water Manage.* 99, 33–41.
- Myoda, S. P., Gilbreth, S., Akins-Leventhal, D., Davidson, S. K., & Samadpour, M. (2019). Occurrence and levels of salmonella, enterohemorrhagic *Escherichia coli*, and listeria in raw wheat. *Journal of Food Protection*, 82(6), 1022–1027.
- Neogen. (2023). Placas de recuento rápido de *E. coli* /coliformes 3M™ Petrifilm®
- Norma Mexicana NMX-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedades de la nación.
- Norma Mexicana NMX-042-SEMARNAT-2015. Análisis de agua - Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y

Escherichia coli – Método del número más probable en tubos múltiples, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de abril de 2016.

Norma Mexicana NMX-AA-003-1980. Aguas residuales - Muestreo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016. Análisis de agua. - Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 09 de septiembre de 2016.

Norma Mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001. Análisis de agua - Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2001.

Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de aguas - Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 04 de septiembre de 2001.

Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2018. Análisis de agua-medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. -Método de prueba, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de junio de 2018.

Norma Mexicana NMX-AA-099-SCFI-2021. Análisis de agua – Medición de Nitrógeno de Nitritos en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas – Método de prueba, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de septiembre de 2021.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. - lodos y biosólidos. -especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto de 2003

Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestro y análisis. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 2002.

Norma Oficial Mexicana NOM-110-SSA1-1994. Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto de 1994.

Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba

Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002. Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba

Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014. Productos y servicios. Métodos de pruebas microbiológicas. Determinación de microorganismos indicadores.

Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008. Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas sémolas y semolinas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de pruebas.

Norton-Brandão, D., Scherrenberg, S., Van Lier, J. (2013). Reclamation of used urban waters for irrigation purposes - A review of treatment technologies. *Journal of Environmental Management*, 122, pp. 85-98.

Núñez Ramírez, Fidel, Grijalva Contreras, Raúl Leonel, Macías Duarte, Rubén, Samaniego Gámez, Blancka Yesenia, Escobosa García, Isabel, Grimaldo Juárez, Onécimo, & Suárez Hernández, Ángel Manuel. (2022). Incorporación de paja al suelo, inoculación con zinc a la semilla y fertilización con nitrógeno en trigo cultivado bajo condiciones de suelo salino. *Terra Latinoamericana*, 40, e1010. Epub 13 de junio de 2022. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1010>

Ofori, S., Puškáčová, A., Růžičková, I., & Wanner, J. (2021). Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science of The Total Environment*, 760, 144026.

- Ofori, S., Puškáčová, A., Růžičková, I., & Wanner, J. (2021). Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science of The Total Environment*, 760, 144026.
- Ofori, S., Puškáčová, A., Růžičková, I., & Wanner, J. (2021). Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science of The Total Environment*, 760, 144026.
- OMS (Organización Mundial de la Salud), 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie Informes técnicos, 778. Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra. 93 p
- Oram, B. (2014). Fecal coliform bacteria in water. Water Research Center.
- Prialé Farro, C. A. (2016). Muestreo de suelos: referencias sobre el análisis e interpretación de resultados.
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-109-SSA1-1994, Bienes y servicios. Procedimientos para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1995.
- Qadir, M., & Scott, C. A. (2009). Non-pathogenic trade-offs of wastewater irrigation. In *Wastewater irrigation and health* (pp. 101-126). Routledge.
- Qadir, M., Scott, C.A., 2010. Non-pathogenic trade-offs of wastewater irrigation. In: Drechsel, P., Scott, C.A., Raschid-sally, L., Redwood, M., Bahri, A. (Eds.), *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low Income Countries*. Earthscan, London.
- Rahman R, Scharff RL, Wu F. (2023). Foodborne disease outbreaks in flour and flour-based food products from microbial pathogens in the United States, and their health economic burden. *Risk Anal.* 2023 Dec;43(12):2519-2526. doi: 10.1111/risa.14132. Epub 2023 Apr 20. PMID: 37081547.
- Rahman, M.Z., Riesbeck, F., Dupree, S. (2018). The opportunity versus risks in wastewater irrigation. In: Hettiarachchi, H., Ardakanian, R. (Eds.), *Safe Use of Wastewater in Agriculture*. Springer International Publishing, Cham, pp. 13–25

- Ramalho, R. S. (1990). Tratamiento de Aguas Residuales. Faculty of Science and Engineering. Laval University. Quebec, Canadá. Editorial Reverté, S.A. p.92.
- Reyes, J., 1999. Evolución físico-química del agua de la Zona No Saturada en suelos abonados con lodos de depuradoras y su influencia sobre la calidad del agua subterránea. Aplicación en la vega de Aranjuez. Tesis Doctoral Inedita. Universidad de Alcalá de Henares, 608 p.
- Farhadkhani, Marzieh & Nikaeen, Mahnaz & Yadegarfar, Ghasem & Hatamzadeh, Maryam & Pourmohammadbagher, Hanieh & Sahbai, Zohre & Rahmani, Hamid. (2018). Effects of irrigation with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial properties of soil and produce safety in a semi-arid area. *Water Research*. 144. 10.1016/j.watres.2018.07.047.
- Ríos Flores, J. L., Torres Moreno, M., Ruiz Torres, J., & Torres Moreno, M. A. (2016). Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México. *Acta Universitaria*, 26(1), 20-29. doi: 10.15174/au.2016.825
- Rodríguez González, R. E., Ponce Medina, J. F., Rueda Puente, E. O., Avendaño Reyes, L., Paz Hernández, J. J., Santillano Cázares J., & Cruz Villegas, M. (2011). Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14 (2), 543-558
- Rose, D. J., Bianchini, A., Martinez, B., & Flores, R. A. (2012). Methods for reducing microbial contamination of wheat flour and effects on functionality. *Cereal Foods World*, 57(3), 104.
- Sabillón, L., Stratton, J., Rose, D. J., Regassa, T. H., & Bianchini, A. (2016). Microbial load of hard red winter wheat produced at three growing environments across Nebraska, USA. *Journal of Food Protection*, 79(4), 646–654. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-424>
- SAGARPA, S. (2011). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación

Salazar Escalante Luz Estela, (2021). Tesis de maestría: Calidad Bacteriológica de cultivos de trigo y alfalfa regados con agua residual tratada en el valle de Mexicali, Baja California. Programa de Maestría y Doctorado ,en Ciencias e Ingeniería. Instituto de Ingeniería, UABC, Mexicali, B. C.

Salazar, 2021. Calidad bacteriológica de cultivos de trigo y alfalfa regados con agua residual tratada en el Valle de Mexicali, Baja California. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California. México. Inédita

Sarabia Meléndez, Irma Francisca, Cisneros Almazán, Rodolfo, Aceves De Alba, Jorge, Durán García, Héctor Martín, & Castro Larragoitia, Javier. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. Revista internacional de contaminación ambiental, 27(2), 103-113. Recuperado el 24 de septiembre de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992011000200002&lng=es&tlng=es.

Scharff, RL (2018). La carga económica de las enfermedades transmitidas por los alimentos en los Estados Unidos. En: T. Roberts (ed) Economía de la seguridad alimentaria (págs. 123 – 142). Cham, Suiza : Springer

Scheierling Susanne M. sscheierling@worldbank.org, Carl R. Bartone, D.Duncan Mara & Pay Drechsel (2011) Towards an agenda for improving wastewater use in agriculture, Water International, 36:4, 420-440, DOI: 10.1080/02508060.2011.594527

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación DOF, 6 de enero de 1997.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2001. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría de Medio

- Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación DOF, 7 de diciembre de 2001.
- Sengupta, S., Nawaz, T., & Beaudry, J. (2015). Nitrogen and phosphorus recovery from wastewater. *Current Pollution Reports*, 1, 155-166.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Avance de siembras y cosechas resumen nacional por estado. Consultado el 12 de diciembre, 2023, desde http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- Silva Jorge, Torres Patricia y Madera Carlos (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión *Agronomía Colombiana*, vol. 26, núm. 2, 2008, pp. 347-359 Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia
- Simsek S., (2020). Pathogens control on wheat and wheat flour: A review. *Cereal Chem.*2020;00:1–14. <https://doi.org/10.1002/cche.10345>
- Singh, P. K., Deshbhratar, P. B., & Ramteke, D. S. (2012). Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. *Agricultural water management*, 103, 100-104.
- Sofo A., Palese A.M., Casacchia T., Celano G., Ricciuti P., Curci M., Crecchio C., Xiloyannis C. (2010). Genetic, functional, and metabolic responses of soil microbiota in a sustainable olive orchard. *Soil Sci.*, 175 (2010), pp. 81-88, [10.1097/SS.0b013e3181ce8a27](https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181ce8a27)
- Sperber WH (2007). Grupo de Trabajo de Microbiología de la Asociación de Molineros de América del Norte. Papel de las directrices microbiológicas en la producción y uso comercial de granos de cereales molidos: un enfoque práctico para el siglo XXI. *J Food Prot* 2007; 70: 1041–53.
- Tishler, Y., Samach, A., Rogachev, I., Elbaum, R., y Levy, A. (2015). Análisis de la biodiversidad de la paja de trigo para su uso como materia prima para la producción de biocombustibles. *Investigación en bioenergía*, 8(4), 1831-1839
- Toze, S., 2006. Reuse of effluent water—benefits and risks. *Agric. Water Manage.*80, 147–159.

- UNESCO, (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact2-agricultural-use/>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2012). Guidelines for Water Reuse. EPA/600/R-12/618. Washington D.C, USA: Usepa.
- Vazquez-Montiel, O., Horan, N. J., & Mara, D. D. (1996). Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. *Water Science and Technology*, 33(10-11), 355-362.
- Vera Puerto, Ismael Leonardo, Rojas Arredondo, Mauricio, Chávez Yavara, Wladimir, & Arriaza Torres, Bernardo Tomás. (2016). EVALUACIÓN DE MATERIALES FILTRANTES PARA EL REÚSO EN AGRICULTURA DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PROVENIENTES DE ZONAS ÁRIDAS. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26 (1), 5-19. <https://doi.org/10.18359/rcin.1633>
- Villaseñor-Mir, H.E., A. Borbón-Gracia, E. Solís-Moya, J.I. Alvarado-Padilla, E. Cruz-Cruz, L. Reyes-Muro y A. Zamarripa-Colmenero (Comp.). 2022. Variedades de Trigo del INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Oficinas Centrales. Ciudad de México. México. Libro Técnico No. 3, 93 p
- Vlachou, S., Zoiopoulos, P.E. and Drosinos, E.H. (2004) Assessment of some hygienic parameters of animal feeds in Greece. *Anim Feed Sci Technol* 117, 331–337.
- Waltrose & Partners (2018). Food and Drinks Report 2018-19.
- Winpenny Collado Jaime, Hernández Francesc, Torricelli Roberta, Heinz Ingo, Koo-Oshima Sasha, Salgot Miguel, (2013). Reutilización del agua en la agricultura: ¿beneficios para todos? Informe sobre temas hídricos 35. Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma (disponible en: <http://www.fao.org/docrep/017/i1629s/i1629s.pdf>).
- World Health Organization. (2019). Sustainable healthy diets: Guiding principles. Food & Agriculture Org.

- Yahaya, S. M., Mahmud, A. A., & Abdu, N. (2023). The use of wastewater for irrigation: pros and cons for human health in developing countries. *Total Environment Research Themes*, 100044.
- Yi, L., Jiao, W., Chen, X., & Chen, W. (2011). An overview of reclaimed water reuse in China. *Journal of Environmental Sciences*, 23(10), 1585-1593.
- Zapata Jorge Raúl (2017). Enfermedades infecciosas de los animales y zoonosis. Facultad de Ciencias Veterinaria. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP) ISBN: 978-950-34-1563-4 Pág. 40-48.
- Zhang, Y., & Shen, Y. (2019). Wastewater irrigation: past, present, and future. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(3), e1234.
- Zolti Avihai, Green Stefan J., Mordechay Evyatar Ben, Hadar Yitzhak, Minz Dror, (2019). Root microbiome response to treated wastewater irrigation, *Science of The Total Environment*, Volume 655, 2019, Pages 899-907, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.251>.

7 Anexo A. Tablas de resultados

7.1 Resultados físicos, químicos y bacteriológicos de ART y ARC

| pH | | | | |
|----------|--------|-------|--------|-------|
| # | ART | STDEV | ARC | STDEV |
| 1 | 8.72 | | 8.76 | |
| 2 | 8.72 | | 8.98 | |
| 3 | 8.98 | | - | |
| 4 | 8.18 | | - | |
| Promedio | 8.65 | | 8.8700 | |
| D.E. | 0.3365 | | 0.1556 | |
| MAX | 8.98 | | 8.98 | |
| MIN | 8.18 | | 8.76 | |

| CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | | | | |
|--------------------------------|----------|-------|----------|-------|
| # | ART | STDEV | ARC | STDEV |
| 1 | 2326 | | 2333 | |
| 2 | 2328 | | 1169 | |
| 3 | 1167 | | - | |
| 4 | 1195 | | - | |
| Promedio | 1754 | | 1751.0 | |
| D.E. | 661.7426 | | 823.0723 | |
| MAX | 2328 | | 2333 | |
| MIN | 1167 | | 1169 | |

| OD (mg/L) | | | | |
|-----------|--------|-------|--------|-------|
| # | ART | STDEV | ARC | STDEV |
| 1 | 0.61 | | 9.3 | |
| 2 | 0.44 | | 9.24 | |
| 3 | 4.73 | | - | |
| 4 | 4.41 | | - | |
| Promedio | 2.5475 | | 9.2700 | |
| D.E. | 2.3401 | | 0.0424 | |
| MAX | 4.73 | | 9.3 | |
| MIN | 0.44 | | 9.24 | |

| Nitrito ([NO] _2^-N) (mg/L) | | | | |
|------------------------------|--------|-------|--------|-------|
| # | ART | STDEV | ARC | STDEV |
| 1 | 0.11 | | 0.03 | |
| 2 | 0.06 | | 0.04 | |
| 3 | 0.11 | | - | |
| 4 | 0.1 | | - | |
| Promedio | 0.095 | | 0.0350 | |
| D.E. | 0.0238 | | 0.0071 | |
| MAX | 0.11 | | 0.04 | |
| MIN | 0.06 | | 0.03 | |

| Nitrate ([NO] _3^)(mg/L) | | | | |
|---------------------------|--------|-------|--------|-------|
| # | ART | STDEV | ARC | STDEV |
| 1 | 30 | | 0.2 | |
| 2 | 30 | | 0.6 | |
| 3 | 26.3 | | - | |
| 4 | 24.7 | | - | |
| Promedio | 27.75 | | 0.4000 | |
| D.E. | 2.6789 | | 0.2828 | |
| MAX | 30 | | 0.6 | |
| MIN | 24.7 | | 0.2 | |

| ART TRIGO LOTE 2 | | |
|------------------|-----------------|--------|
| # MUESTRA | CF (NMP/100 mL) | D.E. |
| 1 | 2,400.00 | - |
| 2 | 106.25 | 108.89 |
| 3 | 503.33 | 395.14 |
| 4 | 680.00 | 353.55 |
| 5 | 796.50 | 994.90 |
| Promedio | 897.22 | |
| D.E. | 879.84 | |
| MAX | 2,400.00 | |
| MIN | 106.25 | |
| AB TRIGO LOTE 50 | | |
| # MUESTRA | CF (NMP/100 mL) | D.E. |
| 1 | 330 | 141.42 |
| 2 | 59 | 22.63 |
| 3 | 320 | 155.56 |
| 4 | 22.33 | 18.15 |
| Promedio | 182.83 | |
| D.E. | 164.89 | |
| MAX | 330.00 | |
| MIN | 22.33 | |

7.2 Resultados físicos, químicos y bacteriológicos en suelos

7.2.1 pH en suelos ART y ARC

| Ph | | | | |
|----------|------|-------|------|-------|
| # | ART | STDEV | ARC | STDEV |
| 1 | 8.28 | | 7.15 | |
| 2 | 7.92 | | 7.11 | |
| 3 | 7.8 | | 7.14 | |
| 4 | 7.43 | | 6.8 | |
| 5 | 7.39 | | 6.86 | |
| 6 | 7.32 | | 6.87 | |
| 7 | 7.53 | | 6.94 | |
| 8 | 7.6 | | 7.1 | |
| 9 | 7.5 | | 6.8 | |
| 10 | 7.29 | | 7.03 | |
| 11 | 7.48 | | 7.34 | |
| 12 | 7.48 | | 7.12 | |
| Promedio | 7.6 | | 7.0 | |
| D.E. | 0.28 | | 0.17 | |
| MAX | 8.3 | | 7.3 | |
| MIN | 7.3 | | 6.8 | |

7.2.2 Conductividad eléctrica en suelos ART y ARC.

| CE (mS/cm) | | | | |
|------------|------|-------|------|-------|
| # | ART | STDEV | ARC | STDEV |
| 1 | 2.59 | | 4.01 | |
| 2 | 2.57 | | 2.88 | |
| 3 | 2.63 | | 3.26 | |
| 4 | 2.68 | | 4.32 | |
| 5 | 2.7 | | 3.44 | |
| 6 | 3.19 | | 4.06 | |
| 7 | 1.76 | | 7.28 | |
| 8 | 2.19 | | 5.12 | |
| 9 | 1.7 | | 5.37 | |
| 10 | 2.46 | | 1.96 | |
| 11 | 3.75 | | 2.73 | |
| 12 | 2.24 | | 2.54 | |
| Promedio | 2.54 | | 3.91 | |
| D.E. | 0.56 | | 1.47 | |
| MAX | 3.75 | | 7.28 | |
| MIN | 1.7 | | 1.96 | |

7.2.3 Humedad en suelos ART y ARC.

| %HUMEDAD - ANTES DE SIEMBRA | | | | |
|-----------------------------|------|-------|------|-------|
| # | ART | STDEV | ARC | STDEV |
| 1 | 0.34 | | 3.42 | |
| 2 | 0.46 | | 4.18 | |
| 3 | 1.95 | | 3.57 | |
| 4 | 1.87 | | 3.95 | |
| 5 | 2.63 | | 5.14 | |
| 6 | 0.41 | | 4.57 | |
| 7 | 0.31 | | 5.87 | |
| 8 | 0.42 | | 4.01 | |
| 9 | 2.74 | | 2.48 | |
| 10 | 2.15 | | 2.45 | |
| 11 | 5.13 | | 2.64 | |
| 12 | 2.87 | | 3.04 | |
| Promedio | 1.77 | | 3.78 | |
| D.E. | 1.47 | | 1.07 | |
| MAX | 5.13 | | 5.87 | |
| MIN | 0.31 | | 2.45 | |

| %HUMEDAD - ANTES DE COSECHA | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| # | ART | STDEV | ARC | STDEV |
| 1 | 5.33 | | 10.37 | |
| 2 | 6.28 | | 9.87 | |
| 3 | 7.95 | | 8.09 | |
| 4 | 7.87 | | 9.96 | |
| 5 | 8.63 | | 10.48 | |
| 6 | 5.77 | | 14.21 | |
| 7 | 5.69 | | 9.45 | |
| 8 | 6.42 | | 8.74 | |
| 9 | 8.74 | | 9.62 | |
| 10 | 8.15 | | 11.18 | |
| 11 | 11.13 | | 8.23 | |
| 12 | 8.87 | | 11.23 | |
| Promedio | 7.57 | | 10.12 | |
| D.E. | 1.71 | | 1.64 | |
| MAX | 11.13 | | 14.21 | |
| MIN | 5.33 | | 8.09 | |

7.2.4 Textura en suelos ART y ARC.

| Muestra Antes de Cosecha ARC. Trigo (CORREGIDA) | | | | | | | |
|--|-------------|-------|---------|--------|----------------|--------|----------------|
| # | 40 Segundos | | | 1 Hora | | | Clase Textural |
| | ρ | x2 | % Arena | ρ | x2 (% Arcilla) | % Limo | |
| M1 AB | 48.04 | 96.08 | 3.92 | 42.54 | 85.08 | 11 | Arcillosa |
| M2 AB | 46.54 | 93.08 | 6.92 | 38.54 | 77.08 | 16 | Arcillosa |
| M3 AB | 47.54 | 95.08 | 4.92 | 40.54 | 81.08 | 14 | Arcillosa |
| M4 AB | 45.54 | 91.08 | 8.92 | 39.54 | 79.08 | 12 | Arcillosa |
| M5 AB | 49.54 | 99.08 | 0.92 | 42.54 | 85.08 | 14 | Arcillosa |
| M6 AB | 48.54 | 97.08 | 2.92 | 40.54 | 81.08 | 16 | Arcillosa |
| M7 AB | 47.04 | 94.08 | 5.92 | 39.54 | 79.08 | 15 | Arcillosa |
| M8 AB | 48.54 | 97.08 | 2.92 | 42.54 | 85.08 | 12 | Arcillosa |
| M9 AB | 44.54 | 89.08 | 10.92 | 39.54 | 79.08 | 10 | Arcillosa |
| M10 AB | 42.54 | 85.08 | 14.92 | 36.54 | 73.08 | 12 | Arcillosa |
| M11 AB | 46.54 | 93.08 | 6.92 | 39.54 | 79.08 | 14 | Arcillosa |
| M12 AB | 48.54 | 97.08 | 2.92 | 39.54 | 79.08 | 18 | Arcillosa |

| Muestra Antes de Siembra ARC. Trigo | | | | | | | |
|--|-------------|-------|---------|--------|----------------|--------|----------------|
| # | 40 Segundos | | | 1 Hora | | | Clase Textural |
| | ρ | x2 | % Arena | ρ | x2 (% Arcilla) | % Limo | |
| M1 AB | 42.62 | 85.24 | 14.76 | 34.62 | 69.24 | 16 | Arcillosa |
| M2 AB | 47.62 | 95.24 | 4.76 | 36.62 | 73.24 | 22 | Arcillosa |
| M3 AB | 41.62 | 83.24 | 16.76 | 37.62 | 75.24 | 8 | Arcillosa |
| M4 AB | 49.62 | 99.24 | 0.76 | 38.62 | 77.24 | 22 | Arcillosa |
| M5 AB | 39.62 | 79.24 | 20.76 | 37.62 | 75.24 | 4 | Arcillosa |
| M6 AB | 49.62 | 99.24 | 0.76 | 38.62 | 77.24 | 22 | Arcillosa |
| M7 AB | 49.62 | 99.24 | 0.76 | 36.62 | 73.24 | 26 | Arcillosa |
| M8 AB | 46.62 | 93.24 | 6.76 | 35.62 | 71.24 | 22 | Arcillosa |
| M9 AB | 47.62 | 95.24 | 4.76 | 37.62 | 75.24 | 20 | Arcillosa |
| M10 AB | 41.62 | 83.24 | 16.76 | 31.62 | 63.24 | 20 | Arcillosa |
| M11 AB | 47.62 | 95.24 | 4.76 | 35.62 | 71.24 | 24 | Arcillosa |
| M12 AB | 46.62 | 93.24 | 6.76 | 34.62 | 69.24 | 24 | Arcillosa |

| Muestra Antes de Cosecha ART. Trigo | | | | | | | |
|--|-------------|-------|---------|--------|----------------|--------|----------------|
| # | 40 Segundos | | | 1 Hora | | | Clase Textural |
| | ρ | x2 | % Arena | ρ | x2 (% Arcilla) | % Limo | |
| M1 ART | 45.54 | 91.08 | 8.92 | 42.9 | 85.8 | 5.28 | Arcillosa |
| M2 ART | 44.54 | 89.08 | 10.92 | 37.9 | 75.8 | 13.28 | Arcillosa |
| M3 ART | 42.54 | 85.08 | 14.92 | 37.9 | 75.8 | 9.28 | Arcillosa |
| M4 ART | 46.54 | 93.08 | 6.92 | 38.9 | 77.8 | 15.28 | Arcillosa |
| M5 ART | 37.54 | 75.08 | 24.92 | 32.9 | 65.8 | 9.28 | Arcillosa |
| M6 ART | 48.54 | 97.08 | 2.92 | 38.9 | 77.8 | 19.28 | Arcillosa |
| M7 ART | 40.54 | 81.08 | 18.92 | 36.9 | 73.8 | 7.28 | Arcillosa |
| M8 ART | 49.54 | 99.08 | 0.92 | 38.9 | 77.8 | 21.28 | Arcillosa |
| M9 ART | 44.54 | 89.08 | 10.92 | 36.9 | 73.8 | 15.28 | Arcillosa |
| M10 ART | 45.54 | 91.08 | 8.92 | 37.9 | 75.8 | 15.28 | Arcillosa |
| M11 ART | 46.54 | 93.08 | 6.92 | 38.9 | 77.8 | 15.28 | Arcillosa |
| M12 ART | 45.54 | 91.08 | 8.92 | 38.9 | 77.8 | 13.28 | Arcillosa |

| Muestra Antes de Siembra ART. Trigo | | | | | | | |
|--|-------------|-------|---------|--------|----------------|--------|----------------|
| # | 40 Segundos | | | 1 Hora | | | Clase Textural |
| | ρ | x2 | % Arena | ρ | x2 (% Arcilla) | % Limo | |
| M1 ART | 43.62 | 87.24 | 12.76 | 31.62 | 63.24 | 24 | Arcillosa |
| M2 ART | 44.62 | 89.24 | 10.76 | 32.62 | 65.24 | 24 | Arcillosa |
| M3 ART | 49.62 | 99.24 | 0.76 | 34.62 | 69.24 | 30 | Arcillosa |
| M4 ART | 44.62 | 89.24 | 10.76 | 31.62 | 63.24 | 26 | Arcillosa |
| M5 ART | 49.62 | 99.24 | 0.76 | 34.62 | 69.24 | 30 | Arcillosa |
| M6 ART | 45.62 | 91.24 | 8.76 | 33.62 | 67.24 | 24 | Arcillosa |
| M7 ART | 37.62 | 75.24 | 24.76 | 28.62 | 57.24 | 18 | Arcillosa |
| M8 ART | 49.62 | 99.24 | 0.76 | 40.62 | 81.24 | 18 | Arcillosa |
| M9 ART | 39.62 | 79.24 | 20.76 | 29.62 | 59.24 | 20 | Arcillosa |
| M10 ART | 41.62 | 83.24 | 16.76 | 34.62 | 69.24 | 14 | Arcillosa |
| M11 ART | 42.62 | 85.24 | 14.76 | 30.62 | 61.24 | 24 | Arcillosa |
| M12 ART | 44.62 | 89.24 | 10.76 | 33.62 | 67.24 | 22 | Arcillosa |

7.2.5 CF en en suelos ART y ARC.

| ART - CF (NMP/100 mL) | | | | |
|-----------------------|-------|-------|------|-------|
| # | AC | STDEV | DC | STDEV |
| 1 | <3.0 | | <3.0 | |
| 2 | 9.2 | | 3.6 | |
| 3 | <3.0 | | <3.0 | |
| 4 | <3.0 | | 3.6 | |
| 5 | <3.0 | | <3.0 | |
| 6 | <3.0 | | 3.6 | |
| 7 | 9.2 | | 3.6 | |
| 8 | 43 | | <3.0 | |
| 9 | 21 | | <3.0 | |
| 10 | 93 | | <3.0 | |
| 11 | 3.6 | | <3.0 | |
| 12 | <3.0 | | 3.6 | |
| Promedio | 29.83 | | 3.6 | |
| D.E. | 34.00 | | 0 | |
| MAX | 93 | | 3.6 | |
| MIN | <3.0 | | <3.0 | |

| ARC - CF (NMP/100 mL) | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| # | AC | STDEV | DC | STDEV |
| 1 | 43 | | 93 | |
| 2 | 21 | | 15 | |
| 3 | <3.0 | | 9.2 | |
| 4 | 3.6 | | 3.6 | |
| 5 | 93 | | 43 | |
| 6 | 3.6 | | 9.2 | |
| 7 | 15 | | 3.6 | |
| 8 | 9.2 | | 3.6 | |
| 9 | 15 | | <3.0 | |
| 10 | 9.2 | | 3.6 | |
| 11 | 15 | | 7.4 | |
| 12 | 9.2 | | 15 | |
| Promedio | 21.53 | | 18.75 | |
| D.E. | 26.07 | | 27.13 | |
| MAX | 93 | | 93 | |
| MIN | <3.0 | | <3.0 | |

AC=ANTES DE COSECHA - DC= DESPUÉS DE COSECHA

7.2.6 CT en granos de trigo regados con ART y ARC.

| ART | | |
|----------|-----------------|--------|
| # | CT (NMP/100 mL) | STDEV |
| 1 | 26.1 | 23.90 |
| 2 | 43 | 0.00 |
| 3 | 3.6 | 2.55 |
| 4 | <3.0 | 0.00 |
| 5 | 93 | 65.76 |
| 6 | <3.0 | 0.00 |
| 7 | 335 | 134.35 |
| 8 | 39.3 | 50.49 |
| 9 | <3.0 | 0.00 |
| 10 | 166.5 | 487.90 |
| 11 | 43 | 0.00 |
| 12 | 240 | 0.00 |
| Promedio | 109.94 | |
| D.E. | 113.66 | |
| MAX | 335 | |
| MIN | <3.0 | |

| ARC | | |
|----------|-----------------|--------|
| # | CT (NMP/100 mL) | STDEV |
| 1 | 335 | 134.35 |
| 2 | 240 | 0.00 |
| 3 | 33 | 14.14 |
| 4 | 58 | 49.50 |
| 5 | 240 | 0.00 |
| 6 | 3.6 | 2.55 |
| 7 | 240 | 0.00 |
| 8 | 23 | 16.26 |
| 9 | <3.0 | 0.00 |
| 10 | <3.0 | 0.00 |
| 11 | <3.0 | 0.00 |
| 12 | <3.0 | 0.00 |
| Promedio | 146.58 | |
| D.E. | 129.92 | |
| MAX | 335 | |
| MIN | <3.0 | |

7.2.7 CT en paja de trigo regados con ART y ARC.

| ART | | |
|----------|-----------------|-------|
| # | CT (NMP/100 mL) | STDEV |
| 1 | <3.0 | 0.00 |
| 2 | 23 | 0.00 |
| 3 | <3.0 | 0.00 |
| 4 | <3.0 | 0.00 |
| 5 | 23 | 0.00 |
| 6 | 13.3 | 13.72 |
| 7 | <3.0 | 0.00 |
| 8 | <3.0 | 0.00 |
| 9 | <3.0 | 0.00 |
| 10 | <3.0 | 0.00 |
| 11 | 13.3 | 13.72 |
| 12 | <3.0 | 0.00 |
| Promedio | 18.15 | |
| D.E. | 5.60 | |
| MAX | 23 | |
| MIN | <3.0 | |

| ARC | | |
|----------|-----------------|-------|
| # | CT (NMP/100 mL) | STDEV |
| 1 | <3.0 | 0.0 |
| 2 | 15 | 10.6 |
| 3 | 15 | 10.6 |
| 4 | <3.0 | 0.0 |
| 5 | <3.0 | 0.0 |
| 6 | <3.0 | 0.0 |
| 7 | <3.0 | 0.0 |
| 8 | <3.0 | 0.0 |
| 9 | 3.6 | 2.5 |
| 10 | <3.0 | 0.0 |
| 11 | <3.0 | 0.0 |
| 12 | <3.0 | 0.0 |
| Promedio | 11.2 | |
| D.E. | 6.58 | |
| MAX | 15 | |
| MIN | <3.0 | |

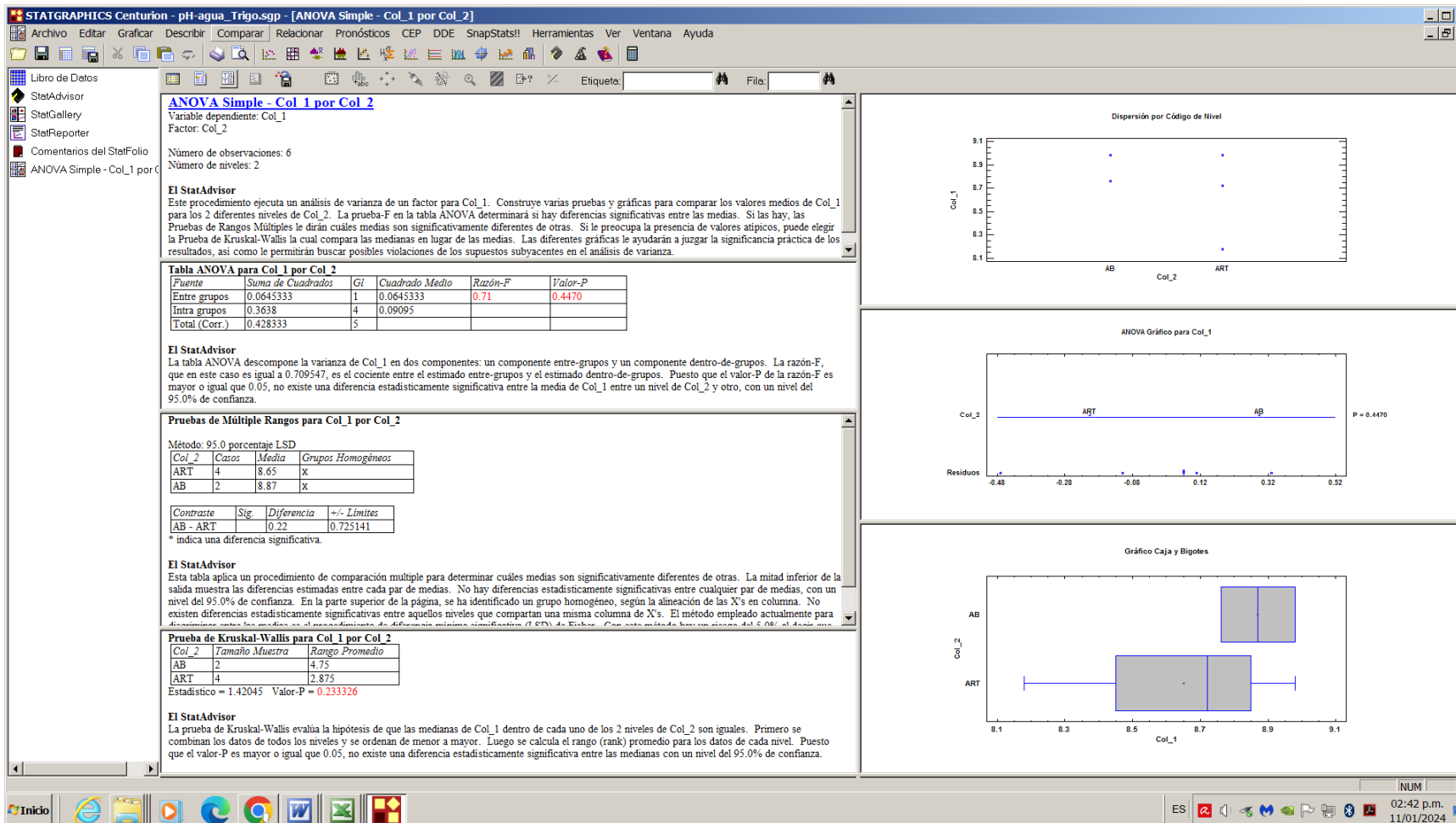
7.2.8 Mesófilos aerobios en grano y paja de trigo regados con ART y ARC.

| GRANO (CFU/g) | | |
|---------------|----------|-------|
| # | ARC | ART |
| 1 | 1,120 | 50 |
| 2 | 1,250 | 10 |
| 3 | 930 | 90 |
| 4 | 1,010 | 110 |
| 5 | 1,300 | 80 |
| 6 | 1,280 | 30 |
| 7 | 1,660 | 60 |
| 8 | 1,340 | 30 |
| 9 | 1,470 | 130 |
| 10 | 1,080 | 60 |
| 11 | 1,540 | 120 |
| 12 | 1,420 | 100 |
| Promedio | 1,283.33 | 72.50 |
| D.E. | 220.22 | 38.64 |
| MAX | 1,660 | 130 |
| MIN | 930 | 10 |

| PAJA (CFU/g) | | |
|--------------|------------|------------|
| # | ARC | ART |
| 1 | 320,000 | 155,000 |
| 2 | 470,000 | 112,000 |
| 3 | 210,000 | 298,000 |
| 4 | 410,000 | 182,000 |
| 5 | 520,000 | 227,000 |
| 6 | 450,000 | 214,000 |
| 7 | 390,000 | 138,000 |
| 8 | 460,000 | 200,000 |
| 9 | 310,000 | 268,000 |
| 10 | 370,000 | 143,000 |
| 11 | 430,000 | 176,000 |
| 12 | 320,000 | 129,000 |
| Promedio | 388,333.33 | 186,833.33 |
| D.E. | 86,742.39 | 57,108.88 |
| MAX | 520,000 | 298,000 |
| MIN | 210,000 | 112,000 |

8 Anexo B. Análisis estadísticos

8.1.1 pH en ARC y ART



8.1.2 C.E. en ARC y ART

STATGRAPHICS Centurion - StatFolio sin título - [ANOVA Simple - Col_1 por Col_2]

Archivo Editar Graficar Describir Comparar Relacionar Pronósticos CEP DDE SnapStats! Herramientas Ver Ventana Ayuda

Libro de Datos
StatAdvisor
StatGallery
StatReporter
Comentarios del StatFolio
ANOVA Simple - Col_1 por Col_2

ANOVA Simple - Col_1 por Col_2
Variable dependiente: Col_1
Factor: Col_2
Número de observaciones: 6
Número de niveles: 2

El StatAdvisor
Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para Col_1. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de Col_1 para los 2 diferentes niveles de Col_2. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los

Tabla ANOVA para Col_1 por Col_2

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 12.0 | 1 | 12.0 | 0.00 | 0.9963 |
| Intra grupos | 1.99116E6 | 4 | 497790. | | |
| Total (Corr.) | 1.99117E6 | 5 | | | |

El StatAdvisor
La tabla ANOVA descompone la varianza de Col_1 en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.0000241066, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Col_1 entre un nivel de Col_2 y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos para Col_1 por Col_2
Método: 95.0 porcentaje LSD

| Col_2 | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|-------|-------|--------|-------------------|
| ARC | 2 | 1751.0 | X |
| ART | 4 | 1754.0 | X |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| ARC - ART | | -3.0 | 1696.46 |

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Prueba de Kruskal-Wallis para Col_1 por Col_2

| Col_2 | Tamaño Muestra | Rango Promedio |
|-------|----------------|----------------|
| ARC | 2 | 4.0 |
| ART | 4 | 3.25 |

Estadístico = 0.214286 Valor-P = 0.643429

El StatAdvisor
La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de Col_1 dentro de cada uno de los 2 niveles de Col_2 son iguales. Primero se combinan los datos de todos los niveles y se ordenan de menor a mayor. Luego se calcula el rango (rank) promedio para los datos de cada nivel. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Dispersión por Código de Nivel

ANOVA Gráfico para Col_1

Gráfico Caja y Bigotes

NUM

ES 12:35 p.m. 12/01/2024

8.1.3 OD en ARC y ART

STATGRAPHICS Centurion - StatFolio sin título - [ANOVA Simple - Col_1 por Col_2]

Archivo Editar Graficar Describir Comparar Relacionar Pronósticos CEP DDE SnapStats!! Herramientas Ver Ventana Ayuda

Libro de Datos
 StatAdvisor
 StatGallery
 StatReporter
 Comentarios del StatFolio
 ANOVA Simple - Col_1 por Col_2

ANOVA Simple - Col_1 por Col_2
 Variable dependiente: Col_1
 Factor: Col_2
 Número de observaciones: 6
 Número de niveles: 2

El StatAdvisor
 Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para Col_1. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de Col_1 para los 2 diferentes niveles de Col_2. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados.

Tabla ANOVA para Col_1 por Col_2

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 60.256 | 1 | 60.256 | 14.67 | 0.0186 |
| Intra grupos | 16.4295 | 4 | 4.10737 | | |
| Total (Corr.) | 76.6855 | 5 | | | |

El StatAdvisor
 La tabla ANOVA descompone la varianza de Col_1 en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 14.6702, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Col_1 entre un nivel de Col_2 y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Pruebas de Múltiple Rangos para Col_1 por Col_2
 Método: 95.0 porcentaje LSD

| Col_2 | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|-------|-------|--------|-------------------|
| ART | 4 | 2.5475 | x |
| ARC | 2 | 9.27 | x |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| ARC - ART | * | 6.7225 | 4.87307 |

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor
 La prueba de Kruskal-Wallis para Col_1 por Col_2

| Col_2 | Tamaño Muestra | Rango Promedio |
|-------|----------------|----------------|
| ARC | 2 | 5.5 |
| ART | 4 | 2.5 |

Estadístico = 3.42857 Valor-P = 0.0640739

El StatAdvisor
 La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de Col_1 dentro de cada uno de los 2 niveles de Col_2 son iguales. Primero se combinan los datos de todos los niveles y se ordenan de menor a mayor. Luego se calcula el rango (rank) promedio para los datos de cada nivel. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

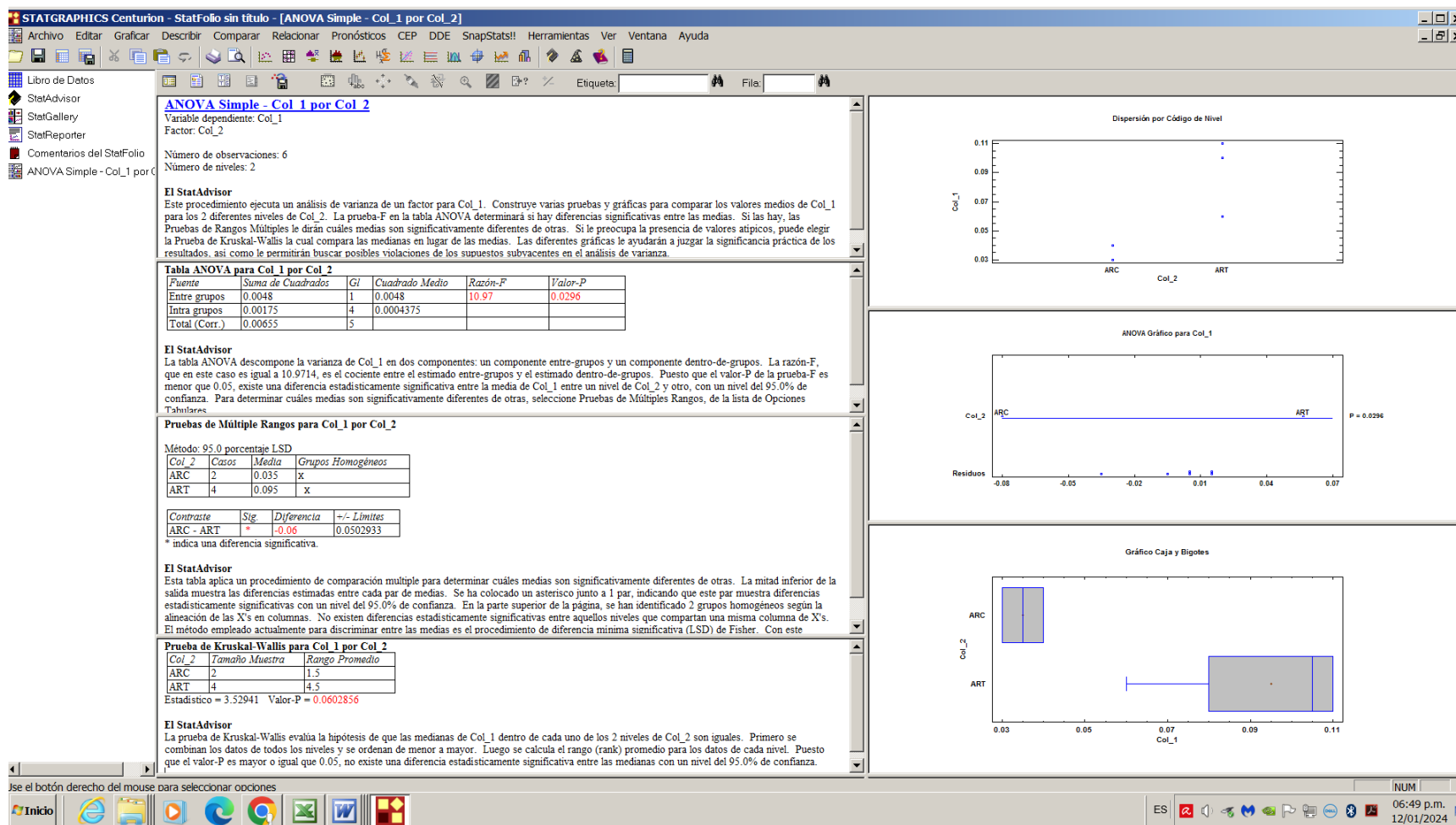
Dispersión por Código de Nivel

ANOVA Gráfico para Col_1

Gráfico Caja y Bigotes

NUM | 01:16 p.m. 12/01/2024

8.1.4 Nitritos y Nitratos en ARC y ART



STATGRAPHICS Centurion - StatFolio sin título - [ANOVA Simple - Col_1 por Col_2]

Archivo Editar Graficar Describir Comparar Relacionar Pronósticos CEP DDE SnapStats! Herramientas Ver Ventana Ayuda

Libro de Datos
 StatAdvisor
 StatGallery
 StatReporter
 Comentarios del StatFolio
 ANOVA Simple - Col_1 por Col_2

ANOVA Simple - Col_1 por Col_2
 Variable dependiente: Col_1
 Factor: Col_2
 Número de observaciones: 6
 Número de niveles: 2

El StatAdvisor
 Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para Col_1. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de Col_1 para los 2 diferentes niveles de Col_2. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

Tabla ANOVA para Col_1 por Col_2

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 997.363 | 1 | 997.363 | 184.61 | 0.0002 |
| Intra grupos | 21.61 | 4 | 5.4025 | | |
| Total (Corr.) | 1018.97 | 5 | | | |

El StatAdvisor
 La tabla ANOVA descompone la varianza de Col_1 en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 184.611, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Col_1 entre un nivel de Col_2 y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Pruebas de Múltiple Rangos para Col_1 por Col_2
 Método: 95.0 porcentaje LSD

| Col_2 | Catós | Media | Grupos Homógeneos |
|-------|-------|-------|-------------------|
| ARC | 2 | 0.4 | X |
| ART | 4 | 27.75 | X |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| ARC - ART | * | -27.35 | 5.8888 |

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor
 Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que comparten una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Prueba de Kruskal-Wallis para Col_1 por Col_2

| Col_2 | Tamaño Muestra | Rango Promedio |
|-------|----------------|----------------|
| ARC | 2 | 1.5 |
| ART | 4 | 4.5 |

Estadístico = 3.52941 Valor-P = 0.0602856

El StatAdvisor
 La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de Col_1 dentro de cada uno de los 2 niveles de Col_2 son iguales. Primero se combinan los datos de todos los niveles y se ordenan de menor a mayor. Luego se calcula el rango (rank) promedio para los datos de cada nivel. Puesto

Dispersion por Código de Nivel

ANOVA Gráfico para Col_1

Gráfico Caja y Bigotes

NUM

ES 06:55 p.m. 12/01/2024

8.1.5 CF en ART y ART

STATGRAPHICS Centurion - StatFolio sin título - [ANOVA Simple - Col_1 por Col_2]

Archivo Editar Graficar Describir Comparar Relacionar Pronósticos CEP DDE SnapStats! Herramientas Ver Ventana Ayuda

Etiqueta: Fila:

ANOVA Simple - Col 1 por Col 2

Variable dependiente: Col_1
Factor: Col_2

Número de observaciones: 9
Número de niveles: 2

Tabla ANOVA para Col 1 por Col 2

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 1.1341E6 | 1 | 1.1341E6 | 2.50 | 0.1580 |
| Intra grupos | 3.17803E6 | 7 | 454004. | | |
| Total (Corr.) | 4.31213E6 | 8 | | | |

El StatAdvisor
La tabla ANOVA descompone la varianza de Col_1 en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2.49799, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Col_1 entre un nivel de Col_2 y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Método: 95.0 porcentaje LSD

| Col_2 | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|-------|-------|---------|-------------------|
| ARC | 4 | 182.832 | X |
| ART | 5 | 897.216 | X |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| ARC - ART | | -714.384 | 1068.81 |

* indica una diferencia significativa.

Prueba de Kruskal-Wallis para Col 1 por Col 2

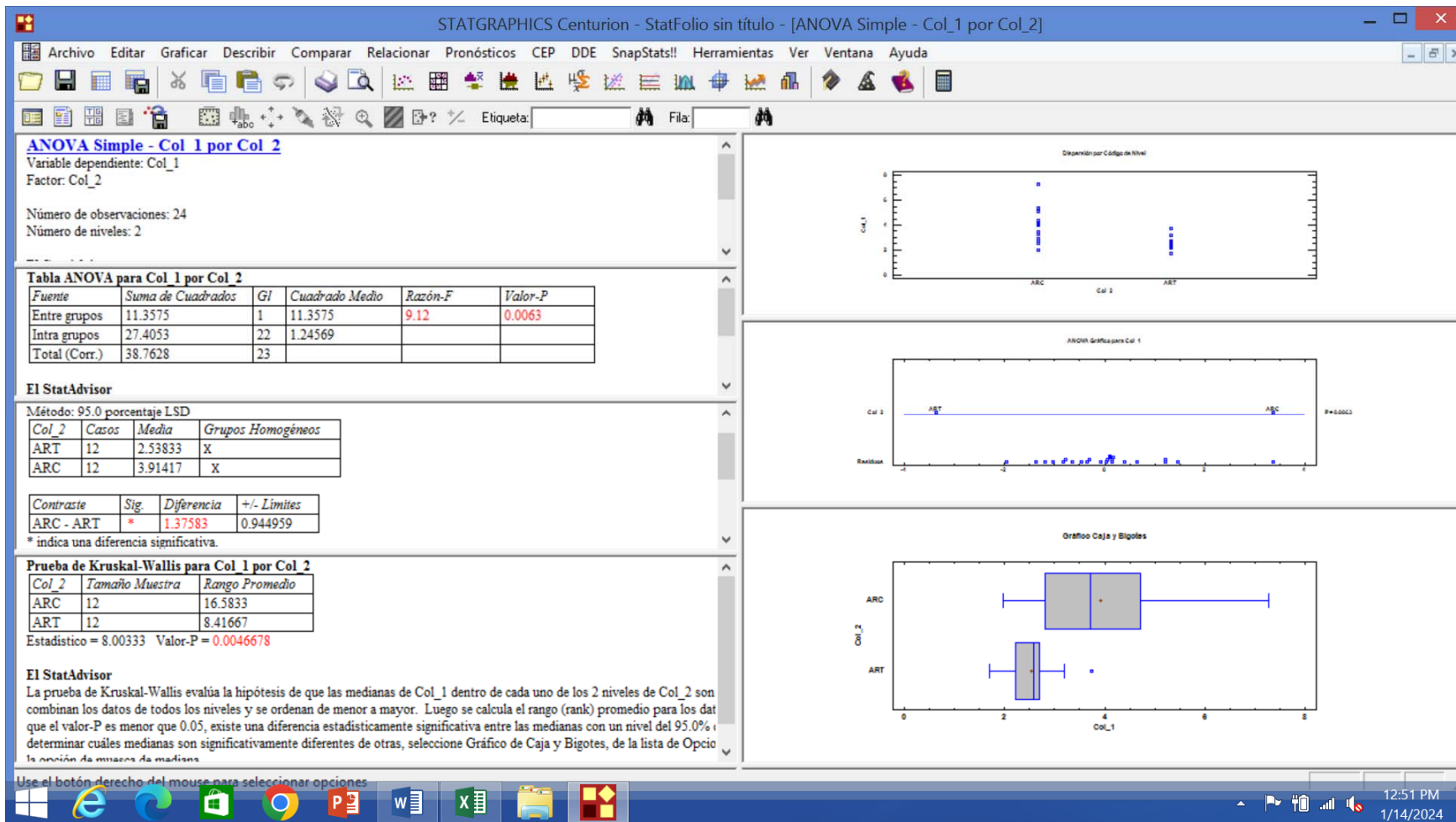
| Col_2 | Tamaño Muestra | Rango Promedio |
|-------|----------------|----------------|
| ARC | 4 | 3.0 |
| ART | 5 | 6.6 |

Estadístico = 3.84 Valor-P = 0.05004

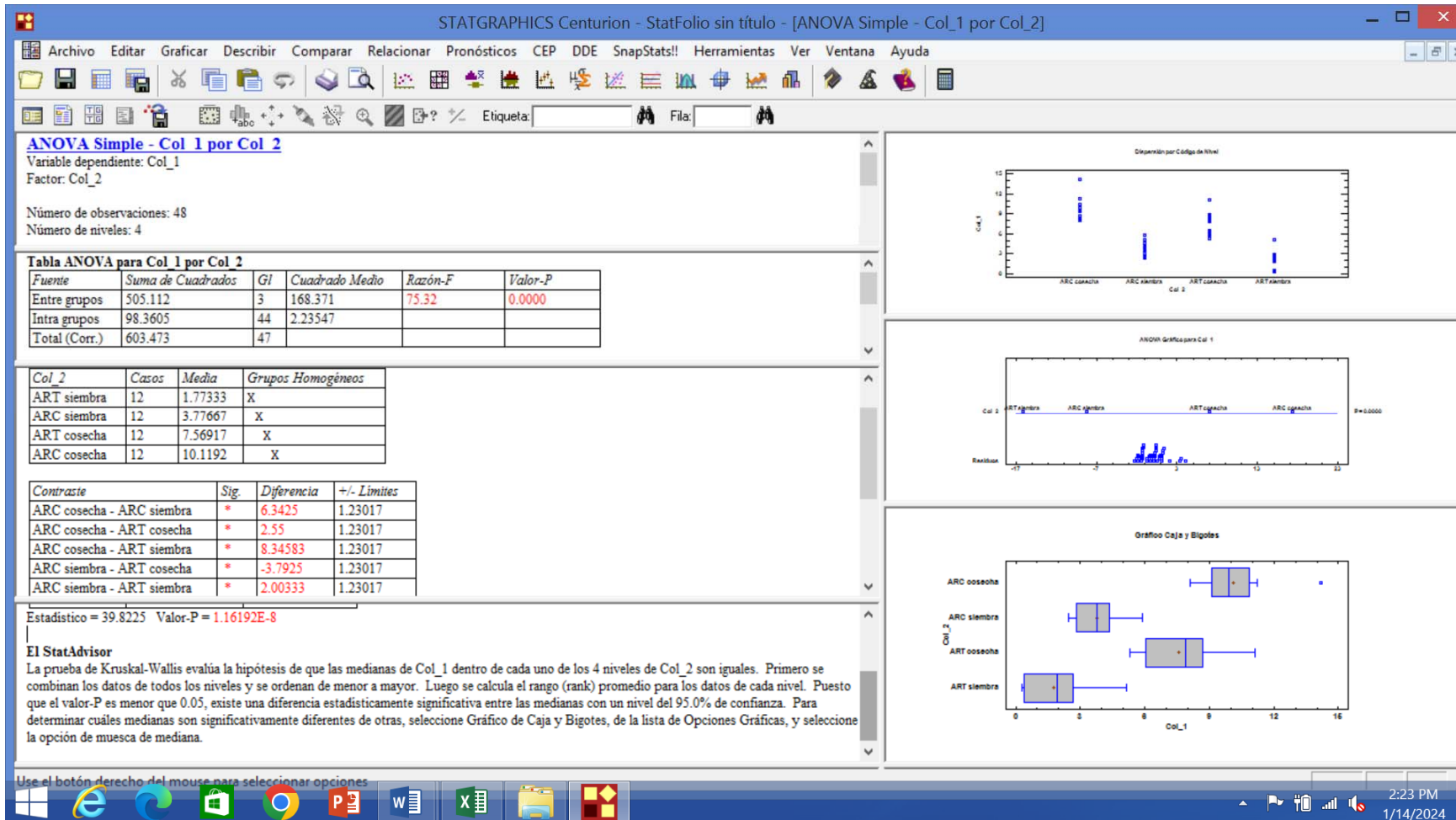
El StatAdvisor
La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de Col_1 dentro de cada uno de los 2 niveles de Col_2 son iguales. Primero se combinan los datos de todos los niveles y se ordenan de menor a mayor. Luego se calcula el rango (rank) promedio para los datos de cada nivel. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

1:11 AM
1/14/2024

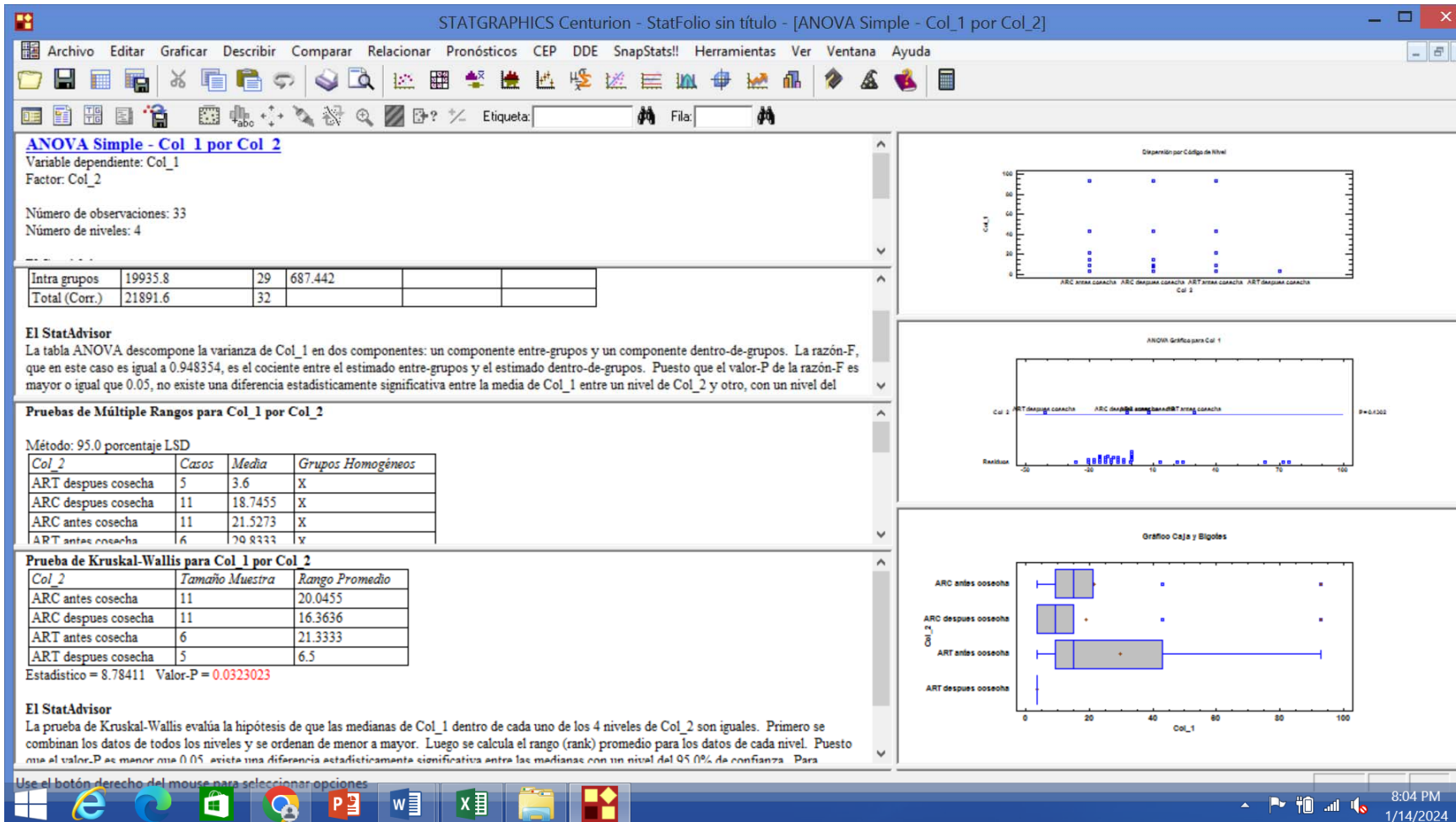
8.1.7 Conductividad eléctrica en suelos regados con ART y ARC.



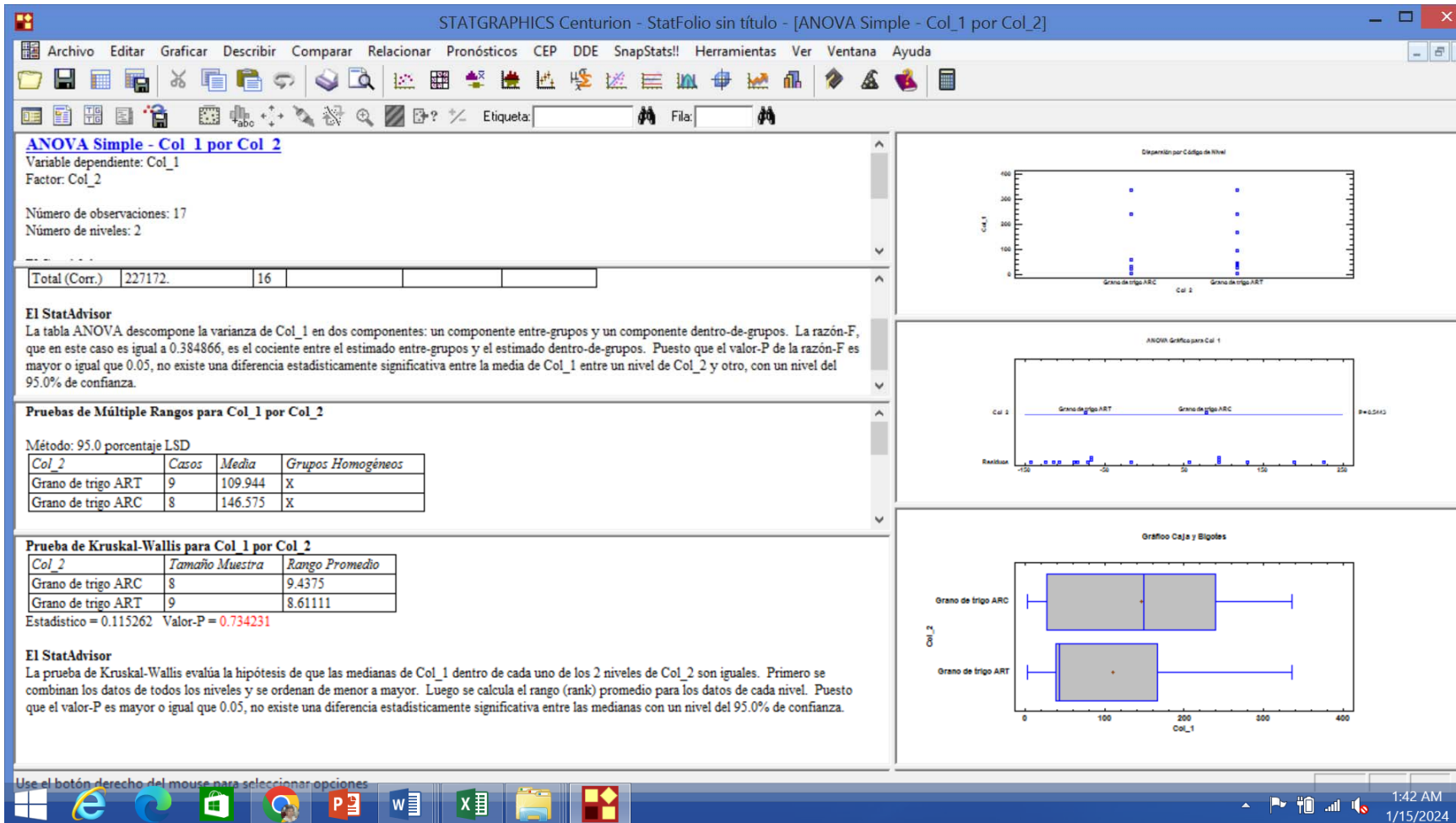
8.1.8 Humedad en suelos regados con ART y ARC.



8.1.9 CF en suelos regados con ART y ARC.



8.1.10 CT en grano de trigo regado con ART y ARC.



8.1.11 Mesófilos aerobios en grano y paja de tigo regado con ART yARC.