



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN HIDROCIENCIAS

USO DE AGUA TRATADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ATOTONILCO COMO ALTERNATIVA RENTABLE DE RIEGO EN LAS ZONAS AGRICOLAS DEL VALLE DEL MEZQUITAL

JOSÉ LUIS ELIZAGARAY MANDUJANO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

La presente tesis titulada: **Uso de agua tratada de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Atotonilco como alternativa rentable de riego en las zonas agrícolas del Valle del Mezquital**, realizada por el alumno: **José Luis Elizagaray Mandujano**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
HIDROCIENCIAS**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

(A)



DR. CARLOS RAMÍREZ AYALA

ASESOR (A)



DR. JESÚS CHÁVEZ MORALES

ASESOR (A)



DR. DAVID VÁZQUEZ SOTO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio de 2021

USO DE AGUA TRATADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ATOTONILCO COMO ALTERNATIVA RENTABLE DE RIEGO EN LAS ZONAS AGRÍCOLAS DEL VALLE DEL MEZQUITAL

José Luis Elizagaray Mandujano, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2020

RESUMEN

Esta investigación se realizó con la finalidad de demostrar que el agua tratada es mejor alternativa de riego que el agua residual sin tratar tomando como indicadores, el impacto ambiental y el rendimiento de los cultivos. Dicho lo anterior, se comparó la importancia del impacto ambiental de las actividades agrícolas determinada por el método de Conesa y el rendimiento del cultivo del maíz recuperado de la base de datos de un estudio experimental inédito que se valió del uso de parcelas demostrativas en tres escenarios de riego, que fueron, uso de agua residual por gravedad, agua tratada por goteo con aplicación de fertilizante y riego con agua tratada por goteo sin aplicación de fertilizante. De acuerdo con lo anterior, los rendimientos reportados por el estudio inédito fueron: 6.09 para la parcela regada con agua residual, 9.16 para la que se rego con agua tratada sin fertilizante y 13.67 para la regada con agua tratada con adición de fertilizante. En el marco de las ideas, la importancia de impacto ambiental fue: -2487, -699 y -649 respectivamente. Por consiguiente, los resultados indicaron que regar con agua tratada, permitirá reducir de forma significativa el impacto ambiental e incrementará los rendimientos de los cultivos, mejorando así la calidad de vida de los agricultores y de las poblaciones expuestas. Aunado a esto, se encontró que la cantidad de coliformes y huevos de helmintos en el agua tratada disminuyó de forma considerable favoreciendo la diversificación de los cultivos y la posibilidad de tecnificación de riego.

Palabras Clave: Aguas residuales, Aguas tratadas, Rendimientos de cultivos, Salinidad, patógenos, impacto ambiental

**USE OF TREATED WATER FROM THE ATOTONILCO WASTEWATER
TREATMENT PLANT AS A PROFITABLE IRRIGATION ALTERNATIVE IN THE
AGRICULTURAL ZONES OF THE MEZQUITAL VALLEY.**

José Luis Elizagaray Mandujano, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

This research was carried out in order to demonstrate that treated water is a better irrigation alternative than untreated wastewater, taking environmental impact and crop yield as indicators. So, the importance of the environmental impact of agricultural activities determined by the Conesa method was compared with the yield of the corn crop recovered from the database of an unpublished experimental study that made use of demonstration plots in three scenarios. irrigation, which were, use of wastewater by gravity, drip-treated water with application of fertilizer and irrigation with drip-treated water without application of fertilizer. In accordance with the above, the yields reported by the unpublished study were: 6.09 for the plot irrigated with residual water, 9.16 for the one irrigated with treated water without fertilizer and 13.67 for the one irrigated with treated water with addition of fertilizer. Within the framework of ideas, the importance of environmental impact was: -2487, -699 and -649 respectively. Consequently, the results indicated that irrigating with treated water will significantly reduce the environmental impact and increase crop yields, thus improving the quality of life of farmers and exposed populations. In addition to this, it was found that the amount of coliforms and helminth eggs in the treated water decreased considerably, favoring the diversification of crops and the possibility of irrigation technification.

Key Words: Wastewater, Treated water, Crop yields, Salinity, Pathogens, Environmental impact.

AGRADECIMIENTOS

Dedico esta tesis:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo y financiamiento para la realización de esta investigación.

Al Colegio de Postgraduados por la oportunidad brindada al permitirme formar parte de tan hermosa e ilustre institución.

A los integrantes de mi Consejo Particular, por el tiempo, apoyo, esfuerzo y dedicación que me brindaron, por la paciencia con la que me guiaron, así como las enseñanzas de vida que me regalaron.

A los profesores que me acompañaron en este camino de enseñanza y aprendizaje, a mis amigos y compañeros con los que me forme y que estuvieron presentes en todo momento.

A mi familia, que se esforzó tanto por darme las herramientas en todos los niveles académicos que curse, por su apoyo confianza y cariño.

A mi esposa, por la fe que siempre ha tenido en mí, por su apoyo, confianza y amor.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO II. TIPO DE INVESTIGACIÓN.	3
CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	4
CAPÍTULO IV. ALCANCE Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	6
CAPÍTULO V. OBJETIVOS.	7
Objetivo general	7
Objetivos específicos.	7
CAPÍTULO VI. HIPÓTESIS.	8
CAPÍTULO VII. ANTECEDENTES.	9
El riego con aguas residuales en el Valle del Mezquital.	9
La importancia socio-cultural del riego con aguas residuales	11
Proyecto PTAR Atotonilco como alternativa para mitigar el impacto ambiental.	14
CAPÍTULO VIII. MARCO TEÓRICO	17
El agua.	17
Usos del agua.	17
El agua en la agricultura.	22
Agricultura de riego.	22
Métodos de riego.	23
Infraestructura Hidroagrícola.	25
Distritos de riego.	25
Unidades de Riego.	26
Aguas residuales.	26
Clasificación y tipos de agua residual.	27
La generación de agua residual en México.	28

Generación de aguas residuales en la zona metropolitana del valle de México.	29
Sistema de desagüe de la Ciudad de México y la Zona Metropolitana.....	31
Tratamiento de aguas residuales.....	35
Etapas de tratamientos de agua residual.....	36
Procesos de tratamiento de la PTAR de Atotonilco.	40
Leyes y normatividad correspondiente al uso y tratamiento de aguas residuales. ...	41
Enfermedades causadas por el uso de aguas residuales en la agricultura.	42
Enfermedades por organismos patógenos presentes en las AR.	43
Enfermedades causadas por elementos potencialmente tóxicos.	45
CAPÍTULO IX. MÉTODO.	49
Ubicación de la zona de estudio.	50
Orografía e hidrografía.....	52
Clima.....	53
Características bióticas de la zona de estudio.	54
Flora.....	54
Fauna.....	55
Clasificación y uso de suelo.....	56
Geología.	56
Edafología.....	56
Uso de suelo.....	57
Estructura poblacional.....	59
Metodología experimental.....	61
Parcelas demostrativas, Etapa 1	62
Selección del sitio del experimento, enumeración de las parcelas demostrativas y delimitación de la zona de estudio.....	64
Análisis de suelo, agua y plantas.....	66
Análisis de la calidad del agua tratada de la planta piloto y del agua residual usada para riego.....	70
Selección de las variables de riego y fertilización.....	72
Proyecto productivo y disposiciones de riego del experimento expuesto	74

Sistema de riego tecnificado.....	75
Actividades de mantenimiento y cuidados del cultivo seleccionado durante el experimento	76
Características de la Planta paquete de Tratamientos de Agua Residual.	78
Recolección de muestras de cultivos para la evaluación de los rendimientos.....	79
Análisis del impacto ambiental de acuerdo a las actividades agrícolas realizadas y al tipo de agua usada para riego. Etapa 2.....	81
Acciones susceptibles de producir impacto	83
Factores Ambientales representativos de impacto.	86
Matrices para la identificación de los impactos ambientales.....	88
Análisis de interacciones e impacto ambiental	89
CAPÍTULO X. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	89
Rendimiento de los cultivos en relación al tipo de riego.....	89
Interacciones de impacto ambiental.....	91
Impacto ambiental en las parcelas.	91
Impactos perjudiciales y benéficos.	93
Relación entre rendimiento e impacto ambiental.	95
Coliformes fecales y Huevos de helmintos en los tipos de agua usadas para riego en el VM.....	97
CAPÍTULO XI. DISCUSIÓN.	99
CAPÍTULO XII. CONCLUSIONES	102
CAPÍTULO XIII. REFERENCIAS	104
ANEXOS	114
Anexo 1. Mapa de Distritos de Riego 2015-2016.....	115
Anexo 2. Listado de la flora representativa de Atotonilco de Tula	116
Anexo 3. Listado de la fauna representativa de Atotonilco de Tula.	118
Anexo 4. Agroquímicos usados durante el experimento de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).	124
Anexo 5. Resultados de los análisis de suelos.	130
Anexo 6. Lay out de la planta paquete.....	152

Anexo 6.1. Fotografías de la planta de tratamiento de aguas residuales paquete.....	154
Anexo 7. Matrices para la evaluación del impacto ambiental.....	156
Anexo 8. Datos de los parámetros evaluados del Agua residual y tratada proporcionados por la PTAR de Atotonilco.	157
Anexo 9. Calidad del agua tratada al salir de la PTAR de Atotonilco y de la planta paquete.....	158

LISTA DE CUADROS

Cuadro 7.1 Consorcio ATVM. elaboración propia con datos de Watertechnology (s.a, 2020).	15
Cuadro 8.1 Tipos de agua y sus usos, recuperado de: Tipos de agua (s.f).	19
Cuadro 8.2 Factores que afectan la selección del método de riego. Recuperado de Palacios (2002), complementado con Demin (2014).	24
Cuadro 8.3 Descargas de aguas residuales municipales y no municipales, 2017. Recuperado de CONAGUA (2018).	28
Cuadro 8.4 Volumen de agua que entra y sale en la ZMVM. Elaboración propia con datos de SEMARNAT (s.f).....	30
Cuadro 8.5 Estructuras hidráulicas que conforman el desagüe del Valle de México elaboración propia con información de (UNAM, s.f).	31
Cuadro 8.6 Patógenos presentes en las aguas residuales. Recuperado González y Chiroles, (2010).	44
Cuadro 8.7 Principales actividades industriales generadoras de metales pesados. Recuperado de 4. Caviedes. R. D., Muñoz. C. R., Perdomo. G. A., Rodríguez. A. D., Sandoval. R. I. (2015).	46
Cuadro 8.8 Metales pesados asociados a su toxicidad con los límites máximos permisibles establecidos por USEPA y por la NOM-127-SSA1-1994. Adaptado de (Caviedes, et al; 2015) que cita a (Nguyen, Ngo, Guo, Zhang, Liang, Yue, Li & Nguyen. T; 2013).	47
Cuadro 9.1 Variables independientes experimentales. Elaboración Propia	49
Cuadro 9.2 Hidrografía. INAFED, (s.f).....	53
Cuadro 9.3 Distribución de la superficie de acuerdo a su uso. Recuperado de (H. Ayuntamiento Municipal Constitucional de Atotonilco de Tula, Hidalgo, 2008).	57
Cuadro 9.4. Estructura por edad de la población, 2015. Elaborado con datos de Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2005 y Encuesta intercensal INEGI, 2015).	60
Cuadro 9.5 Población de 5 años y más Hablantes de lengua indígena y condición de lengua española. Elaborado con datos de CDI. Sistema de	

indicadores sobre la población indígena de México con base en: INEGI Encuesta Intercensal, México, 2015).	60
Cuadro 9.6 Población Indígena Auto adscrita por sexo y grandes grupos de edad. Elaborado con datos de CDI. Sistema de indicadores sobre la población indígena de México con base en: INEGI Encuesta Intercensal, México, 2015).	60
Cuadro 9.7 Escenarios evaluados en las parcelas demostrativos conforme al estudio referenciado. Elaboración propia.	61
Cuadro 9.8 Coordenadas de las parcelas demostrativas, Elaboración propia con los datos recuperados del estudio denominado Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y donde se realizaron los EIA del presente trabajo.	64
Cuadro 9.9 Metodología usada para las determinaciones fisicoquímicas de las muestras de suelo. Elaboración propia con los datos recuperados del estudio denominado Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).	69
Cuadro 9.10 Parámetros evaluados en muestras de descarga de aguas residuales (SEMARNAT, 1996 y datos reportados por la PTAR Atotonilco).	71
Cuadro 9.11 Rendimientos promedio por parcela, elaboración propia con los datos recuperados de la base de datos de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).	81
Cuadro 9.12. Modelo de importancia de impacto. Recuperado de: Hidrosar (s.f) que cita a Fernández-Vitoria. (2019).	83
Cuadro 9.13 ASPI de las parcelas regadas con AT por goteo con aplicación de fertilizantes. Elaboración Propia	84
Cuadro 9.14 ASPI de las parcelas regadas con AT por goteo sin aplicación de fertilizantes. Elaboración propia	85
Cuadro 9.15 ASPI de las parcelas regadas con AR por gravedad sin aplicación de fertilizantes. Elaboración propia.	86

Cuadro 9.16. Factores ambientales representativos de impacto. Elaboración propia.	87
Cuadro 9.17 Categorización por color de los impactos de acuerdo a su magnitud. Recuperado y adaptado de Díaz (2010) que cita a Fernández-Vitoria (2019).....	88
Cuadro 10.1 Rendimiento de las parcelas demostrativas. Elaboración propia.....	89
Cuadro 10.2 Importancia de impactos por componentes de las parcelas demostrativas. Elaboración propia.	92
Cuadro 10.3 Interacciones de impacto ambiental presentes en los FARI.	93
Cuadro 10.4 Cuantificación de las interacciones en las fases del proyecto (ASPI) para cada una de las parcelas. Elaboración propia.....	94
Cuadro 10.5 Máximo impacto positivo para cada parcela. Elaboración propia.	95
Cuadro 10.6 Máximo impacto negativo para cada parcela. Elaboración propia.	95
Cuadro 10.7 Organismos patógenos en el AR usada para riego del Canal el Salto-Tlamaco. Elaboración propia con ayuda de datos proporcionados por la PTAR de Atotonilco.	98
Cuadro 10.8 Organismos patógenos en las AT muestreadas.	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 7.1 Valor de la producción de las principales actividades económicas en el Valle del Mezquital (millones de pesos). Nota: Gráfico que representa la importancia de la producción agrícola en el Valle del Mezquital, Recuperado de García (2019).....	11
Figura 7.2 Canal el Salto-Tlamaco que transporta aguas negras. Nota: Foto que muestra la turbiedad de las aguas usadas para riego. Elaboración propia.	13
Figura 7.3. Formación de espumas en los canales de AR, suelen desprender partículas que causan mal olor e irritación de ojos. Nota: Las espumas suelen desprender particular que causan mal olor e irritación en los ojos. Elaboración propia.	13
Figura 7.4 Presencia de residuos sólidos y turbiedad las orillas del Rio el Salto. Nota: Se puede observar presencia de residuos sólidos y fangos negros a orillas de los ríos y canales la zona de estudio. Elaboración propia.....	14
Figura 7.5. Fotos de la PTAR de Atotonilco. Nota: Entrada principal de la PTAR de Atotonilco y sus instalaciones. Elaboración propia.....	16
Figura 8.1 Diagrama de entradas y salidas de agua en la ZMVM. Nota: Balance de entradas y salidas de agua en la ZMVM. Elaboración propia con datos recuperados de SEMARNAT (s.f).	30
Figura 8.2 Imágenes del Tajo de Nochistongo. Recuperado de Cisneros (2016) y Ptolomeo (s.f).	32
Figura 8.3 Gran canal de desagüe imágenes recuperadas de Sólis (2018) y Ptolomeo (s.f).	32
Figura 8.4 Salida del Emisor Central en Tula Hidalgo y túnel de drenaje profundo. Recuperado de SEMARNAT (s.f).	33
Figura 8.5 Trayecto del sistema de desalojo de aguas de la Ciudad de México. Nota: En la Figura se puede observar el recorrido del AR a través de las estructuras hidráulicas, hasta el VM. Recuperado de Leal (2015).	34

Figura 8.6 Trenes de tratamiento del agua residual. Nota: En la Figura se muestran los tres trenes de proceso presentes en los tratamientos de aguas residuales. Elaboración propia.	36
Figura 8.7 Tipos de tratamientos biológicos, elaboración propia. Nota: En la Figura se explica mediante un diagrama los dos tipos de tratamientos biológicos. Elaboración propia.....	39
Figura 8.8 Diagrama de tratamiento del agua residual en la PTAR Atotonilco. Nota: En la Figura se muestra el diagrama del proceso de tratamiento llevado a cabo en la PTAR Atotonilco (CONAGUA; 2010).	40
Figura 9.1 Localización de Atotonilco de Tula en el Estado de Hidalgo. Recuperado de Google (s.f) & INAFED (s,f).	51
Figura 9.2 Macro localización de la zona de estudio. Recuperado de Google (s.f).....	51
Figura 9.3 Localización de las parcelas demostrativas que se usaron en el experimento de la investigación inédita. Nota: En la Figura se ilustran los polígonos de las parcelas demostrativas que fueron usadas en el experimento inédito, que fue usado como punto de partida y base de referencia. Elaboración propia mediante el uso del Software Arc Map.	52
Figura 9.4 Características climáticas a lo largo del año en Tula Hidalgo. Nota: En la Figura se pueden observar las variaciones de los componentes climáticos a lo largo del año en el municipio de Tula en estado de Hidalgo. Recuperado de Weather Spark (s.f).....	54
Figura 9.5 Algunos ejemplos de flora endémica presente en las zonas agrícolas del Valle de Mezquital. Elaboración propia.	55
Figura 9.6 Gráfica de uso de suelo de Atotonilco de Tula. Nota. En la gráfica se observa la predominancia de las actividades agrícolas en los tipos de uso de suelo. Recuperado de H. Ayuntamiento Municipal Constitucional de Atotonilco de Tula, Hidalgo (2008).	58
Figura 9.7 Usos de suelo de la zona de estudio y sus colindancias. Nota: En la figura se muestran las parcelas demostrativas y los dos principales suelos, los de uso agrícola y los urbanos. Elaboración propia mediante el uso de software Arc Map.	59

Figura 9.8 Procedimiento del experimento en la etapa 1, parcelas demostrativas.....	63
Figura 9.9 Parcelas demostrativas enumeradas y PTAR piloto. Nota: En la figura se muestran las tres parcelas en las que se llevó a cabo el experimento para determinar los rendimientos en los tres escenarios planteados en la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y donde se realizaron los EIA del presente trabajo. Elaboración propia mediante el uso del Software Arc Map.....	65
Figura 9.10 Delimitación de la superficie para los estudios de impacto ambiental. Nota: En la figura se muestra la superficie delimitada para los estudios de impacto ambiental, así como los cuerpos de agua cercanos, y la zona urbana susceptible a impactos. Elaboración propia mediante el uso del Software Arc Map.....	66
Figura 9.11 Actividades realizadas en la elaboración de los análisis químicos. Nota: En el diagrama se muestran las actividades realizadas para la recolección de muestras y análisis de estas conforme a los datos consultados derivados de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014). Elaboración propia.....	67
Figura 9.12 Localización de los perfiles pedológicos. Nota: En la figura se muestra la localización de los perfiles pedológicos en el área de estudio especificada en la base de datos consultados derivados de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014). Elaboración propia mediante el uso del Software Arc Map.....	68
Figura 9.13 Recolección de muestras de suelo en el área delimitada para las evaluaciones de impacto ambiental. Nota: En la figura se muestra la recolección de muestras de suelo en el área delimitada para las evaluaciones de impacto ambiental. Elaboración propia.....	70
Figura 9.14 Zona de muestreo (Canal Salto-Tlamaco) y muestra recolectada de AR. Nota: En la figura se muestra el canal Salto-Tlamaco donde se	

recolectaron las muestras de AR y un ejemplo de esta. Elaboración propia.	71
Figura 9.15 Plano de las parcelas demostrativas y los escenarios seleccionados para cada una. Nota: En la figura se muestran las parcelas demostrativas y los escenarios seleccionados para cada uno en conformidad con la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014). Elaboración propia mediante el uso del Software Arc Map.	73
Figura 9.16 Riego con AR por gravedad en la parcela 3. Nota. En la figura se muestra la parcela 3 siendo regada por AR mediante riego por gravedad. Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT, (2014).	74
Figura 9.17 Riego por goteo en la parcela 2. Nota: En la figura se muestra la parcela 2 siendo regada por AT mediante riego por goteo. Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).	74
Figura 9.18 Rastreo y surcado. Nota: En la figura se muestra el proceso de rastreo y surcado por maquinaria agrícola. Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).	75
Figura 9.19 Colocación de las cintas de riego en las parcelas regadas con AT. Nota: Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).	76
Figura 9.20 Fertilización y fumigación de la parcela 1. Nota: Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).	77

Figura 9.21	Desarrollo del maíz en la parcela 3. Nota: Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).	78
Figura 9.22	Mazorcas ya con jilotes en la parcela 2. Nota: Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).	78
Figura 10.1	Rendimiento del cultivo del maíz en Toneladas por Hectárea del experimento realizado en las parcelas demostrativas. Nota: En la figura se muestra la comparación de los rendimientos obtenidos en las parcelas demostrativas resultado del experimento de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).	91
Figura 10.2	Rendimiento del maíz en las parcelas demostrativa. Nota: En la figura se muestran los rendimientos obtenidos en las parcelas demostrativas resultado del experimento de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).	96
Figura 10.3	Impacto Ambiental Total calculado en cada una de las parcelas. Nota: En la figura se muestra el grafico comparativo de los impactos totales obtenidos en cada una de las parcelas. Elaboración propia.	97

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

El Valle del Mezquital (VM) a lo largo de los años se ha caracterizado por ser una zona agrícola de gran importancia para el país, que se destaca por el uso de aguas residuales para riego provenientes de la Zona Metropolitana, condición que ha provocado fuerte impacto ambiental para la región y un foco de alerta sanitario. Para atender esta problemática, durante el gobierno de Felipe Calderón se inició la construcción de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) de Atotonilco con la finalidad de sustituir el agua residual (AR) por agua tratada (AT) utilizada en diferentes actividades agrícolas. Sin embargo, la mayoría de los agricultores se resisten a esta alternativa debido a que el AR contiene elementos y compuestos orgánicos e inorgánicos que proporcionan nutrientes a los cultivos, por lo que están convencidos que los costos de producción disminuyen al no invertir en mejoradores de suelo y otros insumos agrícolas.

Con base en este escenario se plantea la sustitución de aguas residuales por aguas tratadas como una alternativa rentable de mitigación de impacto ambiental. Lo que permitirá diversificar la siembra y por ende el incremento de ingresos para los productores debido a que, por el tipo de agua usada (AR), se siembran cultivos de bajo costo como el maíz, la alfalfa, la cebada, el frijol, entre otros. Al cambiar la calidad del recurso hídrico se busca beneficiar al sector agrícola al acceder a productos más rentables o dicho de otro modo «pasar de cultivos de riego restringido a cultivos de riego no restringido» (García, 2019). Aunado a esto se podrá emplear tecnificación de riego lo que permitirá mejorar el rendimiento de las parcelas, el mejoramiento del paisaje de la región, la mitigación del impacto ambiental y la optimización de las condiciones sanitarias de los trabajadores del campo y los pobladores de la región, dado que se observan espacios contaminados e insalubres donde predomina la basura, los malos olores y la presencia de plagas como insectos, roedores y aves que son portadores de patógenos.

Desde el punto de vista ambiental y edáfico, el riego con aguas negras sin tratar puede generar salinidad y sodicidad en los suelos, contaminación de cuerpos de agua, eutrofización, bioacumulación de contaminantes e incluso generación de gases de efecto

invernadero que contribuyen al calentamiento global, provocando desequilibrio ecológico.

Dicho lo anterior, es importante entender y evaluar las consecuencias del uso de las AR en la agricultura y de esta forma cuantificar la importancia de los impactos generados por las actividades productivas agrícolas, y analizar los posibles efectos de utilizar AT, lo que permitirá ofrecer alternativas de atenuación, mitigación o reducción del impacto ambiental que se ha generado en el VM, sin afectar el rendimiento de los cultivos.

En conformidad con lo anterior, esta investigación busca conocer los problemas derivados del riego con AR en los Distritos de Riego que se encuentran en el Valle del Mezquital en los límites del estado de Hidalgo, cuantificados a través de estudios de impacto ambiental y de calidad de agua llevados a cabo en una zona delimitada de estudio.

CAPÍTULO II. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Este trabajo de investigación se ubica en el enfoque cuantitativo, mientras que los estudios de impacto ambiental son cualitativos-cuantitativos. El diseño de investigación es experimental, correlacional y explicativo.

CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La contaminación, el calentamiento global y el uso desmedido del agua tienen como consecuencia la escasez de este recurso hídrico. Así mismo, la falta de tierras fértiles y la constante desertificación han provocado que los agricultores se vean en la necesidad de buscar alternativas para sembrar y regar. Un ejemplo de esto es el uso de aguas residuales.

El uso de aguas negras para riego en la cuenca del valle de Mezquital (VM) ha sido causa de polémica. De acuerdo con (Mercado, 2011), hay altos niveles de sodio y sales en las AR provenientes de la zona Metropolitana descargadas en el VM. Esto provoca salinización y sodificación de suelos, la presencia de contaminantes y otros compuestos que pueden generar efectos adversos a la salud y al ambiente. Por otro lado, las aguas negras también poseen nutrientes y materia orgánica que en algunos casos son benéficos, principalmente para los suelos semiáridos.

El VM es una región agrícola con una gran cantidad de suelos de riego. Los DR 003 y 100 están constituidos de diversos caudales de aguas negras; las concentraciones de AR para riego cambian y de la misma forma la calidad de los suelos expuestos a esta, así como el impacto ambiental de la zona. Por lo que es importante considerar las consecuencias que esta práctica tiene y proponer opciones que permitan mejorar o conservar la eficiencia de los cultivos sin comprometer al ambiente. El uso de AT presenta una alternativa rentable para el desarrollo sostenible de las actividades agrícolas de la región permite la diversificación de los cultivos y por consiguiente el bienestar económico, social y ecológico de los productores y habitantes.

Con base en este escenario, se establece el siguiente planteamiento:

¿Por qué las aguas tratadas son una alternativa rentable para mitigar el impacto ambiental y mejorar la economía de los agricultores del Valle de Mezquital?

Derivado del planteamiento surgen las siguientes preguntas de indagación a fin de dar cumplimiento a los objetivos de investigación:

¿Cuáles son los principales cambios ambientales, culturales y que beneficio se percibe a partir de la implementación del riego con agua tratada procedente de la PTAR Atotonilco? ¿En qué medida los usos, costumbres y prácticas culturales favorecen u obstaculizan el uso de agua de agua tratada como alternativa?

CAPÍTULO IV. ALCANCE Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

El presente escrito tiene como finalidad demostrar que, al sustituir las AR por AT, se accederá a cultivos más rentables y con mejores rendimientos, además se reducirá y/o mitigará el impacto ambiental en las zonas agrícolas del Valle del Mezquital pertenecientes al estado de Hidalgo. Dicho lo anterior, esta investigación se sustenta a partir de estudios inéditos realizados anteriormente en parcelas demostrativas y las evaluaciones de impacto ambiental llevadas a cabo en la zona donde se realizaron dichos experimentos. En el mismo orden de ideas, se determinarán los impactos ambientales positivos y negativos dominantes, mismos que permitirán relacionar los posibles beneficios, tanto para los productores como para los pobladores de la región; además dará pie a la comprensión de los arraigos culturales con respecto a las AR y la apertura a nuevas alternativas de riego, así mismo, será un eje de análisis para determinar cuál de los dos tipos de agua es la mejor opción para la zona en cuestión, con la finalidad de desarrollar estrategias de mitigación o tratamiento para las áreas expuestas a las actividades agrícolas.

La investigación está delimitada únicamente a la región del Valle del Mezquital, perteneciente al estado de Hidalgo. Los estudios se llevaron a cabo en las parcelas demostrativas donde se realizaron experimentos inéditos referentes al rendimiento de los cultivos regados con AR y AT. Dicho lo anterior los Estudios de impacto ambiental se delimitaron a las parcelas mencionadas. Aunado a esto, el presente escrito se realizará en las instalaciones del Postgrado de Hidrociencias en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Texcoco, C.P 56230, Estado de México.

CAPÍTULO V. OBJETIVOS.

Objetivo general

Evaluar la rentabilidad y el impacto ambiental del uso de aguas tratadas en los cultivos de la zona agrícola del valle del mezquital.

Objetivos específicos.

1. Comparar los rendimientos de los cultivos regados con aguas residuales y tratadas mediante la utilización de parcelas demostrativas y una planta paquete, recuperados de un experimento inédito realizado.
2. Identificar qué tipo de riego es más conveniente, si por gravedad o presurizado.
3. Determinar el impacto ambiental derivado del uso de las aguas residuales y tratadas en las parcelas demostrativas del Valle del Mezquital
4. Analizar los beneficios generados para los agricultores al sustituir las aguas residuales por tratadas.

CAPÍTULO VI. HIPÓTESIS.

1. Cuando se sustituye el agua residual por tratada la rentabilidad de los cultivos se incrementa y el impacto ambiental disminuye.
2. Al implementar un plan de riego se incrementa la productividad y se diversifican los cultivos que pueden sembrarse en el Valle del Mezquital.
3. Cuando se mitigue el impacto ambiental del Valle del Mezquital mediante el uso correcto de las aguas tratadas, los agricultores mejorarán su calidad de vida.

CAPÍTULO VII. ANTECEDENTES.

El sector agrícola es uno de los más importantes del país. De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), tan sólo durante el 2017 se sembraron 21,590,547.60 hectáreas y se registró un valor de producción de 587.2 mil millones de pesos, además, este aporta el 3.4% del Producto Interno Bruto (PIB). En el mismo orden de ideas, la seguridad alimentaria es una parte fundamental de cada nación, situación que enmarca aún más la importancia de este sector, aunado a esto, millones de mexicanos dependen del campo como principal sustento de vida.

Sin embargo, gran parte de los suelos usados para la agricultura se localizan en zonas áridas o con problemas de fertilidad, también sufren por la escasez de agua de calidad, la falta de recursos económicos por parte de los agricultores, así como la necesidad de desalojar y dar uso a las aguas negras provenientes de las zonas urbanas, han propiciado el uso de las AR para riego en diferentes áreas del país. De acuerdo con Sánchez (2013) y Pulido (2017), en México se riegan 350,000 ha con AR, sin embargo, García (2001) y Cisneros (2016) refieren que son aproximadamente 340,000 ha, mientras que García (2019) con ayuda de AQUASTAT de la FAO sostiene que son 387,600 ha. Por lo que el riego oscila entre 340,000 y 380,000 ha con AR en el país, lo que coloca a México en el segundo lugar después de China en el uso de AR para riego en el mundo.

El riego con aguas residuales en el Valle del Mezquital.

El Valle del Mezquital es una región semiárida con alto índice de marginación donde la mayoría de sus pobladores dependen en mayor medida de la agricultura y la ganadería. Los cultivos que se siembran principalmente son maíz, frijol, alfalfa y cebada, entre otros, estos son regados con aguas residuales desde hace más de 100 años. El origen de esta práctica se remonta al Porfiriato, como consecuencia de la construcción del gran canal de desagüe, al pretender controlar los caudales de AR y pluviales de la Zona Metropolitana del Valle México (ZMVM) y como una alternativa para incrementar la

fertilidad de los suelos áridos de la región. En el marco de las ideas, de acuerdo con Sánchez (2019) «El decreto promulgado por el entonces presidente Porfirio Díaz, en 1893, permitió que los indígenas del Valle del Mezquital, que sufrían una extrema aridez en sus tierras, lograran tener el caudal de aguas residuales del Valle de México» permitió el desarrollo de las actividades agrícolas del VM, al contar con un suministro de agua constante, rica en nutrientes, pero también trajo consigo problemas ambientales y sanitarios a la región.

El riego con AR es de suma importancia para los agricultores del VM, debido a la materia orgánica (MO) que contiene, los nutrientes y los bajos costos de operación. Los productores están convencidos de que los rendimientos de los cultivos son altos debido al riego con aguas negras, por lo que «a pesar del riesgo que implican los desechos tóxicos, y la posibilidad de adquirir enfermedades gastrointestinales y degenerativas, las aguas residuales de la capital de la República son para el Valle del Mezquital un recurso necesario» (Cruz, 2011).

Las actividades agropecuarias en el VM son fundamentales para Hidalgo, de acuerdo con García (2019), aportan un 56% al producto interno bruto (PIB), el equivalente a 30505.65 millones de pesos. Además, el autor refiere que durante el 2014 el porcentaje del valor de producción agrícola fue del 59%, mientras que el ganadero fue del 40%, como se muestra en la figura 7.1.

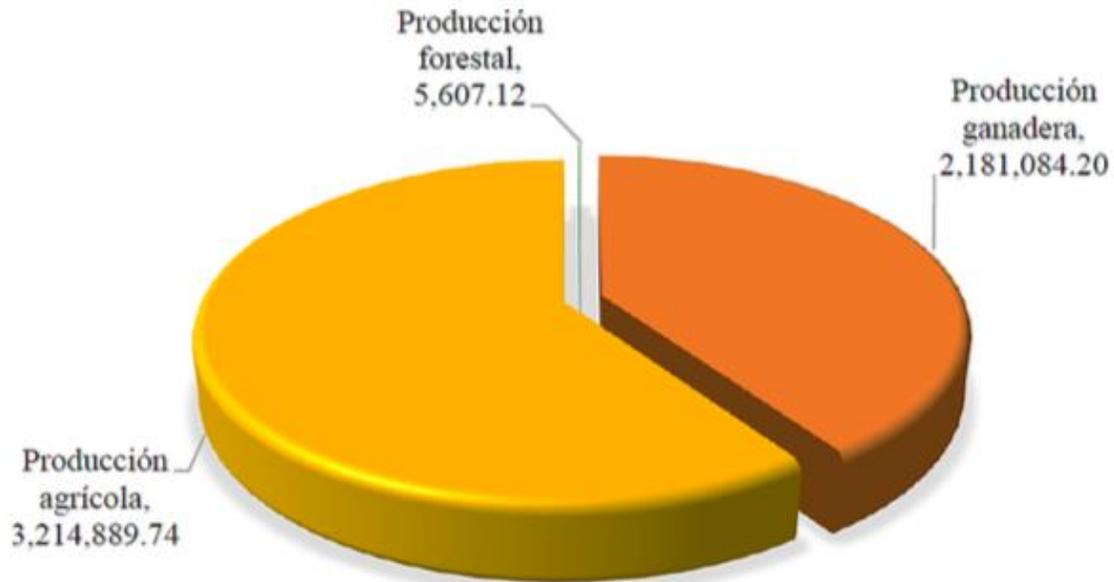


Figura VII.1 Valor de la producción de las principales actividades económicas en el Valle del Mezquital (millones de pesos). Nota: Gráfico que representa la importancia de la producción agrícola en el Valle del Mezquital, Recuperado de García (2019).

La importancia socio-cultural del riego con aguas residuales

Como se mencionó en las actividades agropecuarias el uso de aguas negras está presente. Esta práctica se ha arraigado profundamente en la sociedad del VM, por lo que los productores se niegan al uso de AT como alternativa para mitigar el impacto ambiental y sanitario que enfrenta la región. Algunos agricultores del VM exigen a las autoridades que la AR no sea tratada e insisten en que el caudal permanezca constante para evitar posibles trifulcas entre ellos.

En el mismo orden de ideas; Fernando Sánchez de 37 años, agricultor que se opone a la PTAR Atotonilco, argumenta que «las plantaciones de maíz producen un promedio de 15 toneladas por hectárea, aunque algunas llegan a 18 toneladas». Por lo que la mayoría de los usuarios de riego declaran que, si empiezan a recibir agua purificada, la producción será aproximadamente la mitad» (Ap, 2017). De igual forma, Teresa Alvares

de 69 años argumenta: «no es justo que ahora de buenas a primeras nos estén quitando el agua. Vamos a luchar» (Ap, 2017).

De acuerdo con Cruz (2011) el uso de aguas negras provenientes del ZMVM es un mal necesario para las comunidades campesinas a pesar de los riegos que implican los desechos tóxicos y la posibilidad de contraer enfermedades degenerativas o gastrointestinales. Como se mencionó, el riego con AR puede generar problemas ambientales y de salud, que varían dependiendo de los tipos de suelos, cultivos, composición de las aguas, la exposición, etc. Aunado a esto, «El uso de aguas negras para irrigación puede generar problemas de salinidad, sodicidad y toxicidad en el suelo y en los cultivos» (Pérez. D. J; Flores. M. H; Ortega. E. H; Ramírez. A. C; Sánchez. B. E; Can. C. A; Mancilla. V. O, 2019). La salinidad y sodicidad a su vez causan encostramiento de los suelos, por consiguiente, se reduce la disponibilidad de agua para los cultivos y provoca la pérdida de fertilidad. Además, expresan que el agua de origen residual contiene elementos potencialmente tóxicos para los organismos acuáticos, y metales pesados que se adicionan al suelo y se acumulan en la capa arable por lo que pueden ser absorbidos por plantas y animales, propiciando la bioacumulación. En adición a esto, se destaca que el paisaje se ve alterado por los malos olores, los desechos sólidos arrastrados por las aguas residuales, las montañas de espuma generadas por su uso y las filtraciones de aguas negras. Esta situación es un problema para los pobladores quienes comentan que «Cuando se abren las compuertas de la presa, el olor y la espuma generados por la caída del agua negra se esparcen por toda la comunidad [...] Las filtraciones de agua residual provenientes de la presa Endhó contaminaron el pozo de agua limpia que abastece el pueblo» (Cuenca, 2010). En las figuras 7.2, 7.3 y 7.4 se muestran algunos ejemplos de la condición de las aguas usadas para riego.



Figura VII.2 Canal el Salto-Tlamaco que transporta aguas negras. Nota: Foto que muestra la turbiedad de las aguas usadas para riego. Elaboración propia.



Figura VII.3. Formación de espumas en los canales de AR, suelen desprender partículas que causan mal olor e irritación de ojos. Nota: Las espumas suelen desprender partículas que causan mal olor e irritación en los ojos. Elaboración propia.



Figura 7.4 Presencia de residuos sólidos y turbiedad las orillas del Rio el Salto. Nota: Se puede observar presencia de residuos sólidos y fangos negros a orillas de los ríos y canales la zona de estudio. Elaboración propia.

Debido a las situaciones y riesgos mencionados y con la finalidad de mitigar, disminuir o controlar el impacto consecuente de las prácticas de riego mencionadas, se propuso la construcción de la PTAR Atotonilco durante el sexenio del expresidente Felipe Calderón para tratar gran parte del caudal de AR enviadas a las zonas agrícolas del estado de Hidalgo localizadas en el VM. La situación ha provocado preocupación en los agricultores y ha generado una polémica creciente en torno a la sustitución de AR por AT, llegando incluso al uso de la fuerza.

Proyecto PTAR Atotonilco como alternativa para mitigar el impacto ambiental.

La PTAR de Atotonilco inició su construcción en 2009 y se inauguró en julio de 2017, con una inversión de 9,389.22 MDP en moneda nacional, que de acuerdo con CONAGUA (s.f), el 48.98% fue de aportación federal (FONADIN), el 20% fue financiado por el sector privado como factor de riesgo y el 31% por créditos bancarios. Se asignó la construcción y la operación al Consorcio de Aguas Tratadas del Valle de México (ATVM); conformado por diferentes asociaciones con porcentajes de participación mostrados en el cuadro 7.1.

Cuadro 7.1 Consorcio ATVM. elaboración propia con datos de Watertechnology (s.a, 2020).

Participantes	Porcentaje de participación
IDEAL (Impulsora de desarrollo y el empleo en América Latina)	40.8%
ACCIONA agua (Empresa especializada en proyectos)	24.26%
ATLATEC (Subsidiaria de Mitsui & Co y Tokio Engineering)	24.26%
ICA (Subsidiaria conocida como Controladora de operación de infraestructura)	10.2%
Otros inversionistas minoritarios	0.48%

Nota. En esta tabla se muestra el porcentaje de participación de las diferentes empresas pertenecientes al consorcio ATVM.

La PTAR Atotonilco se localiza en el municipio del mismo nombre dentro de Tula, entre las localidades de San José Acoculco y Melchor Ocampo (El Salto), municipio de Tepeji del Río, en el estado de Hidalgo, entre los paralelos 19°58'12" y 19°57'11" de latitud norte y los meridianos 99°17'06" y 99°18'17" de longitud oeste (CONAGUA, 2010).

De acuerdo con CONAGUA (s.f) y Arroyo (2018), la planta fue diseñada para tratar un caudal de 50m³/s como capacidad máxima en tiempos de lluvia y 35m³/s durante la temporada de estiaje. Trata en promedio 23m³/s o, dicho de otra forma, un caudal medio 3,628,800m³/día, depura AR de una población de 12.6 millones de habitantes equivalentes de la Ciudad de México.

La PTAR Atotonilco tiene como finalidad mitigar el impacto ambiental causado por el riego con AR en el VM, evitar la sobreexplotación de los mantos acuíferos, disminuir el riesgo de contraer enfermedades debido a las prácticas mencionadas y beneficiar al sector agrícola al dotar a las parcelas con agua de mejor calidad. En conformidad con lo establecido por CONAGUA (s.f) el tratamiento del agua no tiene costo para los

agricultores, se facilita la tecnificación de riego y el agua conserva la mayoría de sus nutrientes como el Nitrógeno y el Fosforo.

La reducción de gases de efecto invernadero es una prioridad a nivel mundial, por lo que la PTAR Atotonilco se destaca por su sostenibilidad. La planta genera energía eléctrica mediante el uso de biogás y gas natural obtenidos en el proceso de digestión de los biosólidos procedentes del tratamiento de AR y logra una autonomía energética del 60% (CONAGUA, s.f.). Aunado a esto; Bello, Contreras y Rodríguez (2016) consideran que al usar AT o reciclada para las operaciones de la planta se reduce el uso de agua potable un 92.5 %, por lo que se puede evitar 400,000 toneladas de CO₂ en promedio anual.

Desafortunadamente, como se mencionó, los agricultores no están de acuerdo con dejar de utilizar AR, alegando que al hacerlo sus rendimientos disminuirán y tendrán que invertir en insumos agrícolas, llegando al punto de querer cerrar la PTAR Atotonilco mediante amenazas y manifestaciones. En la figura 7.5 se muestran fotografías del exterior de la PTAR.



Figura 7.5. Fotos de la PTAR de Atotonilco. Nota: Entrada principal de la PTAR de Atotonilco y sus instalaciones. Elaboración propia.

CAPÍTULO VIII. MARCO TEÓRICO

El agua.

El agua es un compuesto formado por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno, unidos mediante enlaces covalentes, así mismo sus moléculas se atraen y se unen mediante puentes de hidrogeno y es importante desatacar que cuenta con geometría angular, esto quiere decir que los átomos de hidrogeno están separados en un ángulo de 105°C . Aunado a esto, es considerada el solvente universal, presenta alta constante dieléctrica y tiene la capacidad de absorber calor sin cambiar demasiado su temperatura.

En el mismo orden de ideas, una de las características destacables de este compuesto es que se encuentra en el ambiente en los tres estados de la materia, estos son fundamentales para el ciclo hidrológico que, de acuerdo con «¿Qué es el agua?», (2017), dependen principalmente de la presión atmosférica y la temperatura conforme al orden que se muestra a continuación.

- Solido a temperaturas igual o menor a 0°C a nivel del mar (Hielo)
- Liquido entre 0°C y 100°C a nivel del mar (gotas, ríos, lagos, mares, etc.)
- Gaseoso a más de 100°C (vapor de agua, nubes, niebla, rocío, etc.)

Las características mencionadas hacen del agua un recurso esencial para la vida y el ambiente, debido a que influye en el clima, el relieve, las propiedades del suelo, el aire, la vegetación, la fauna, etc. Fernández (2012) argumenta que el este compuesto es un recurso renovable pero finito, por lo que el uso eficiente del líquido vital es de suma importancia para el equilibrio natural y la supervivencia de los seres vivos,

Usos del agua.

Dada su importancia en el ambiente y que está presente en la mayoría de las actividades humanas, Fernández (2012) propone dos tipos de usos para clasificarla:

- Usos naturales. Mantenimiento de ríos, plantas, ecosistemas, transporte de sedimentos, reservas naturales, procesos metabólicos, etc.
- Usos antrópicos. Aprovechamiento doméstico, recreación, agricultura, ganadería, minería, industria, energía hidroeléctrica, paisajismo, farmacéutica, etc.

Cabe destacar que las características del agua cambian dependiendo de su origen, tipo de suelo con el que está en contacto, atmosfera, región, entre otros. Debido a esta premisa, existen los estudios de calidad del agua que son esenciales para determinar las particularidades y la composición del recurso hídrico, mismos que fungen como punto angular en el correcto manejo y gestión del compuesto. Es importante resaltar que existen diferentes tipos relacionados a su uso y cada uno tiene peculiaridades únicas que pueden ser aprovechadas por el hombre o por la naturaleza, tal y como se muestra en el cuadro 8.1.

Cuadro 8.1 Tipos de agua y sus usos, recuperado de: Tipos de agua (s.f).

Tipos de agua	Uso	Descripción
Agua potable	Natural y antrópico	Agua que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades.
Agua salada	Natural	Agua en la que la concentración de sales es relativamente alta (más de 10 000 mg/l).
Agua salobre	Natural	Contiene sal en una proporción significativamente menor que el agua marina, generalmente comprendida entre 1000 - 10 000 mg/l.
Agua dulce	Natural y antrópico	Agua natural con una baja concentración de sales, o generalmente considerada adecuada, previo tratamiento, para producir agua potable.
Agua dura	Natural y antrópico	Agua que contiene un gran número de iones positivos. La dureza está determinada por el número de átomos de calcio y magnesio presentes.
Agua blanda	Natural y antrópico	Agua sin dureza significativa.
Agua negra	Antrópico	Agua de abastecimiento de una comunidad después de haber sido contaminada por diversos usos. Puede ser una combinación de residuos, líquidos o en suspensión, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia.
Aguas grises	Antrópico	Aguas domésticas residuales compuestas por agua de lavar procedente de la cocina, cuarto de baño, aguas de los fregaderos, y lavaderos.
Aguas residuales	Antrópico	Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado. El gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.

Tipos de agua	Uso	Descripción
Aguas municipales	Antrópico	Residuos líquidos, originados por una comunidad, formados posiblemente aguas residuales domésticas o descargas industriales.
Aguas brutas	Antrópico	Agua que no ha recibido tratamiento de ningún tipo, o agua que entra en una planta para su ulterior tratamiento.
Aguas muertas	Natural y antrópico	Aguas en estado de escasa o nula circulación, generalmente con déficit de oxígeno.
Agua alcalina	Natural y antrópico	Agua cuyo pH es superior a 7.
Agua capilar	Natural	Agua que se mantiene en el suelo por encima del nivel freático debido a la capilaridad.
Agua de adhesión	Natural	Agua retenida en el suelo por atracción molecular, formando una película en las paredes de la roca o en las partículas del suelo.
Agua de desborde	Natural	Agua que se inyecta a través de una fisura en una capa de hielo.
Agua de formación	Natural	Agua retenida en los intersticios de una roca sedimentaria en la época en que ésta se formó.
Agua de gravedad	Natural	Agua en la zona no saturada que se mueve bajo la influencia de la fuerza de gravedad.
Agua de suelo	Natural	Agua que se encuentra en la zona superior del suelo o en la zona de aireación cerca de la superficie del terreno, de forma que puede ser cedida a la atmósfera por evapotranspiración.
Agua disforica	Natural	Agua pobre en nutrientes y que contiene altas concentraciones de ácido húmico.
Agua estancada	Natural y antrópica	Agua inmóvil en determinadas zonas de un río, lago, estanque o acuífero.

Tipos de agua	Uso	Descripción
Agua fósil	Natural	Agua infiltrada en un acuífero durante una antigua época geológica bajo condiciones climáticas y morfológicas diferentes de las actuales y almacenada desde entonces.
Agua freática	Natural y antrópica	Agua subterránea que se presenta en la zona de saturación y que tiene una superficie libre.
Agua funicular	Natural	Agua presente en los mayores poros que rodea las partículas del suelo formando, en los puntos de contacto con dichas partículas, anillos que se fusionan entre ellos.
Agua primitiva	Natural	Agua proveniente del interior de la tierra, que no ha existido antes en forma de agua atmosférica o superficial.
Agua magmática	Natural y Antrópica	Agua impulsada hasta la superficie terrestre desde gran profundidad, por el movimiento ascendente de rocas ígneas intrusivas.
Agua metamórfica	Natural	Agua expulsada de las rocas durante el proceso de metamorfismo.
Agua vadosa	Natural y antrópica	Cualquier agua que aparece en la zona no saturada.
Agua subterránea	Natural y antrópica	Agua que puede ser encontrada en la zona saturada del suelo, zona que consiste principalmente en agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos.
Agua superficial	Natural y antrópica	Toda agua natural abierta a la atmósfera, concerniente a ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, mares, estuarios y humedales.

El agua en la agricultura.

Los seres vivos necesitan grandes cantidades de agua para llevar a cabo sus funciones vitales. Principalmente las plantas debido a que esta representa un gran porcentaje de su peso, «constituye el medio de transporte de los nutrientes que provienen del suelo y en el proceso fotosintético el agua se combina con el dióxido de carbono para constituir la biomasa, es decir la planta misma» (Palacios, 2002). Así mismo, el mismo autor menciona que el agua evapotranspirada en la mayoría de los cultivos representa el 95% del consumo de este compuesto, por lo que el proceso vegetal que más agua usa es el de transpiración, el cual se relaciona con la cantidad de biomasa que genera. De acuerdo con lo anterior se establece la relación existente entre la cantidad de agua disponible para los cultivos o la planta y los rendimientos de estos. Es sustancial considerar la relevancia de este recurso en las etapas de crecimiento del cultivo, debido a que «en algunas etapas de su desarrollo vegetativo las plantas son más o menos sensibles a los déficits de agua» (Palacios, 2002). Como se mencionó el compuesto es un elemento fundamental para la agricultura, esta afirmación se respalda debido a que se pueden obtener cultivos en ausencia de suelo (hidroponía), pero no de agua, por lo que uno de los principales retos de los agricultores, es contar con la disponibilidad de este recurso y la capacidad de hacerlo llegar a las plantas.

Agricultura de riego.

La agricultura de riego tiene una gran ventaja sobre la de temporal, debido a que la primera no depende de factores como el clima y la región, permite mejores rendimientos en los cultivos, que sean más diversos y de mejor calidad. Dicho esto, Demin (2014) afirma que «cuando el contenido de humedad es bajo se dificulta la absorción, por ello es necesario regar para reponerla y que quede disponible para las plantas [...] el riego busca reducir las pérdidas de agua y hacer uso eficiente de la misma». Conforme lo anterior, el agua de lluvia es indispensable para la agricultura, pero el riego funge como complemento para satisfacer la demanda de agua que utilizan las plantas, maximizando la eficiencia de los cultivos.

Métodos de riego.

Existen diferentes métodos de riego y varían dependiendo de las características de los suelos, la topografía, las plantas, el clima y los costos. Según Palacios (2002) los más utilizados hasta la fecha son

- Gravedad
- Aspersión y microaspersión
- Goteo
- Subirrigación

Los métodos de aspersión, microaspersión y goteo pueden categorizarse como «riego presurizado» Por otro lado, el método de gravedad entra dentro del «riego por superficie», este último presenta bajos costos de inversión y no requiere grandes consumos de energía, sin embargo existen altas probabilidades de presentar pérdidas por infiltración y las irregularidades del terreno pueden ocasionar estancamientos en las áreas más bajas y por consiguiente falta de agua en las zonas más altas, lo que puede ocasionar desigualdad en los rendimientos de los cultivos (Demin, 2014). Por otro lado, el riego presurizado se vale de tuberías para conducir agua a presión directamente a los cultivos, situación que permite evitar la distribución irregular del agua al terreno por consecuencia del relieve o la pendiente del mismo, así como las pérdidas por infiltración. Este tipo de riego se puede aplicar de acuerdo a las necesidades del cultivo, sin embargo, es más costoso, requiere conocimientos específicos para su operación y necesita mayor cantidad de energía para su funcionamiento. En conformidad con lo anteriormente descrito, los métodos de riego se seleccionan dependiendo de diversos factores como se muestra en el cuadro 8.2.

Cuadro 8.2 Factores que afectan la selección del método de riego. Recuperado de Palacios (2002), complementado con Demin (2014).

Método de riego	Pendiente del terreno	Velocidad de infiltración	Tolerancia al agua de los cultivos	Efecto del viento	Tipo de método
Gravedad	Preferentemente la superficie debe estar nivelada o trabajada según las curvas de nivel. Pendientes de 0 a 1%	No se recomienda para suelos con velocidad de infiltración mayor de 6.5 cm por hora.	Adaptable a la mayoría de los cultivos. La humedad en la raíz puede afectar a los muy sensibles.	No afecta en forma significativa la eficiencia de aplicación.	Riego por superficie.
Aspersión	Adaptable a terrenos nivelados o desnivelados con pendientes variables.	Se adapta a cualquier velocidad de infiltración del suelo.	Puede propiciar la caída de flores y enfermedades en algunos frutales.	Afecta considerablemente la eficiencia de aplicación.	Riego presurizado.
Microaspersión	Adaptable a todo tipo de pendiente.	Adaptable a todas las velocidades de infiltración.	Puede propiciar el desarrollo de enfermedades fungosas.	Puede afectar la eficiencia de aplicación por menos que en la aspersión.	Riego presurizado.
Goteo	Adaptable a todo tipo de pendiente.	Adaptable a todas las velocidades de infiltración.	Sin problemas.	No afecta.	Riego presurizado.
Subirrigación	El área debe estar nivelada o con curvas de nivel.	Adaptable a suelos con buena capilaridad.	Adaptable a la mayoría de los cultivos.	No afecta.	Riego presurizado.

En resumen: el riego es de suma importancia para la agricultura, la disponibilidad y calidad del agua, así como las características edáficas y las capacidades económicas del usuario determinan que tipo y método es más conveniente. En el marco de las ideas, este es fundamental para que los cultivos tengan un desarrollo favorable y sus rendimientos sean satisfactorios.

Infraestructura Hidroagrícola.

Las regiones hidroagrícolas albergan gran parte de la infraestructura de riego de cada país. De acuerdo con CONAGUA (2018), en México son de 6.5 millones de hectáreas de las cuales 3.3 millones corresponden a 86 Distritos de Riego (DR) y 3.2 millones a más de las 40 mil unidades de riego (UR). Cabe destacar que el año agrícola en México comienza en octubre y termina en septiembre del año siguiente por lo que es necesario contar con un eficiente manejo del agua.

Distritos de riego.

Los DR están concesionados a las asociaciones de usuarios y cuentan con infraestructuras de riego, donde el agua empleada es aprovechada principalmente por gravedad y bombeo. Está conformado por una o varias superficies previamente delimitadas y dentro de cuyo perímetro se ubica la zona de riego, el cual cuenta con las obras de infraestructura hidráulica, aguas superficiales y del subsuelo, así como con sus vasos de almacenamiento, su zona federal, de protección y demás bienes y obras conexas, pudiendo establecerse también con una o varias unidades de riego (CONAGUA, 2012).

En el Anexo 1 se muestran los 86 DR distribuidos a lo largo del país. Sin embargo, en los últimos años la disponibilidad de agua se ha visto afectada por diversos factores entre los que destacan el cambio climático, la contaminación y la mala gestión de esta.

Unidades de Riego.

Las Unidades de Riego (UR) representan gran parte de la superficie agrícola del país. CONAGUA (2018) las define como

Áreas agrícolas con infraestructura y sistemas de riego distintas de los distritos de riego y por lo general de menor superficie. Pueden integrarse por asociaciones de usuarios u otras figuras de productores organizados, que se asocian entre sí para prestar el servicio de riego con sistemas de gestión autónoma y operar las obras de infraestructura hidráulica para la captación, derivación, conducción, regulación y distribución y desalojo de las aguas nacionales destinadas al riego agrícola.

Al igual que en los DR, la escasez de agua de calidad representa un problema latente para las UR. Las sequias y la infraestructura poco modernizada han obstaculizado las actividades agrícolas en el país, por lo que es importante desarrollar estrategias basadas en el uso responsable del recurso hídrico, la tecnificación del riego y la optimización de este.

Aguas residuales.

Las aguas residuales se definen como «aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas» (SEMARNAT, 1996). Presentan una gran cantidad de sustancias como sólidos suspendidos, metales pesados, materia orgánica, alto contenido iónico, materia fecal, patógenos, entre otros. Provocan contaminación al entrar en contacto con cuerpos receptores tales como ríos, lagos, mares, suelos, mantos acuíferos e incluso la atmósfera, también pueden provocar fuertes daños ambientales y son un peligro para la salud humana.

En la mayoría de los países las aguas residuales se vierten directamente al medio ambiente sin un tratamiento adecuado (WWAP, 2017). Esto ha generado la

contaminación de cuerpos de agua subterráneos y superficiales de forma directa e indirecta, por lo que es importante atender este problema y desarrollar estrategias que permitan el manejo correcto de los recursos hídricos antes, durante y después de su utilización, sin poner en riesgo las necesidades sociales y el equilibrio ecológico.

Con el pasar del tiempo, se han encontrado diferentes usos para las aguas negras, principalmente en las áreas agrícolas e industriales. Aunado a esto, existe una gran variedad de tratamientos que disminuyen o eliminan de forma parcial o completa la carga contaminante y los elementos patógenos, permitiendo que su aprovechamiento sea más seguro y versátil.

Clasificación y tipos de agua residual.

Las AR pueden ser de origen municipal o industrial y se clasifican de acuerdo a las actividades que las originan, estas son:

- Municipales. Son la combinación de aguas negras de origen doméstico como las de inodoros (con materia fecal y orina) y aguas grises provenientes de regaderas, tinas, lavabos, lavadoras, etc. Contienen una gran cantidad de sólidos suspendidos, coliformes, fosfatos y grasas. De acuerdo con CONAGUA (2018) «son generadas en los núcleos de población ya sean urbanos o rurales y son colectados en los sistemas de alcantarillado».
- No municipales. «Aguas negras producidas en la industria autoabastecida y se descarga directamente a cuerpos de agua nacionales sin ser colectadas por sistemas de alcantarillado» (CONAGUA, 2018).

Por otro lado, Jiménez, Duran y Méndez (2010), proponen otra forma de clasificarlas, en función de cómo entran al ambiente y estas se definen como *puntuales* o *difusas*. Las municipales e industriales entran en las puntuales al ser dispuestas en un sistema de alcantarillado del que se tiene control y se puede medir la cantidad de estas; mientras que las difusas como, por ejemplo, el drenaje agrícola, las escorrentías pluviales, las

fugas de combustibles y las fugas en la red de alcantarillado, no se pueden cuantificar tan fácilmente.

La generación de agua residual en México.

En México se produce una gran cantidad de AR tanto del tipo industrial como municipal, principalmente en las zonas urbanas de gran superficie y población como la Ciudad de México. A medida que aumenta la población, lo hace también la demanda del agua, por ende, se incrementa la cantidad de aguas residuales descargadas. En el cuadro 8.3 se muestran las cantidades generadas durante el año 2018 en el país.

Cuadro 8.3 Descargas de aguas residuales municipales y no municipales, 2017. Recuperado de CONAGUA (2018).

Centros urbanos (descargas municipales):		
	Volumen	
Aguas residuales municipales	7.41	miles de hm ³ /año (234.9 m ³ /s)
Se recolectan al alcantarillado	6.79	miles de hm ³ /año (215.2 m ³ /s)
Se tratan	4.28	miles de hm ³ /año (135.6 m ³ /s)
	Carga contaminante	
Se generan	2	Millones de toneladas de DBO ₅ al año
Se recolectan en alcantarillado	1.83	Millones de toneladas de DBO ₅ al año
Se remueven en los sistemas de tratamiento	0.92	Millones de toneladas de DBO ₅ al año
Usos no municipales, incluyendo a la industria		
	Volumen	
Aguas residuales no municipales	6.88	miles de hm ³ /año (218.1 m ³ /s)
Se tratan	2.64	miles de hm ³ /año (83.7 m ³ /s)
	Carga contaminante	
Se generan	10.32	Millones de toneladas de DBO ₅ al año
Se remueven en los sistemas de tratamiento	1.75	Millones de toneladas de DBO ₅ al año

Con estos datos se puede observar que en el país se generaron 234.9 m³/s que es igual a 7.41 miles de hm³/año de AR municipal sin tratar y 218.1 m³/s no municipales, equivalentes a 6.88 miles de hm³/año. Dicho lo anterior, gran parte del AR se descargó al ambiente de forma directa y una gran cantidad de esta se utilizó en actividades agropecuarias.

De acuerdo con el INEGI (2017), durante el 2015 de los «2457 municipios y delegaciones, 827 (34%) cuentan con servicio de tratamientos de AR municipales, mientras que 1628 (66%) no cuentan con este servicio y dos municipios no reportaron información al respecto». Como se puede observar una gran parte de las AR en el país no son tratadas, existe mucha desinformación respecto a este tema y esta problemática no es el interés principal para las autoridades en los diferentes niveles de gobierno.

A lo largo del país existe una gran cantidad de PTAR en abandono o desuso, la infraestructura no está en las condiciones óptimas y la cultura para el cuidado del agua en la población es pobre o nula. Sumado a todo lo anterior, la mayoría de los afluentes y cuerpos de agua del país están en contacto con AR y/o contaminados provocando que la disponibilidad de agua de calidad para uso doméstico, agrícola u otras actividades productivas este sumamente limitado, lo que refuerza la importancia del tratamiento de agua para desarrollo del país, tanto para asegurar la salud de los habitantes como para su conservación para futuras generaciones.

Generación de aguas residuales en la zona metropolitana del valle de México.

La ZMVM es una gran generadora de AR debido a que es donde se desarrollan gran cantidad de actividades económicas, culturales y se encuentra la mayor concentración de población en el país, con más de 200 millones de habitantes (CONAGUA, s.f). De acuerdo a los datos de Núñez, Guerra y Castillo (2017) la producción de AR asciende a 1,255.8 millones de metros cúbicos al año, mientras que SEMARNAT (s.f) argumenta que se producen 40m³/s, que son el equivalente a 1261.6 millones de metros cúbicos al año. En el cuadro 8.4 se realiza el balance de entradas y salidas de agua en la ZMVM

con datos recuperados de SEMARNAT (s.f) y en la figura 8.1 se ejemplifica este balance de forma gráfica.

Cuadro 8.4 Volumen de agua que entra y sale en la ZMVM. Elaboración propia con datos de SEMARNAT (s.f).

Entradas	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> • Lerma 4.8 m³/s • Cutzamala 14.9 m³/s • Lluvia 214 m³/s • Ríos y manantiales 2.7 m³/s • Recarga de acuíferos 31.6 m³/s 	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales (AR) 40 m³/s • Evaporación 159.4 m³/s • Escurrimientos 23.7 m³/s • Extracción de acuíferos m³/s • Usos 81.9
268 m ³ /s	364.5 m ³ /s

Nota: Existe un déficit de agua de 96.5 m³/s, lo que provoca el abatimiento de las reservas de agua de la ZMVM

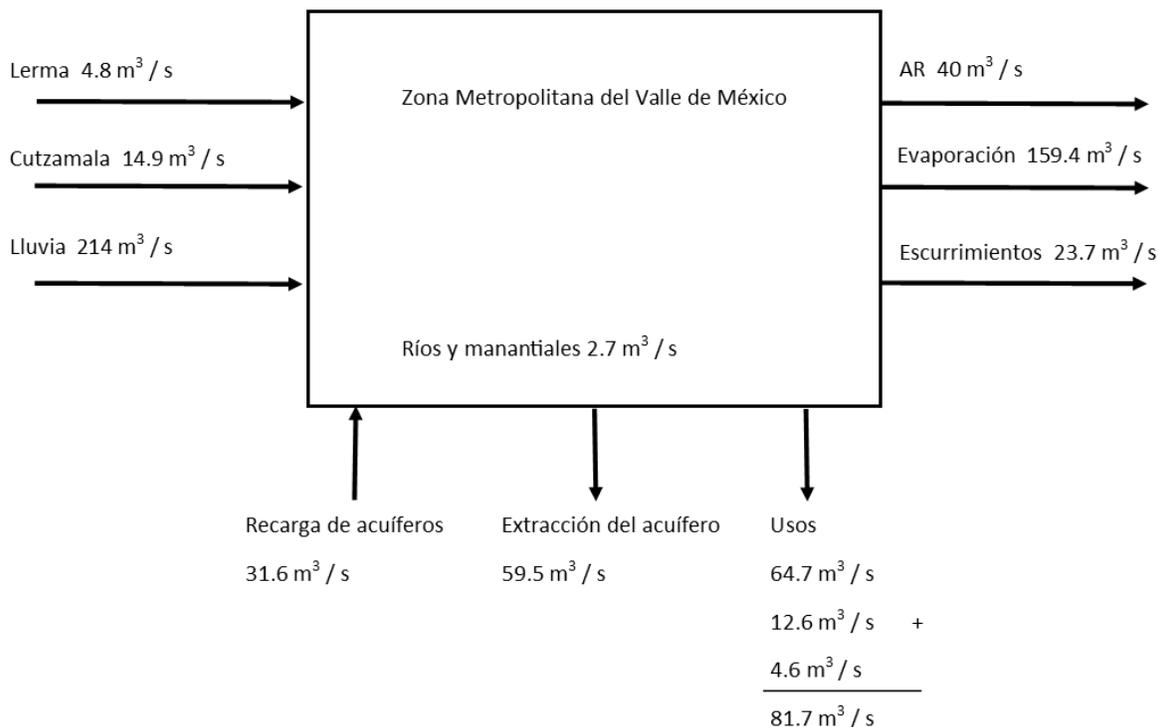


Figura VIII.1 Diagrama de entradas y salidas de agua en la ZMVM. Nota: Balance de entradas y salidas de agua en la ZMVM. Elaboración propia con datos recuperados de SEMARNAT (s.f).

Sistema de desagüe de la Ciudad de México y la Zona Metropolitana.

El desagüe de la Ciudad de México es indispensable debido a que controla las inundaciones y expulsa las AR generadas en la Zona Metropolitana. «Se construyó con dirección al estado de Hidalgo, por la pendiente que existía en aquel entonces. Dichas aguas, que tenían como propósito desembocar en el mar, en su trayectoria se vertían en el río Tula» (García, 2019) donde su uso es aprovechado principalmente en la agricultura. El desagüe está constituido por cuatro estructuras hidráulicas, cada una con un uso y características específicas mismas que se pueden observar en el cuadro 8.5.

Cuadro 8.5 Estructuras hidráulicas que conforman el desagüe del Valle de México elaboración propia con información de (UNAM, s.f).

Estructuras hidráulicas	Características	Uso
1. Tajo de Nochistongo Ver figura 8.2	<ul style="list-style-type: none"> • Es la primera salida artificial • El agua se desaloja en el interceptor poniente. 	Se usa para desalojar las aguas pluviales y residuales del Valle de México.
2. Gran canal de desagüe Ver figura 8.5	<ul style="list-style-type: none"> • Canal de sección trapecial a cielo abierto que va desde San Lázaro Ciudad de México, hasta Tequixquiac. Estado de México. • Cuenta con una longitud de 47 km 	Permite desalojar el agua residual de la ZMVM y controlar las inundaciones causadas por el exceso de agua de lluvia.
3. Emisor Poniente Ver figura 8.5	<ul style="list-style-type: none"> • Túnel de 4 metros de diámetro • 16.5 Km de longitud • Inicia en Ciudad Universitaria y descarga en la Planta de Bombeo Río Hondo 	Controla el exceso de agua en los ríos del Poniente, evitando que sus escurrimientos bajen al Valle de México.
4. Emisor Central y sistemas de interceptores	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene 173.7 km de longitud en total • Se compone de las obras: <ul style="list-style-type: none"> - Interceptor central 	Su función principal es evitar inundaciones y servir como un sistema de drenaje funcional.

Estructuras hidráulicas	Características	Uso
(drenaje profundo) Ver figura 8.4	<ul style="list-style-type: none"> - Interceptor oriente - Emisor central 	<p>Funciona en tiempo de lluvia y se le da mantenimiento en temporada de estiaje</p> <p>Desaloja aguas negras y agua de lluvia.</p>



Figura 8.2 Imágenes del Tajo de Nochistongo. Recuperado de Cisneros (2016) y Ptolomeo (s.f.).



Figura 8.3 Gran canal de desagüe imágenes recuperadas de Sólis (2018) y Ptolomeo (s.f.).



Figura 8.4 Salida del Emisor Central en Tula Hidalgo y túnel de drenaje profundo. Recuperado de SEMARNAT (s.f).

En la figura 8.5 se enumeran las estructuras hidráulicas del desagüe de la Ciudad de México.

1. Gran Canal
2. Emisor Poniente
3. Emisor Central
4. Túnel Emisor Oriente

Estos sistemas dirigen las aguas de lluvia y residuales a Hidalgo, e interceptan en la puerta del emisor central, donde una parte es dirigida a la PTAR Atotonilco y otra es almacenada en los sistemas de presas de la región para ser usados principalmente en el riego, especialmente en los DR 003 y 100. Cabe destacar que a lo largo del trayecto el agua depura en menor magnitud su carga contaminante por lo que su calidad y cantidad varían dependiendo de diversos factores, principalmente de la temporada de lluvia y de estiaje, sin embargo, estas actividades representan un foco de riesgo ambiental y sanitario que requiere de las medidas o alternativas de mitigación.

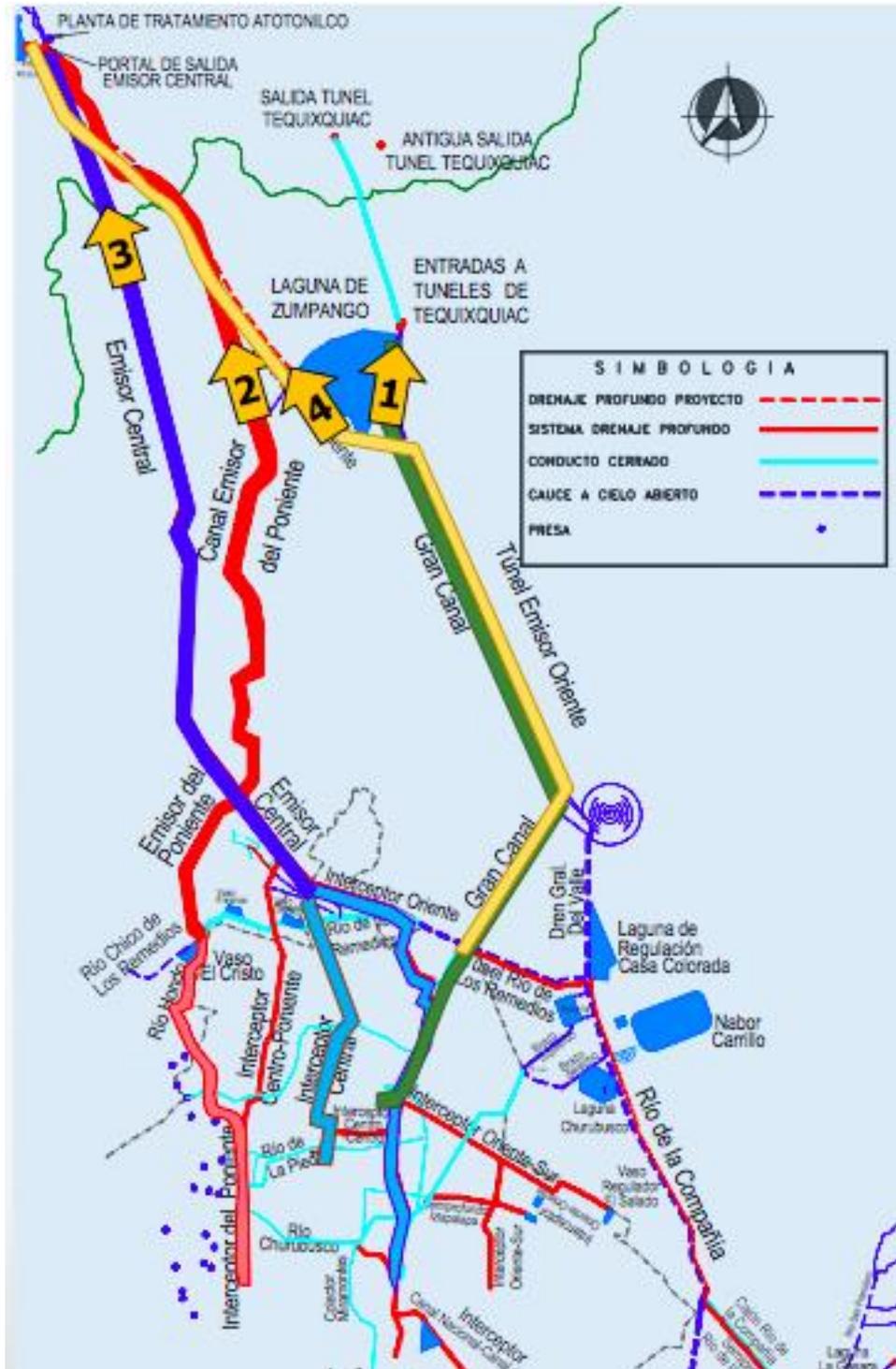


Figura 8.5 Trayecto del sistema de desalajo de aguas de la Ciudad de México. Nota: En la Figura se puede observar el recorrido del AR a través de las estructuras hidráulicas, hasta el VM. Recuperado de Leal (2015).

Tratamiento de aguas residuales.

El tratamiento de AR permite disminuir la carga contaminante proveniente de actividades humanas o naturales mediante procesos químicos, físicos y biológicos a fin de disminuir el impacto ambiental y reusar el agua para diferentes propósitos dependiendo del grado y tipo de tratamiento usado. De acuerdo con Noyola; Morgan y Güereca (2013):

El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltos con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por normativa de descarga o tipo de reutilización a la que se destinará.

El agua en el ambiente tiene la capacidad de auto purificarse gracias a diferentes procesos presentes en la naturaleza, en los que intervienen factores físicos, químicos y biológicos como el clima, tipo de suelo, flora, fauna, etc. La intención principal de las PTAR es emular la autodepuración natural del agua, mejorando el proceso y reduciendo los tiempos naturales para limpiarla, así mismo pueden adaptarse a los tipos de contaminantes que se desean remover y a las especificaciones requeridas por la autoridad. Por otro lado, el tratamiento de aguas residuales cuenta con algunas desventajas como

- Alto consumo de energía.
- Requerimiento de superficies amplias.
- Los métodos de tratamiento más usados suelen ser los que generan mayor impacto ambiental a diferencia de los métodos biológicos alternativos como la fitorremediación o el uso de humedales.
- La mala operación de estas puede generar gases de efecto invernadero, especialmente los tratamientos biológicos anaerobios, de las que se hablara más adelante.

Etapas de tratamientos de agua residual.

La mayoría de los tratamientos de AR están conformados por etapas o trenes de proceso fundamentales para la purificación o depuración de las aguas contaminadas, de estos depende la calidad con la que saldrá el recurso hídrico y se dividen en: primarios, secundarios y terciarios; cada uno presenta diferentes características y se componen de métodos físicos, químicos y biológicos, como se muestra en la figura 8.6.

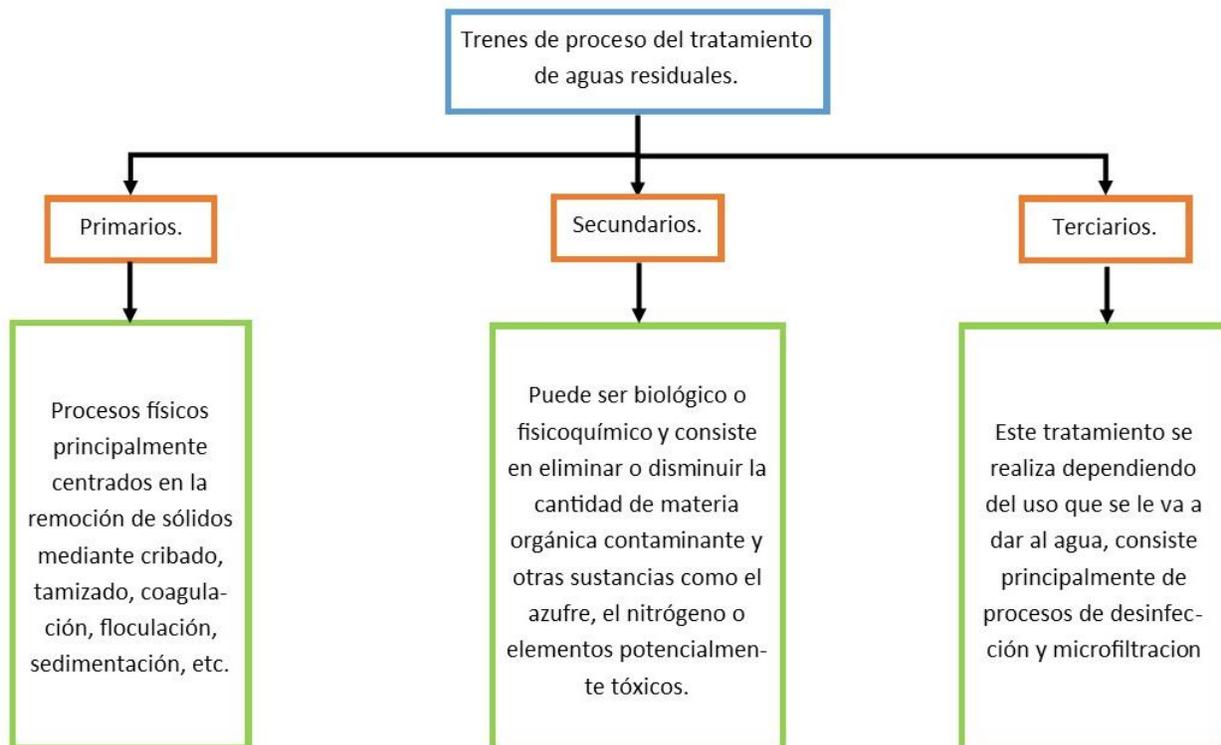


Figura 8.6 Trenes de tratamiento del agua residual. Nota: En la Figura se muestran los tres trenes de proceso presentes en los tratamientos de aguas residuales. Elaboración propia.

Los primarios están presentes en todos los tipos de tratamientos, se componen de métodos y procesos fisicoquímicos centrados en la remoción de sólidos suspendidos, la neutralización del pH y en algunos casos el control de temperatura; se distinguen principalmente por la utilización de diferentes técnicas de filtración, floculación, sedimentación, etc. Como su nombre lo indica, constituyen el tren inicial para todas las PTARs independientemente del tipo de estas.

Los terciarios no son considerados en la mayoría de los casos debido a que son más costosos y dependen del uso que se le dará al agua al finalizar su depuración. Esta etapa se conforma principalmente de procesos de eliminación de contaminantes puntuales como metales potencialmente tóxicos y patógenos, mediante procesos de desinfección o microfiltración (cloración, ozonación, UV, osmosis inversa, etc.). El tratamiento terciario permite que el agua pueda ser inyectada al suelo para recargar los mantos acuíferos, ser usada para riego, para la industria o para el consumo humano. En la mayoría de los países de primer mundo este tipo de tratamientos son obligatorios como en Alemania, Japón, Canadá, etc.

Los tratamientos secundarios pueden ser biológicos o fisicoquímicos. Su función es remover la carga orgánica contaminante, reduciendo así la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), que de acuerdo con Dueñas y Menéndez (2018) «es una variable muy empleada en la caracterización de las aguas residuales. La misma permite conocer la cantidad de materia orgánica que los microorganismos son capaces de degradar en un tratamiento biológico» por lo que funge como indicador de contaminación al igual que la *Demanda Química de Oxígeno* (DQO) que, de acuerdo con los mismos autores, permite «conocer tanto la concentración de las fracciones biodegradables como las no biodegradables de la materia orgánica, incluyendo la de aquellos compuestos inorgánicos que puedan ser oxidados químicamente». En el marco de las ideas, este tren de proceso es el que determina el tipo de planta que se requiere, por lo que se elige de acuerdo a la calidad del agua que se va a tratar, así como las sustancias que se desean eliminar. Dicho lo anterior, es importante que se conozcan previamente las características del caudal entrante en la PTAR con la finalidad de determinar qué tipo de tratamiento es el más adecuado, considerando diversos factores como: presupuesto, flujo volumétrico, tipo de AR, actividad de la que se origina, carga contaminante, etc.

Es importante recalcar que, los tratamientos fisicoquímicos se destacan por la utilización de químicos como floculantes y coagulantes usados para descontaminar el agua mediante la remoción de los sólidos y la materia orgánica. Esta misma situación ocurre también en los procesos de desinfección (ozonación, desinfección con radiación ultra

violeta, hipoclorito de sodio, etc.), que tienden a ser tratamientos costosos pero eficientes al momento de eliminar la mayoría de contaminantes, patógenos y/o elementos potencialmente tóxicos; sin embargo, no pueden tratar grandes caudales y los insumos suelen ser costosos. Por otro lado, tienen menor gasto energético, las instalaciones pueden ser de tamaño compacto y tienen la capacidad de adecuarse a las características requeridas.

Los tratamientos biológicos por su parte, se caracterizan por el uso de organismos vivos como plantas (fitorremediación) y microorganismos que se encargan de descomponer la materia orgánica y los elementos contaminantes presentes en el agua residual. Suelen tener costos de operación más baratos, tienen alta eficiencia de depuración, reducen el exceso de nitrógeno y son más estables, por lo tanto, causan menor impacto ambiental. Sin embargo, también existen desventajas importantes como el hecho de que requieren de mejor capacitación del personal que los trabaja; los efluentes con alto contenido de tóxicos pueden ser perjudiciales para el reactor biológico; el gasto de energía es más alto en caso de que sea necesario el uso de aireadores artificiales; puede existir presencia de plagas y malos olores, etc. Así mismo cabe destacar que existen diferentes tipos de tratamientos biológicos, de entre los que destacan los procesos convencionales (lodos activados), los humedales, las lagunas de estabilización, etc. Estos pueden dividirse en dos categorías: aerobios y anaerobios. Cada uno con características únicas tal y como se explica en la figura 8.7.

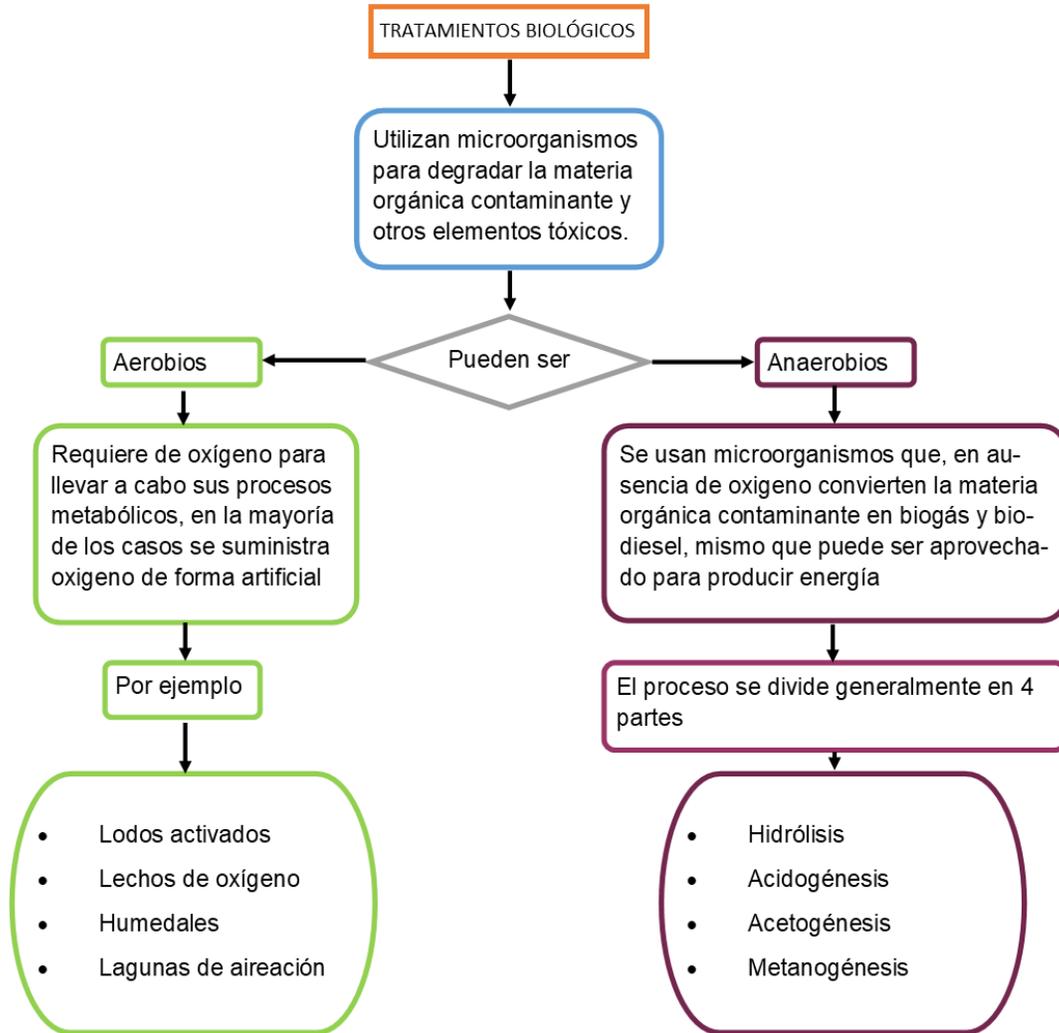


Figura 8.7 Tipos de tratamientos biológicos, elaboración propia. Nota: En la Figura se explica mediante un diagrama los dos tipos de tratamientos biológicos. Elaboración propia.

Los tratamientos biológicos son los más usados en México y a nivel mundial, debido a que son más económicos y relativamente fáciles de operar. De acuerdo con CONAGUA (2018), durante el 2017 se trataron 135.8 m³/s, el principal proceso de tratamientos fue el de lodos activados, con un 52.9% del caudal tratado, seguido de las lagunas de estabilización con un 10.4%.

Procesos de tratamiento de la PTAR de Atotonilco.

La PTAR Atotonilco se vale de tratamientos biológicos aerobios en conjunto de un Tren de Proceso Químico (TPQ), ambos maximizan la eficiencia de depuración de contaminantes y como se mencionó permiten que la Planta cuente con la capacidad de tratar un caudal máximo de $50\text{m}^3/\text{s}$. Aunado a esto, mediante la digestión de los biosólidos procedentes de la depuración de AR, se produce el 60% de la energía usada por la planta, logrando así reducir los gases de efecto invernadero, asegurando la sostenibilidad de esta. En la Figura 8.8 se muestra un diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales empleado en la PTAR de Atotonilco.

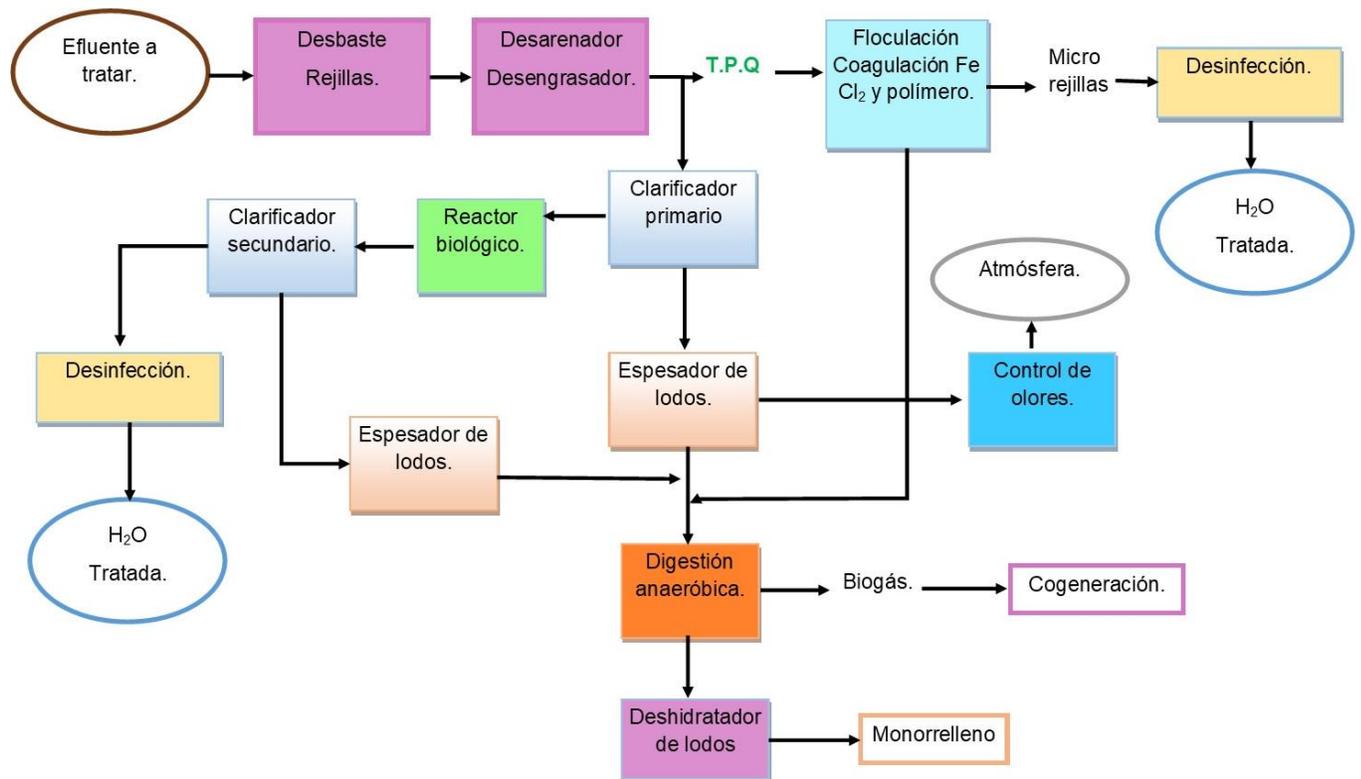


Figura 8.8 Diagrama de tratamiento del agua residual en la PTAR Atotonilco. Nota: En la Figura se muestra el diagrama del proceso de tratamiento llevado a cabo en la PTAR Atotonilco (CONAGUA; 2010).

Los lodos resultantes de los tratamientos biológicos son puestos a secar y posteriormente pueden ser usados como fertilizantes, recirculados al reactor biológico, enviados a digestión anaerobia para la generación de energía o incinerados para después ser utilizados en la industria cementera. Por otro lado, de acuerdo con CONAGUA (2010) las AT son enviadas al canal Salto-Tlamaco, con la finalidad de ser aprovechada para riego en los DR 003 y 100, sin embargo, es desechada debido a la negativa de la mayoría de los agricultores para utilizarla y una menor parte es enviada al río El salto. El efluente tratado del TPQ es descargado hacia el río El salto y al Canal Salto-Tlamaco; mientras que otra parte del caudal es destinado para abastecer la Presa Endhó.

Las PTAR son una parte fundamental del cuidado del agua, permiten mitigar el impacto ambiental, reducir la cantidad de residuos sólidos, evitan la contaminación de los mantos freáticos, previenen la diseminación de enfermedades y elementos potencialmente tóxicos, entre otros, por lo que son pilares importantes en el manejo sostenible del recurso hídrico.

Leyes y normatividad correspondiente al uso y tratamiento de aguas residuales.

Es obligación de las autoridades salvaguardar y gestionar las aguas nacionales, garantizar su uso sostenible como lo estipula la Constitución Política en el artículo 4º que a la letra dice «toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible... La ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso equitativo y sustentable de los recursos hídricos...» y el artículo 115, fracción III inciso «a», que establece la facultad de los municipios para la gestión de los servicios hídricos, que incluyen: agua potable, saneamiento y alcantarillado.

La ley de aguas nacionales se encarga de regular la explotación, uso y aprovechamiento del recurso hídrico, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad con la finalidad de cubrir las necesidades de la población en el marco del

desarrollo integral sustentable. Mientras tanto, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas descargadas a los cuerpos receptores. Entre las principales Normas, se destacan

- NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de *Aguas Residuales* a los Sistemas de Alcantarillado.
- NOM-002-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de Aguas Residuales a los Sistemas de Alcantarillado Urbano Municipal.
- NOM-003-SEMARNAT-1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las *Aguas Residuales Tratadas* que se reúsen en servicio público
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Estas normas son fundamentales para la gestión, operación y construcción de las PTAR. De igual modo algunas regulan la entrada de contaminantes a los cuerpos de agua, mantienen control de estos, evitan enfermedades y aseguran la gestión del agua. Las secretarías encargadas de hacer cumplir la normatividad y las leyes en materia de agua son principalmente SEMARNAT y CONAGUA que sancionan incumplimientos, realizan auditorias, regulan el uso y la disponibilidad del agua, etc.

Enfermedades causadas por el uso de aguas residuales en la agricultura.

Las AR contienen sustancias tóxicas y patógenos que pueden ser un peligro para la población. La incidencia de enfermedades depende de diversos factores como la edad, el sexo, la capacidad socioeconómica, las fuentes de abastecimiento de agua, etc. Este riesgo se ve incrementado al trabajar bajo la exposición directa de este tipo de aguas,

como es el caso de los agricultores del VM quienes, como se mencionó, están dispuestos a arriesgarse con tal de continuar con las prácticas de riego.

Enfermedades por organismos patógenos presentes en las AR.

Una gran cantidad de organismos causantes de enfermedades como virus bacterias, hongos y paracitos están presentes en las AR, la mayoría de estos se hallan en las heces de animales y humanos por lo que es importante identificar su presencia en el agua mediante la determinación de coliformes totales y fecales, que fungen como indicadores al momento de analizar la calidad del agua, ya sea para consumo humano o actividades productivas como el riego con aguas residuales. En el mismo orden de ideas, los huevos de Helmintos permiten saber la presencia de organismos parasitarios causantes de enfermedades. Estos estudios se pueden realizar mediante diferentes metodologías de entre las que destacan las citadas por la Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994: Determinación de Bacterias Coliformes. Técnica del Número más Probable, la Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas - Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales - método de tubos múltiples de fermentación o la Nmx-aa-113.scfi-1999 determinación de huevos de helminto-método de prueba; Algunos ejemplos de organismos patógenos presentes en las AR se nombran en el cuadro 8.6.

Cuadro 8.6 Patógenos presentes en las aguas residuales. Recuperado González y Chiroles, (2010).

Organismo patógeno	Enfermedad
Helmintos	
<i>Ascaris lumbricoides, Ancylostoma duodenale</i>	Ascariasis
<i>Ancylostoma spp.</i>	Anquilostomiasis
<i>Necator americanus</i>	Larva migrante cutánea
<i>Strongyloides stercoralis</i>	Estrongiloidiasis
<i>Trichuris trichiura</i>	Trichuriasis
<i>Taenia spp</i>	Teniaisis
<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiasis
<i>Echinococcus granulosus</i>	Hidatidosis
<i>Schistosoma spp</i>	Schistosomiasis
<i>Fasciola hepatica, F. gigantica</i>	Facioliasis
Protozoos	
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
<i>Entamoeba Hystolitica</i>	Disentería amebiana
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiosis
<i>Cytopsporidium parrum</i>	Criptosporidiasis
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	Trastornos intestinales
<i>Microsporidia</i>	Diarrea
Bacterias	
<i>Salmonella Typhi</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella spp</i>	Salmonelosis
<i>Shigella spp</i>	Shigellosis
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenteritis
<i>Helicobacter pylori</i>	Gastroenteritis, úlceras gástricas
<i>Escheria Coli</i>	Gastroenteritis
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera

Organismo patógeno	Enfermedad
<i>Legionella pneumophila</i>	Legionelosis/Fiebre de Pontiac
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersiniosis
<i>Leptospira spp</i>	Leptospirosis
Virus	
Virus de la hepatitis A y E	Hepatitis infecciosa
<i>Rotavirus</i>	Gastroenteritis
<i>Enterovirus</i>	Gastroenteritis, meningitis
<i>Parvovirus</i>	Gastroenteritis
<i>Adenovirus</i>	Infecciones respiratorias, gastroenteritis

Enfermedades causadas por elementos potencialmente tóxicos.

Además de la presencia de organismos peligrosos para la salud humana, las AR tienen la probabilidad de estar contaminadas con elementos potencialmente tóxicos, principalmente si estas son de origen industrial. Sin embargo, también pueden existir otras fuentes externas de contaminación como los escurrimientos de agua que pasan cerca de instalaciones pertenecientes a la industria metalúrgica o tiraderos de desechos metálicos, tal es el caso de deshuesaderos y centros de almacenaje de residuos peligrosos o de manejo especial en malas condiciones. Estos elementos pueden provocar una fuerte contaminación de suelos y cuerpos de agua superficiales y subterráneos, son difíciles de eliminar, tienden a migrar fácilmente y causar bioacumulación como es el caso de

las sales solubles de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son tóxicos y acumulables por los organismos que los adsorben los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones (Vera, Flores, García, Uguña y Vázquez. 2016).

Estos mismos pueden causar enfermedades en personas y animales, tales como diferentes tipos de cáncer o malformaciones, principalmente en grupos vulnerables. Los elementos tóxicos más comunes son los denominados metales pesados cuya toxicidad «depende de su movilidad en el medio que, a su vez, depende de su especiación química, persistencia y tendencia de acumulación o bioacumulación» (Kumar, Ramalingam, Sathyaselvabala, Kirupha, Murugesan & Sivanesan; 2012 citado por Caviedes. R. D., Muñoz. C. R., Perdomo. G. A., Rodríguez. A. D & Sandoval. R. I; 2015). La presencia de estos elementos en los suelos o aguas depende de las actividades industriales que se desarrollen como se muestra en el cuadro 8.7.

Cuadro 8.7 Principales actividades industriales generadoras de metales pesados. Recuperado de 4. Caviedes. R. D., Muñoz. C. R., Perdomo. G. A., Rodríguez. A. D., Sandoval. R. I. (2015).

Industria	Metales	Contaminación derivada
Minería de metales ferrosos.	Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Zn	Drenaje ácido de mina, relaves, escombreras.
Extracción de minerales.	As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn	Presencia en las menas como en los subproductos.
Fundición.	As, Cd, Pb, Ti	Procesado del mineral para obtención de metales.
Metalúrgica.	Cr, Cu, Mn, Pb, Sb, Zn	Proceso térmico de metales.
Aleaciones y aceros.	Pb, Mo, Ni, Cu, Cd, As, Te, U, Zn	Fabricación, eliminación y reciclaje de metales, relaves y escorias.
Gestión de residuos.	Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, Mn	Incineración de residuos o en lixiviados.
Corrosión metálica.	Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Zn	Inestabilidad de los metales expuestos al medio ambiente.
Galvanoplastia.	Cr, Ni, Zn, Cu	Los efluentes líquidos de procesos de recubrimiento.
Pinturas y pigmentos.	Pb, Cr, As, Ti, Ba, Zn	Residuos acuosos procedentes de la fabricación y el deterioro de la pintura vieja.
Baterías.	Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg	Fluido de la pila de residuos, la contaminación del suelo y las aguas subterráneas.
Electrónica.	Pb, Cd, Hg, Pt, Au, Cr, As, Ni, Mn	Residuos metálicos acuosos y sólidos desde el proceso de fabricación y reciclaje.
Agricultura y Ganadería.	Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn, As, Mn, Cu	Contaminación de escorrentía, aguas superficiales y subterráneas, bioacumulación de la planta.

Los elementos tóxicos más comunes son el cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), zinc (Zn), plomo (Pb) y mercurio (Hg), además el arsénico (As) entra en esta categoría a pesar de no ser un metal, debido a su alta densidad y su toxicidad. Los efectos a la salud ocasionados por estas sustancias se expresan en el cuadro 8.8.

Cuadro 8.8 Metales pesados asociados a su toxicidad con los límites máximos permisibles establecidos por USEPA y por la NOM-127-SSA1-1994. Adaptado de (Caviedes, et al; 2015) que cita a (Nguyen, Ngo, Guo, Zhang, Liang, Yue, Li & Nguyen. T; 2013).

Metal pesado	Toxicidad	Dosis en dieta humana mg/día	Límite máximo permisible (mg/L)	
			USEPA	México
As	Manifestaciones cutáneas, cánceres viscerales, enfermedad vascular	50-340	0.05	0.05
Cd	Efectos cancerígenos, daño y trastornos renales	1.5k-9k	0.01	0.005
Cr	Dolor de cabeza, diarrea, náuseas, vomito, carcinógeno	3k-8k	0.05	0.05
Cu	Daños hepáticos, enfermedad de Wilson, insomnio	175-250	0.25	2
Ni	Dermatitis, náuseas, asma crónica, tos, carcinógeno humano	-	0.2	-
Zn	Depresión, letargo, signos neurológicos y aumento de la sed	6k	0.8	5
Pb	Teratogenicidad cerebral, enfermedades renales, vasculares y neuronales	10k	0.006	0.025

Hg	Artritis reumatoidea y enfermedades renales, vasculares y neuronales	150-300	0.00003	0.001
----	--	---------	---------	-------

Nota. «K» Hace referencia a miles de kilogramos al día.

En México, el riego con AR esta principalmente ligado a regiones con altos índices de pobreza, donde hay escasas de fuentes de agua de calidad. Esto ha provocado, en palabras de García (2019), Núñez (2015), Caviedes (2015) et al., la prevalencia de enfermedades gastrointestinales, de la piel y diferentes tipos de cánceres causados por la presencia de arsénico y elementos potencialmente tóxicos. Los agricultores, consumidores domésticos de la región y trabajadores del campo son los que más riesgo presentan al estar expuestos directamente a las AR, sin olvidar a los consumidores de los cultivos regados con este tipo de agua en las diferentes ciudades.

CAPÍTULO IX. MÉTODO.

Esta investigación se ubica en la investigación mixta debido a que se parte desde una base de datos derivada de los resultados de un estudio experimental inédito que se realizó en el VM en las colindancias de la PTAR de Atotonilco la cual, para usos de esta investigación, se denominó provisionalmente: Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014); la información recuperada brindó información vital referente a los rendimientos del maíz y el área delimitada para cumplir con los objetivos establecidos en este trabajo, así como, para los estudios de impacto ambiental realizados.

Para llevar a cabo la recolección de datos se consultaron diferentes fuentes bibliográficas y se buscaron investigaciones, experimentos o trabajos relacionados con los objetivos del presente escrito. Esto con la finalidad de contar con antecedentes e información, que permitieran elaborar los análisis ambientales. Se consideró la relación del rendimiento y el impacto ambiental como indicadores de rentabilidad, al comparar las variables evaluadas expuestas en el cuadro 9.1 a un cultivo específico (grupo experimental).

Cuadro 9.1 Variables independientes experimentales. Elaboración Propia

Variables	Subvariables
Tipo de agua regada	Agua residual Agua tratada
Tipo de riego	Gravedad Presurizado
Aplicación de fertilizante	Si No

Dicho lo anterior, se tomaron en cuenta diferentes factores para los análisis de impacto ambiental, tales como el ciclo agrícola, el tipo de cultivo, la cercanía del sitio evaluado con la PTAR de Atotonilco y sus localidades, la fertilidad, así como la concentración de elementos potencialmente tóxicos en el suelo. Aunado a esto, Se garantizó que durante

el desarrollo del experimento existiera equivalencia en los grupos experimentales excepto en las variables independientes como lo establecen Hernández. S., Baptista. L. M, Fernández. C. C. (2014).

Como parte de la metodología se destaca la identificación de las características ambientales, edáficas, poblacionales y culturales de la zona donde se realizó el experimento; estas sirvieron para la elaboración de las evaluaciones de impacto ambiental, mismas que fueron: orografía e hidrografía, clima, características bióticas y abióticas (flora y fauna), clasificación y uso de suelo y estructura poblacional. De acuerdo con lo anterior, para la recopilación de esta información se realizaron estudios y visitas de campo, muestreos de suelo y agua, uso de sistemas de información geográfica (SIG), consulta de fuentes bibliográficas, etc.

Ubicación de la zona de estudio.

Las actividades productivas para determinar el rendimiento de los cultivos regados con aguas de diferente calidad y los estudios de impacto ambiental se realizaron en zonas agrícolas ubicadas al sur oeste del municipio de Atotonilco de Tula, Hidalgo, con paralelos 20° 01' y 20° 02' de latitud, 98° 08' y 99° 12' de longitud, este se encuentra a una altitud de 2080 metros sobre el nivel del mar: «colinda al norte con los municipios de Atitalaquia y Ajacuba; al sur con el estado de México y al oeste con los municipios de Tepeji del Río y Tula de Allende» (INEGI, 2009). Así mismo, cuenta con una superficie de 31km². Cabe destacar que en el municipio se encuentran la PTAR de Atotonilco, la presa la Requena y el DR 003, considerado uno de los más extensos en utilizar AR destinadas para actividades agrícolas en el estado.

De acuerdo con la base de datos de la investigación inédita citada, la PTAR portátil o planta piloto, se montó en un predio federal al este de las parcelas demostrativas, estas se situaron en predios localizados entre el Río el Salto y el canal Salto Tlamaco, en el ejido Cañada, cerca de la localidad de San José Acoculco y la presa la Requena. La localización de municipio de Atotonilco de Tula se muestra en la figura 9.1, mientras que la macro y micro localización de la zona de estudio se ilustra en las figuras 9.2 y 9.3

respectivamente. Esta información se recolectó con ayuda de medios de consulta en línea y la bibliografía citada, así como con el uso de SIG, lo que permitió a su vez delimitar el área de impacto para los estudios ambientales.

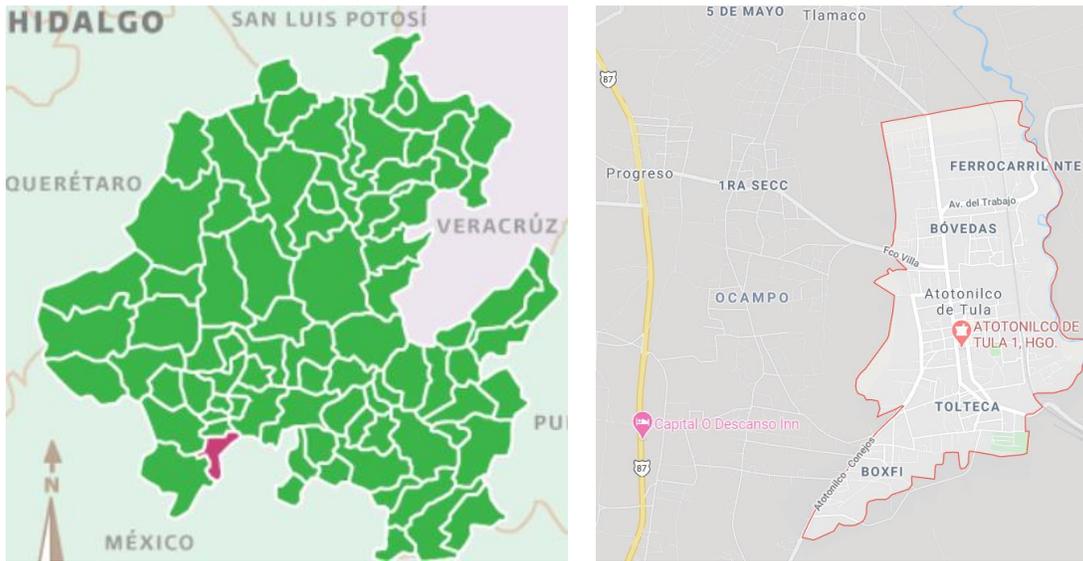


Figura 9.1 Localización de Atotonilco de Tula en el Estado de Hidalgo. Recuperado de Google (s.f) & INAFED (s.f).

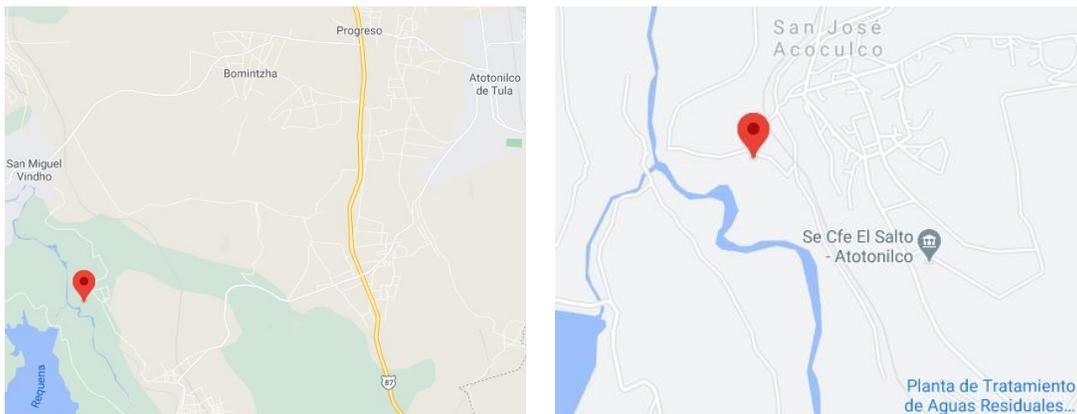


Figura 9.2 Macro localización de la zona de estudio. Recuperado de Google (s.f).



Figura 9.3 Localización de las parcelas demostrativas que se usaron en el experimento de la investigación inédita. Nota: En la Figura se ilustran los polígonos de las parcelas demostrativas que fueron usadas en el experimento inédito, que fue usado como punto de partida y base de referencia. Elaboración propia mediante el uso del Software Arc Map.

Orografía e hidrografía.

Como se mencionó, una de las finalidades del estudio fue comparar la relación que existe entre el tipo de agua usada para riego, el impacto ambiental y la productividad de los cultivos. Esto implicó comprender la relación guardada entre los factores ambientales y edáficos. Se destacó que el municipio de Atotonilco de Tula está localizado en territorio de altiplano y conserva las características propias del estado; de acuerdo con el Instituto

Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED) cuenta con lomeríos en 60%, Sierra 10% y llanuras 30%.

Otra característica fundamental es la hidrografía del lugar la cual se conforma por cuencas, subcuencas y corrientes de agua (ver cuadro 9.2) que en la mayoría de los casos son utilizadas como fuentes para riego; mismas que además, están en contacto parcial o total con AR provenientes de la ZMVM, convirtiéndose en un factor determinante que favorece la creencia de los agricultores de suponer que las aguas negras sin tratar generan costos bajos y ganancias altas, sin considerar las consecuencias ambientales y salubres. Estas situaciones se hacen evidentes a través de la presencia de enfermedades gastrointestinales y bajos niveles en la calidad de vida.

Cuadro 9.2 *Hidrografía. INAFED, (s.f).*

Región hidrológica	Panuco (100%)
Cuenca	R. Moctezuma (100%)
Subcuenca	R. Salado (65%) y R. el Salto (35%)
Corrientes de agua	Perennes. Cuautitlán, Salado y Tula

Entre las principales fuentes de aguas de la región destacan también las aguas termales y manantiales, así como pozos, canales y presas. Estas últimas en su mayoría contaminadas por AR que son vertidas y almacenadas de forma deliberada y a petición de la mayoría de los productores agrícolas. En el apartado 11.7.1 de este trabajo se muestran los cuerpos de agua cercanos a la zona de estudio y los que se encuentran dentro de la delimitación del análisis de impacto ambiental.

Clima.

El clima es un factor determinante en el uso de aguas residuales y su tratamiento, debido a que la lluvia y la temperatura influyen en la calidad del agua al aumentar los efluentes de esta y alterando su composición, incluso puede llegar a dispersar los contaminantes. Sin embargo, también suele resultar contraproducente al esparcir por acción de los movimientos del agua, tales elementos. Considerando lo anterior, el clima predominante

en la zona de estudio es templado y tendiendo principalmente a frio, de acuerdo con INAFED (s.f) y Climate-Data. org (s.f) Atotonilco de Tula presenta temperaturas anuales promedio de 17 °C y precipitaciones medias de 560 milímetros por año con periodos de lluvia de mayo a septiembre, siendo el mes más caluroso mayo y el más frio enero. En la figura 9.4 se ilustran las características climáticas promedio a lo largo del año.

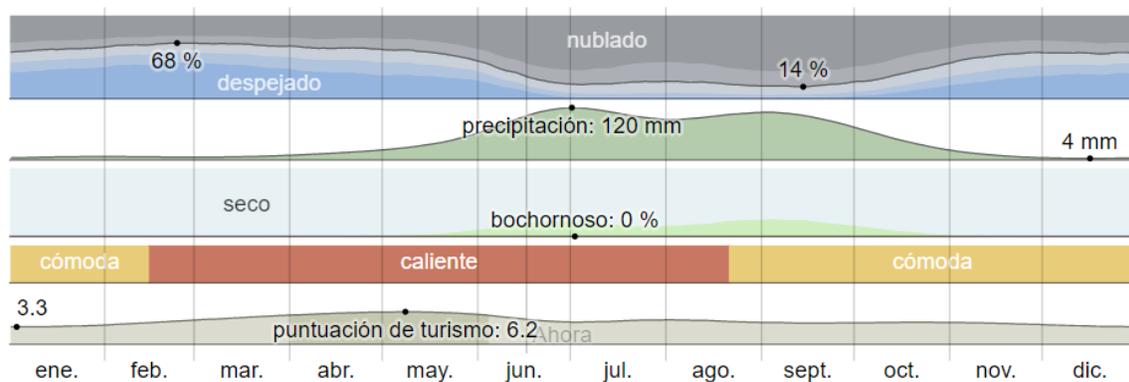


Figura 9.4 Características climáticas a lo largo del año en Tula Hidalgo. Nota: En la Figura se pueden observar las variaciones de los componentes climáticos a lo largo del año en el municipio de Tula en estado de Hidalgo. Recuperado de Weather Spark (s.f).

Características bióticas de la zona de estudio.

Flora.

La flora es un componente importante a considerar. Una de las finalidades de los estudios de impacto ambiental es proporcionar información referente a las afectaciones causadas por las actividades agrícolas; en este caso, principalmente por el tipo de agua usada para riego, así como la variación de estas al implementar las medidas de mitigación, como, por ejemplo, la sustitución de AR por AT.

La flora local (exceptuando la proveniente de las actividades agrícolas), de acuerdo con los datos del INAFED (s.f) y el H. Ayuntamiento Municipal de Atotonilco de Tula, está representada principalmente por matorrales crasicoules, pinos, magueyes, cactus y algunas especies exóticas de árboles frutales. En el anexo 2 se mencionan algunos ejemplos de flora endémica. Es importante considerar que el estudio se llevó a cabo en

una zona de uso de suelo agrícola. Durante las visitas de campo se encontraron matorrales y magueyes tal y como se ilustra en la figura 9.5.



Figura 9.5 Algunos ejemplos de flora endémica presente en las zonas agrícolas del Valle de Mezquital. Elaboración propia.

Fauna.

Debido a la poca precipitación pluvial, sólo habitan especies pequeñas de animales capaces de vivir en regiones con poca agua como mamíferos, reptiles y aves de menor tamaño, así como una gran variedad de insectos y arácnidos. Estas especies se ven

afectadas debido la contaminación ocasionada por el uso de AR usadas para riego, mismas que influyen en la calidad de los cuerpos de agua que utilizan para subsistir. Dicho lo anterior, durante los análisis de impacto ambiental se destacó la importancia de conocer el tipo de fauna presente en la zona y debido a que se trató de zonas agrícolas, no se encontraron especies amenazadas por las actividades productivas realizadas. En el Anexo 2 se enlista la fauna endémica de la región.

Clasificación y uso de suelo.

Geología.

Las características de los suelos son de suma importancia debido a que estas son las que determinan el nivel de afectación que los contaminantes ejercen sobre la superficie en cuestión. Lo anterior se refuerza debido a que la capacidad amortiguadora hacia ciertos contaminantes o el riesgo de salinización y sodificación son determinados por los tipos de suelos y sus características edáficas. Estas peculiaridades se tomaron en cuenta durante las evaluaciones de impacto ambiental y los estudios de suelo que se realizaron durante el experimento de la investigación citada. Dicho lo anterior, de acuerdo con el H. Ayuntamiento Municipal Constitucional de Atotonilco de Tula, Hidalgo (2008),

las rocas volcanosedimentarias abarcan el 60% de Atotonilco de Tula; mientras que las pendientes más elevadas se conforman principalmente por brechas volcánicas básicas (volcanoclásticas) y en las superficies bajas por rocas basalto... así mismo ... las rocas sedimentarias 2 abarcan un 25% de área de la región de la que destaca la caliza, por lo que abundan las canteras, de donde se extraen minerales usados para la construcción (granizo, caliza, arenisca o roca basáltica).

Edafología.

Como se mencionó, en Atotonilco de Tula los grupos de rocas más comunes son las sedimentarias, de las que destacan: «areniscas, lutitas, conglomerados y calizas. Los tipos de suelos predominantes son feozem que abarcan un 60% del norte al sur de región, litosol en un 30%, y rendizina en un 10%». (H. Ayuntamiento Municipal

Constitucional de Atotonilco de Tula, Hidalgo, 2008). En el mismo orden de ideas y en conformidad con la investigación inédita usada como marco de referencia, se identificó que los suelos de las parcelas demostrativas eran principalmente tecnosoles debido a las prácticas agrícolas predominantes de la región. Se encontraron suelos fuertemente afectados, situación que permitió intuir que existen diversas zonas en la región con las mismas condiciones.

Uso de suelo.

Atotonilco de Tula cuenta con una superficie de 123.20 km², gran parte de esta es utilizada para actividades agropecuarias, de las que destacan los usos pecuarios (pastizales inducidos) y la agricultura de temporal. En el cuadro 9.3 se muestra el aprovechamiento del suelo de acuerdo a los porcentajes de uso de este, mismos que se ven reflejados en la figura 9.6.

Cuadro 9.3 Distribución de la superficie de acuerdo a su uso. Recuperado de (H. Ayuntamiento Municipal Constitucional de Atotonilco de Tula, Hidalgo, 2008).

Porcentaje de superficie usada	Actividad
30.73 %	Nada de agricultura ni ganadería
35 %	Agricultura temporal
0.61 %	Agricultura de riego
19 %	Uso agrícola manual estacional
36 %	Matorral Crasiucale y pastizal inducido para actividades pecuarias

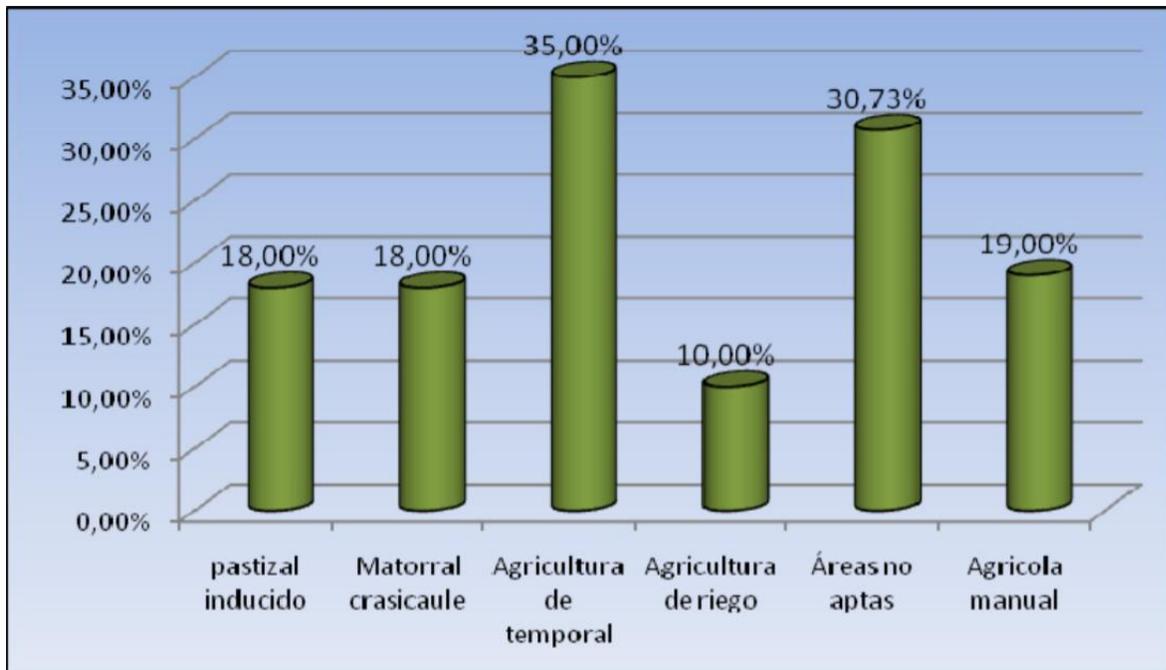


Figura 9.6 Gráfica de uso de suelo de Atotonilco de Tula. Nota. En la gráfica se observa la predominancia de las actividades agrícolas en los tipos de uso de suelo. Recuperado de H. Ayuntamiento Municipal Constitucional de Atotonilco de Tula, Hidalgo (2008).

Para efecto de los estudios de impacto ambiental de esta investigación, en la zona donde se llevó a cabo el experimento, los principales usos de suelo identificados, tanto en las parcelas demostrativas como en predios colindantes, fueron agrícolas y esto se corroboró y se delimitó de forma gráfica mediante el uso de herramientas SIG, tal y como se muestra en la figura 9.7. Así mismo, se identificó una zona urbana perteneciente a la localidad de San José Acozulco y una zona industrial (PTAR de Atotonilco) en las cercanías, Dicha información fue corroborada con datos de INEGI (s.f) en su plataforma virtual.

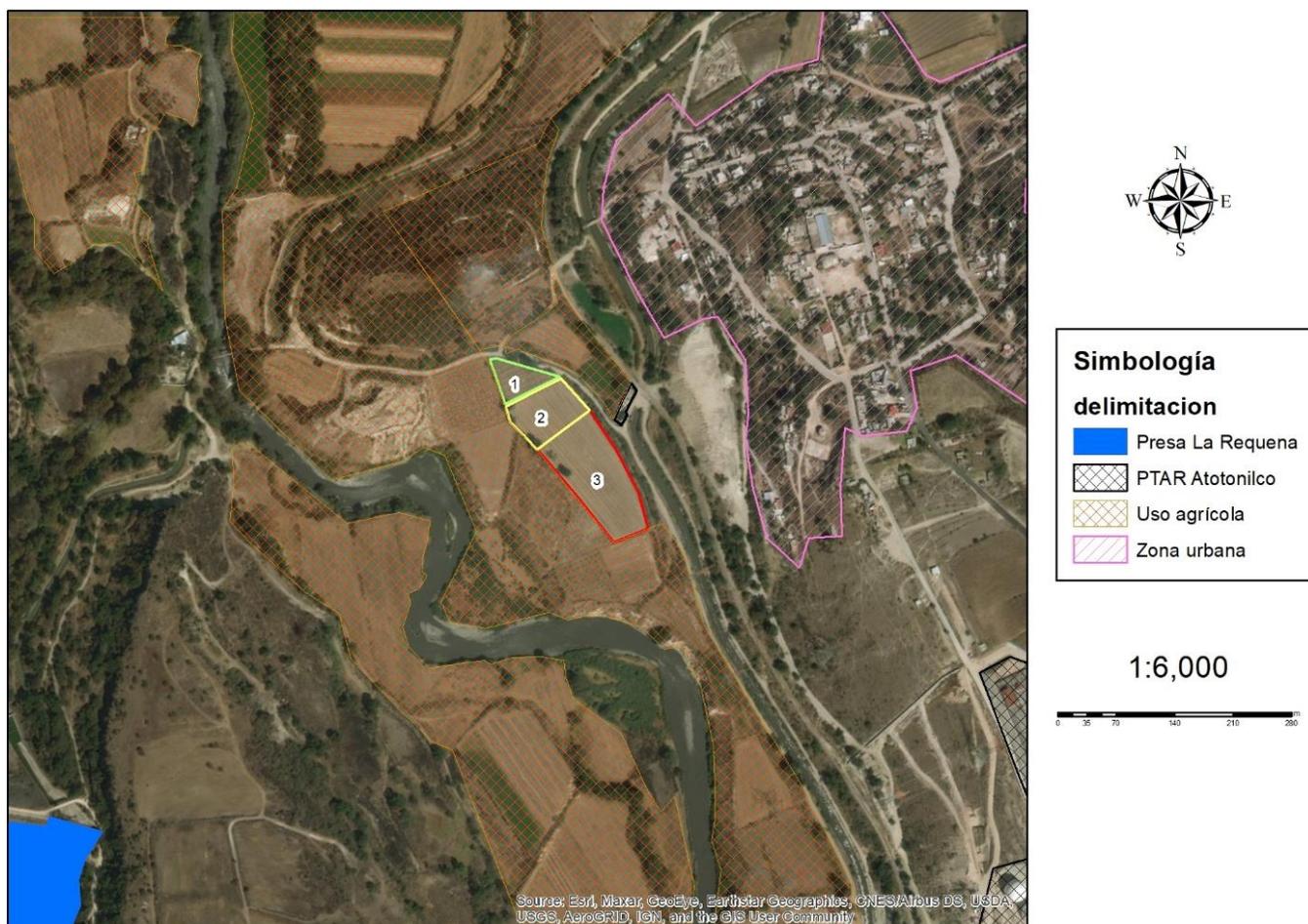


Figura 9.7 Usos de suelo de la zona de estudio y sus colindancias. Nota: En la figura se muestran las parcelas demostrativas y los dos principales suelos, los de uso agrícola y los urbanos. Elaboración propia mediante el uso de software Arc Map.

Estructura poblacional.

Este parámetro es de suma importancia durante los análisis de impacto ambiental debido a que las actividades realizadas pueden generar impactos positivos o negativos en la población. Para los casos expuestos durante el experimento no sólo se consideró a los individuos en contacto directo con las actividades susceptibles a generar impacto (agricultores), también se identificaron grupos vulnerables. Tal es el caso de mujeres, población infantil y grupos étnicos. Dicho lo anterior, mediante la consulta de fuentes bibliográficas se buscaron los datos poblacionales más recientes (2015), mismos que se muestran en el cuadro 9.4, mientras que en la 9.5 se representa a la población hablante

de lenguas indígenas y en el cuadro 9.6 se hace referencia a la población indígena auto adscrita.

Cuadro 9.4. Estructura por edad de la población, 2015. Elaborado con datos de Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2005 y Encuesta intercensal INEGI, 2015).

Grupos de edades	Población			Estructura por edad		
	Total	Hombre	Mujeres	Total %	Hombres %	Mujeres %
Atotonilco de Tula	38,564	18,695	19,869	100	100	100.0
0-14	11,380	5,675	5,705	30	29.5	28.7
15-64	25,099	11,997	13,102	65	65.1	65.9
65 y mas	2,056	1,020	1,036	5	5.3	5.2

Cuadro 9.5 Población de 5 años y más Hablantes de lengua indígena y condición de lengua española. Elaborado con datos de CDI. Sistema de indicadores sobre la población indígena de México con base en: INEGI Encuesta Intercensal, México, 2015).

Sexo	Hablante de lengua indígena	Población de 5 años y más		
		Bilingüe	Monolingüe	No especificado de bilingüismo
Total	238	161	0	77
Hombres	107	67	0	40
Mujeres	131	94	0	37

Cuadro 9.6 Población Indígena Auto adscrita por sexo y grandes grupos de edad. Elaborado con datos de CDI. Sistema de indicadores sobre la población indígena de México con base en: INEGI Encuesta Intercensal, México, 2015).

Grupos de edad	Condición de auto adscripción étnico		
	población adscrita	Población masculina	Población femenina
Total	5,324	2,629	2,691
0-14 años	1,395	690	705
15-24 años	878	452	426
25-65 años	2,744	1,328	1,416
65 años y mas	303	159	144

Metodología experimental.

Conforme al planteamiento del problema y los objetivos de esta investigación, el presente trabajo consistió en demostrar que el AT es mejor alternativa que el AR cruda, utilizada para riego en el VM. Para el logro de estas intenciones se recuperaron los resultados de la investigación Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT, a fin de profundizar en el comparativo, mediante el uso de parcelas demostrativas en las que se evaluó el rendimiento de un cultivo previamente seleccionado, considerando tres escenarios, como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 9.7 Escenarios evaluados en las parcelas demostrativos conforme al estudio referenciado. Elaboración propia.

Escenarios	Descripción
1	Riego tecnificado (goteo) con AT con aplicación de fertilizante
2	Riego tecnificado (goteo) con AT sin aplicación de fertilizante
3	Riego convencional (gravedad) con AR sin aplicación de fertilizante

En el marco de las ideas, se abordaron dos ejes de análisis, la productividad y el impacto ambiental ocasionado por las actividades productivas, por lo que la metodología se dividió en dos etapas:

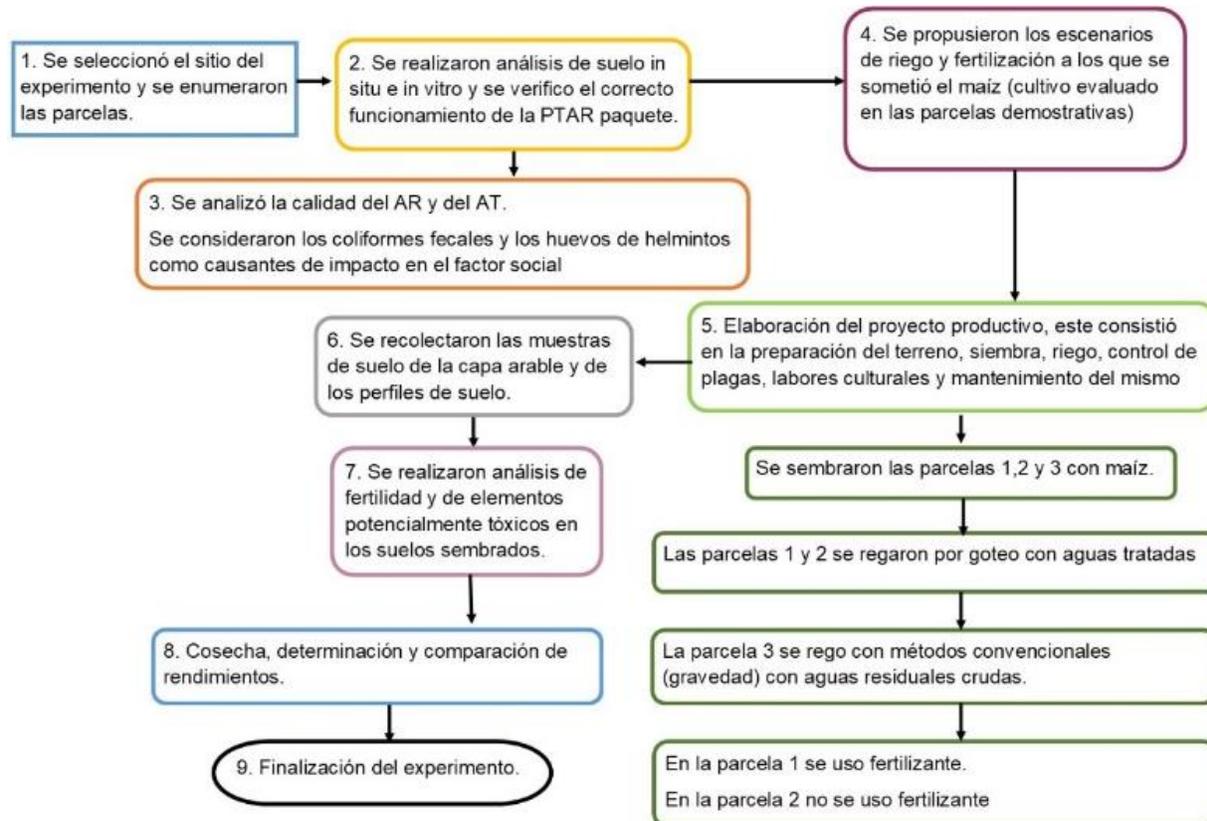
- Etapa 1. En esta fase se recuperó de la investigación inédita de las parcelas demostrativas y la planta paquete, el proceso experimental para la determinación del rendimiento del cultivo del maíz en los tres escenarios planteados. En esta etapa se describieron los pasos del experimento citado (2014), este consistió en: la preparación del terreno, la elaboración de proyecto productivo, la realización de análisis in vitro e in situ de agua y suelo, así como, la determinación de los rendimientos del cultivo.
- Etapa 2. Se realizaron Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA), donde se consideraron las actividades productivas como las generadoras de impacto,

teniendo en cuenta que estas se realizan por la mayoría de los agricultores en el VM. Las EIA se llevaron a cabo usando el método de Conesa adaptado a matrices de Leopold con la finalidad de comparar la importancia de los impactos de forma cualitativa y cuantitativa, identificar las interacciones más relevantes y determinar qué tipo de riego es el más adecuado y menos dañino al ambiente.

Parcelas demostrativas, Etapa 1

De acuerdo con la base de datos del estudio inédito consultado, la primera etapa constó de nueve fases concernientes a la preparación, desarrollo, análisis y finalización del experimento. Estas se realizaron en las parcelas demostrativas con el objeto de evaluar las ventajas y desventajas del riego con AT y AR en un ambiente controlado y emulando las condiciones empleadas por los agricultores de la región en los suelos abatidos por las prácticas de riego usadas por más de 100 años en el VM, dichas fases se exponen en la figura 9.8.

Figura 9.8 Procedimiento del experimento en la etapa 1, parcelas demostrativas



Nota. En el diagrama se describe el procedimiento experimental llevado a cabo en la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014). Elaboración propia.

De acuerdo con la base de datos consultada perteneciente al estudio inédito, el experimento se realizó en los años 2013 y 2014 contemplando dos ciclos agrícolas. Para usos de esta investigación se recuperaron los rendimientos del cultivo del maíz sembrado en tres parcelas demostrativas en el ciclo de primavera-verano, comenzando las actividades productivas en el mes de mayo y finalizando en octubre del año 2014; finalmente se procedió a la determinación de los rendimientos obtenidos para cada parcela.

El agua residual usada para riego se tomó directamente del canal El Salto Tlamaco, mientras que la tratada fue suministrada por una planta de tratamientos portátil (paquete), que emuló completamente la calidad del agua de salida proveniente de la PTAR de

Atotonilco, Dicha planta paquete fue instalada en un predio federal al este de las parcelas demostrativas.

Selección del sitio del experimento, enumeración de las parcelas *demostrativas* y delimitación de la zona de estudio.

Las parcelas demostrativas se ubicaron en predios particulares prestados, pertenecientes al señor Cecilio Reséndiz Pérez y al señor Valentín Carbajal Cruz, tal y como se muestra en la figura 9.9. La planta paquete se montó en un terreno Federal en el margen izquierdo del canal Salto Tlamaco a la altura de la toma dos, en el ejido Cañada en el municipio de Atotonilco de Tula estado de Hidalgo. La superficie total ocupada para la siembra del maíz durante el experimento citado fue de 1.497 hectáreas, Las coordenadas de las parcelas se muestran en el cuadro 9.8.

Cuadro 9.8 Coordenadas de las parcelas demostrativas, Elaboración propia con los datos recuperados del estudio denominado Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y donde se realizaron los EIA del presente trabajo.

Parcela	Coordenada del puntual
1	19°58'03.5"N, 99°18'16.9"W
2	19°58'02"N, 99°18'15"W
3	19°57'57"N, 99°18'16.2"W

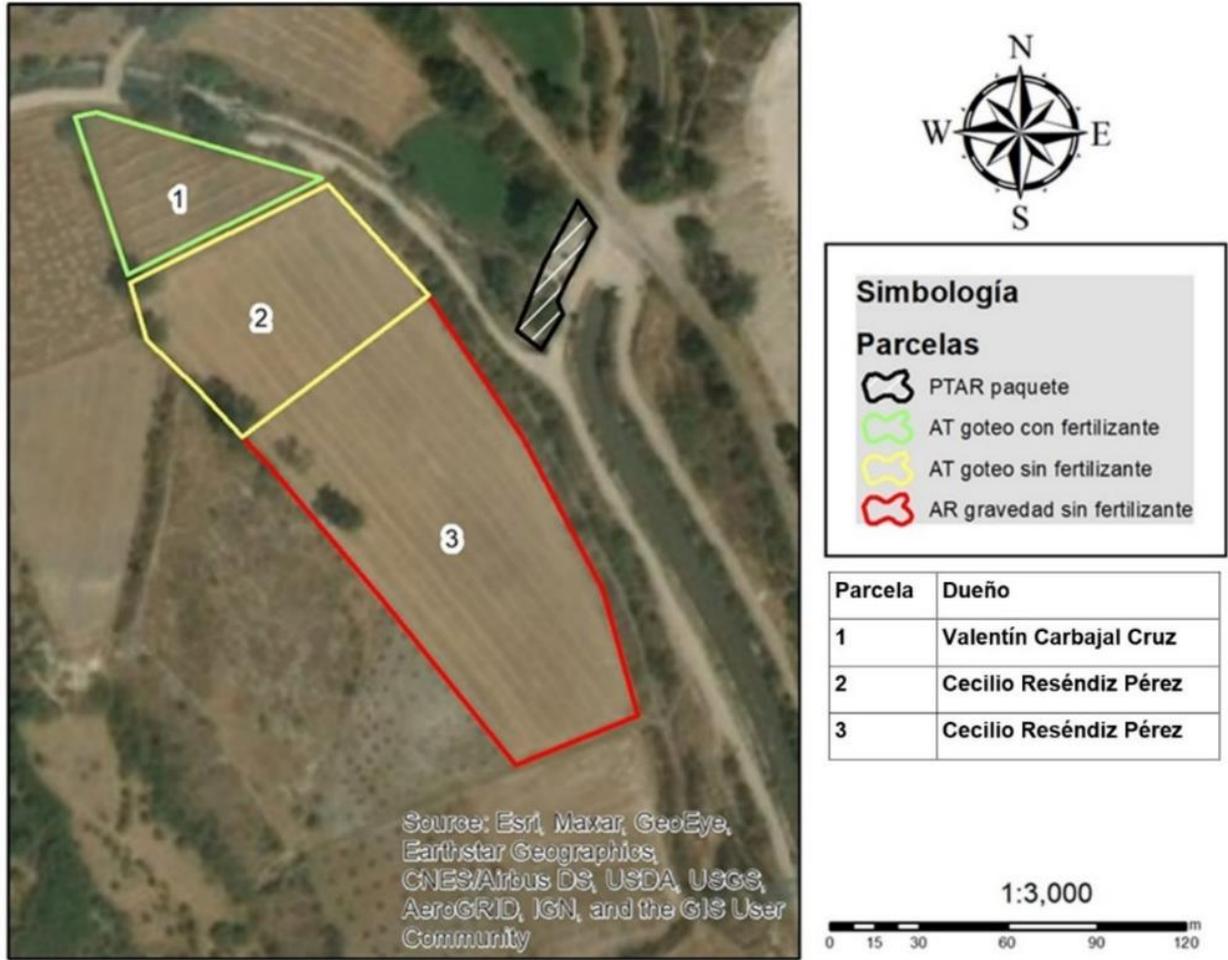


Figura 9.9 Parcelas demostrativas enumeradas y PTAR piloto. Nota: En la figura se muestran las tres parcelas en las que se llevó a cabo el experimento para determinar los rendimientos en los tres escenarios planteados en la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y donde se realizaron los EIA del presente trabajo. Elaboración propia mediante el uso del Software Arc Map.

Para la evaluación de impacto ambiental, se delimitó una superficie de 15.1917 Hectáreas alrededor de las parcelas demostrativas con la finalidad de abarcar la posible área de influencia de impactos ocasionados por las actividades que se realizaron durante el experimento citado. Aunado a esto, se identificaron los cuerpos de agua (Río el Salto al oeste las parcelas y Canal Salto-Tlamaco al este) y los tipos de uso de suelo presentes dentro de la zona de estudio, donde destacaron los agrícolas, tal y como se muestra en la Figura 9.10. En el marco de las ideas, la delimitación fungió como herramienta esencial

durante los análisis de impacto ambiental tal y como se indica en los manuales para la elaboración de Manifestaciones de Impacto Ambiental de la SEMARNAT.

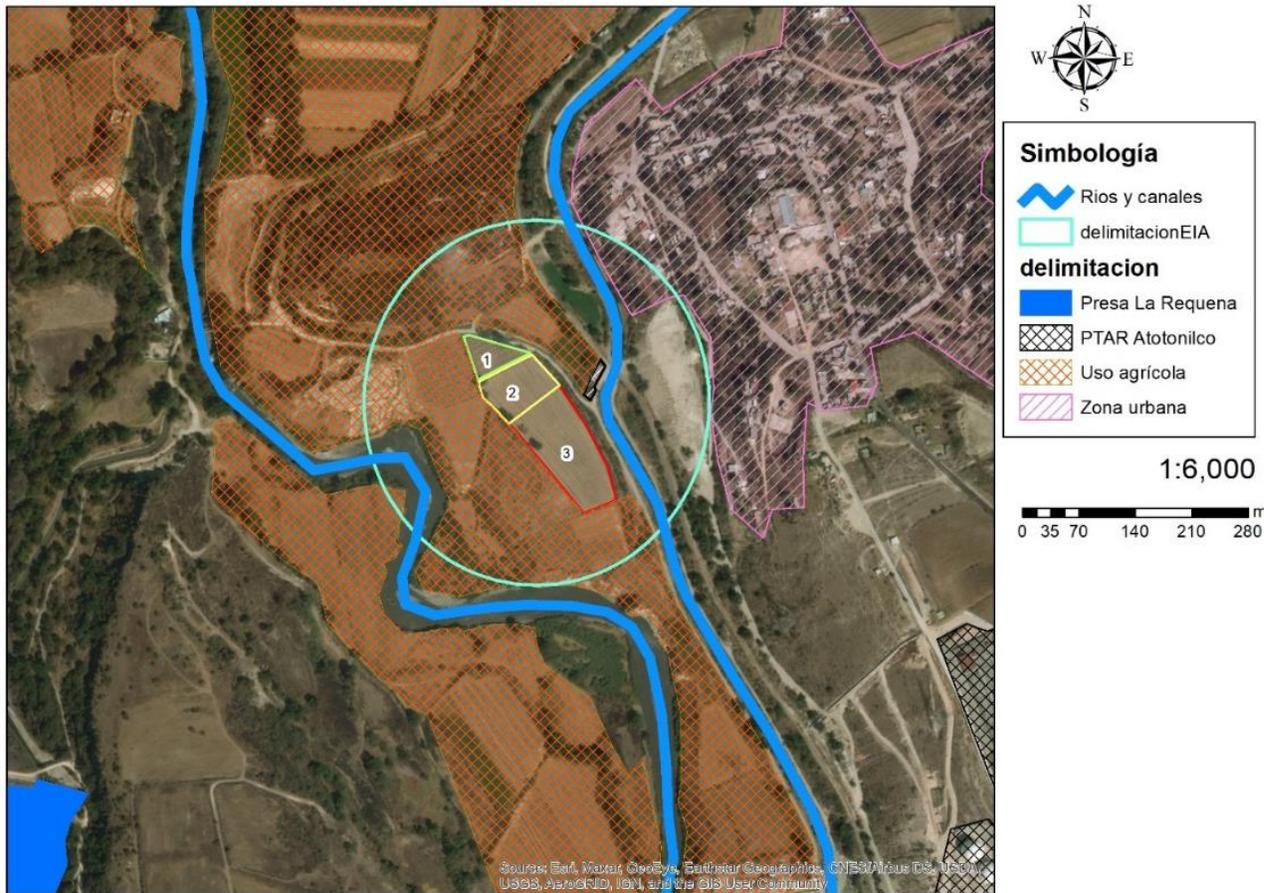


Figura 9.10 Delimitación de la superficie para los estudios de impacto ambiental. Nota: En la figura se muestra la superficie delimitada para los estudios de impacto ambiental, así como los cuerpos de agua cercanos, y la zona urbana susceptible a impactos. Elaboración propia mediante el uso del Software Arc Map.

Análisis de suelo, agua y plantas

En la investigación inédita citada se realizaron análisis químicos y físicos del suelo y agua, con la finalidad de evaluar la cantidad de contaminantes y elementos potencialmente tóxicos presentes, como consecuencia de las actividades agrícolas,

incluido el riego con AR en la zona de estudio, dichos análisis se enumeraron en seis etapas tal y como se muestra en la figura 9.11.

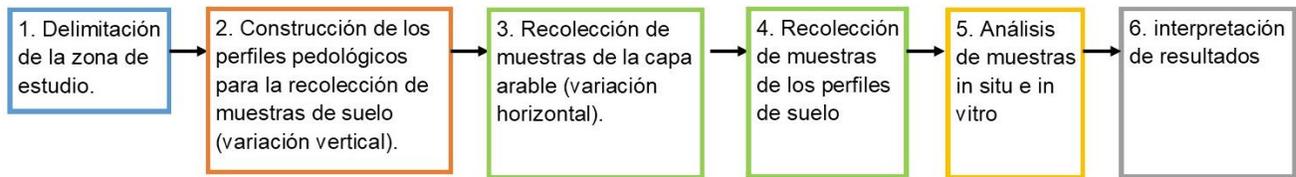


Figura 9.11 Actividades realizadas en la elaboración de los análisis químicos. Nota: En el diagrama se muestran las actividades realizadas para la recolección de muestras y análisis de estas conforme a los datos consultados derivados de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014). Elaboración propia.

De acuerdo con los lineamientos establecidos por la NOM-021-RECNAT-2000, existen diferentes consideraciones para la recolección de muestras de suelo, mismos que se tomaron en cuenta para esta fase del experimento. Tal es el caso del uso del equipo mínimo necesario para este fin que se cita a continuación.

1. Perfil del suelo (se considera el equipo que se usó para su realización como palas, maquinaria, barrenas, etc.).
2. Martillo pedológico, espátula o cuchillo de acero inoxidable para marcar los estratos u horizontes.
3. Bolsas de plástico transparente con capacidad para dos kilogramos de suelo.
4. Geoposicionador.
5. Libreta de notas y bolígrafo.
6. Plano, mapa, fotografía aérea del área de estudio.
7. Formato de campo (ver anexo 8).

En la investigación inédita referida, para los muestreos de suelo, se recolectaron 67 muestras simples de las cuales 49 pertenecieron a la variación horizontal. Estas consistieron de un kilogramo (kg) de suelo de la capa arable (0-20 cm) recolectadas al azar a lo largo de las parcelas demostrativas y los predios contiguos al este de las

mismas y al frente de la PTAR paquete. Para la variación vertical se utilizaron tres perfiles de suelo, en las parcelas 2 y 3; el ultimo perfil se realizó en un terreno colindante a la parcela 1 perteneciente al igual que esta al señor Valentín Carbajal Cruz, con la finalidad de conocer la situación de los suelos dentro del área de estudio y sus colindancias. De estos se recolectaron 18 muestras de 1 kg por horizonte, ocho del perfil 1, cuatro del perfil 2 y seis del perfil 3. La numeración y localización de los perfiles pedológicos se muestran en la figura 9.12.

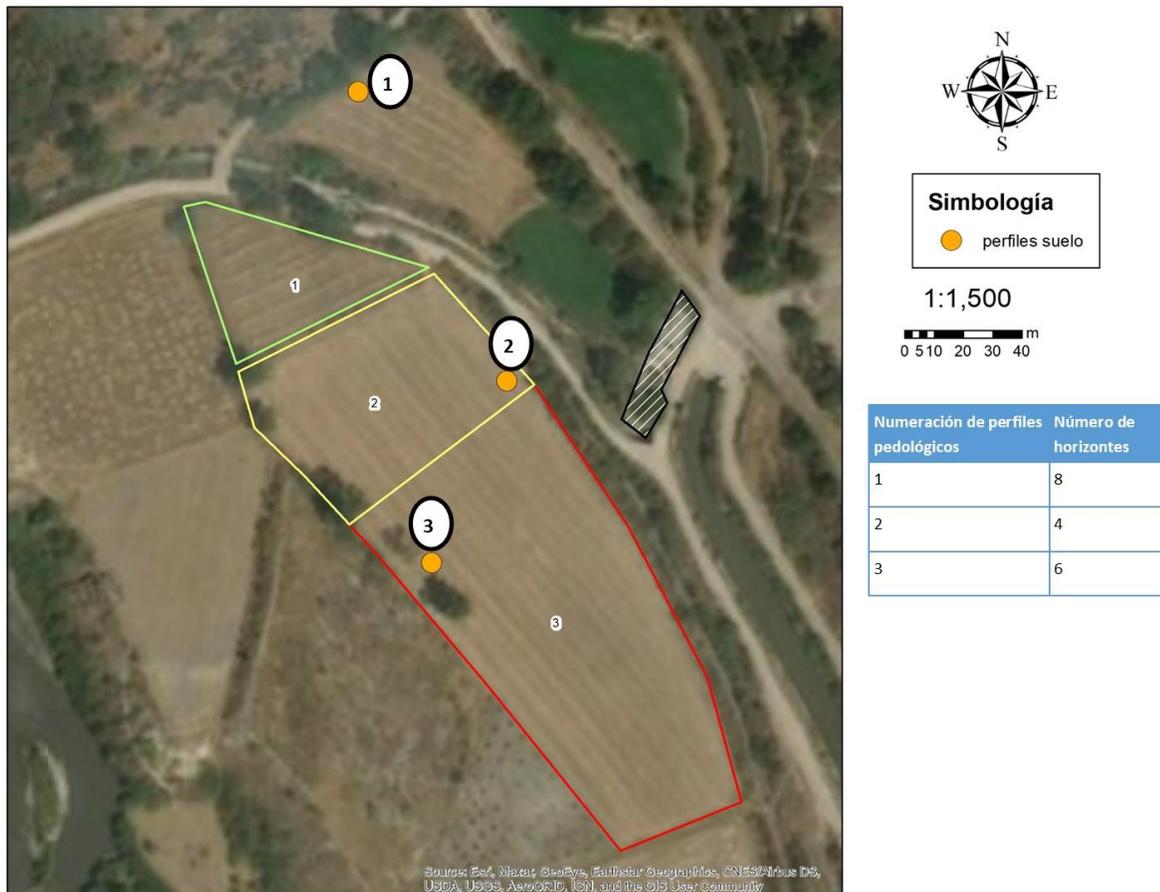


Figura 9.12 Localización de los perfiles pedológicos. Nota: En la figura se muestra la localización de los perfiles pedológicos en el área de estudio especificada en la base de datos consultados derivados de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014). Elaboración propia mediante el uso del Software Arc Map.

Aunado a esto, en los mismos estudios inéditos se realizaron análisis de fertilidad de suelo en el laboratorio con base en lo estipulado por la NOM-021-SEMARNAT-2000, mientras que los parámetros evaluados concernientes a los elementos potencialmente tóxicos se efectuaron conforme a lo establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 y la NOM-004-SEMARNAT-2002. Los métodos para las determinaciones que se efectuaron se mencionan en el cuadro 9.9.

Cuadro 9.9 Metodología usada para las determinaciones fisicoquímicas de las muestras de suelo. Elaboración propia con los datos recuperados del estudio denominado Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

Determinación	Metodología
pH y CE	Relación 1:2
Densidad Aparente	Método de la probeta
Porcentaje de saturación	Pasta de saturación
Materia Orgánica	Walkely and Black
N-NO ₃ y N-NH ₄	KCL 2N
Fósforo	Olsen
S-SO ₄	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ * H ₂ O
Carbonato de calcio equivalente	Horton y Newson
Bases intercambiables	Acetato de Amonio 1N pH 7
Micronutrientes	DTPA
Boro	Azometina-H
Metales pesados	DTPA
Textura	Bouyoucos
Capacidad de Campo	Olla de presión
Punto de marchitez permanente	Membrana de presión

Los resultados de los estudios recuperados de la base de datos del experimento citado se muestran en el anexo 5 de este documento, donde se compararon con la normatividad y se resaltó que a pesar de que el suelo no presento señales severas de sodificación y salinización existe un alto riesgo de que esto suceda si el riego con AR continúa. Aunado a esto, se encontró la presencia de elementos potencialmente tóxicos en la capa arable, pero la cantidad de estos fue muy baja debido a la capacidad amortiguadora del suelo. En la figura 11.7.6 se ilustra parte del proceso de recolección de muestras.



Figura 9.13 Recolección de muestras de suelo en el área delimitada para las evaluaciones de impacto ambiental. Nota: En la figura se muestra la recolección de muestras de suelo en el área delimitada para las evaluaciones de impacto ambiental. Elaboración propia.

Análisis de la calidad del agua tratada de la planta piloto y del agua residual usada para riego.

La recolección de las muestras de agua para evidenciar el impacto ambiental se llevó a cabo con base en las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y la Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales-Muestreo, antes y después del tratamiento en la planta piloto. Se consideró la variación de la calidad del agua debido a las fluctuaciones térmicas estacionarias y los cambios causados por las temporadas de lluvia o estivales. Los parámetros evaluados se muestran en el cuadro 9.10 y los resultados en el Anexo 9. Los análisis de la calidad del agua antes y después del tratamiento fueron proporcionados por la PTAR de Atotonilco, de tal manera que se pudieran evidenciar los cambios en la calidad de esta. En la figura 9.14 se observan las muestras de agua recolectadas.

Cuadro 9.10 Parámetros evaluados en muestras de descarga de aguas residuales (SEMARNAT, 1996 y datos reportados por la PTAR Atotonilco).

Parámetros para contaminantes básicos

- pH
 - Demanda Biológica de Oxígeno 5 (DBO5)
 - Demanda Biológica de Oxígeno soluble (DBOs)
 - Sulfatos
 - Sulfuros
 - Turbiedad
 - Grasas y aceites
 - Coliformes totales y fecales
 - Huevos de Helmintos
 - Nitrógeno Kjeldahl
 - Nitrógeno amoniacal
 - Nitritos más nitratos como nitrógeno total
 - Fósforo total
 - Sólidos suspendidos totales
 - Sólidos suspendidos volátiles
-



Figura 9.14 Zona de muestreo (Canal Salto-Tlamaco) y muestra recolectada de AR. Nota: En la figura se muestra el canal Salto-Tlamaco donde se recolectaron las muestras de AR y un ejemplo de esta. Elaboración propia.

Selección de las variables de riego y fertilización

De la investigación citada (2014), se seleccionó el maíz como grupo experimental. Este sirvió para medir la variación del rendimiento al ser regado con AR y AT considerando que es un cultivo comúnmente sembrado en la zona del VM, su desarrollo no es muy tardado y tiende a ser resistente a las condiciones edáficas del lugar. En conformidad con la investigación, en la parcela 1 se sembró el cultivo designado y se fertilizó con 240 unidades de nitrógeno en sulfato de amonio, constó de tres aplicaciones, una durante la siembra y dos durante el deshierbe o escarda. La parcela dos, al igual que la anterior, se regó por goteo con AT, pero no se usó fertilizante en ningún momento y la parcela tres fue regada por métodos convencionales (gravedad) con AR sin aplicación de fertilizante, posteriormente se llevaron a cabo las actividades de mantenimiento. En la figura 9.15 se muestran las parcelas con las condiciones de riego y fertilización seleccionadas para cada una, por otro lado, en las figuras 9.6 y 9.7 se observa la parcela 3 regada con AR y la parcela 2 con AT respectivamente.

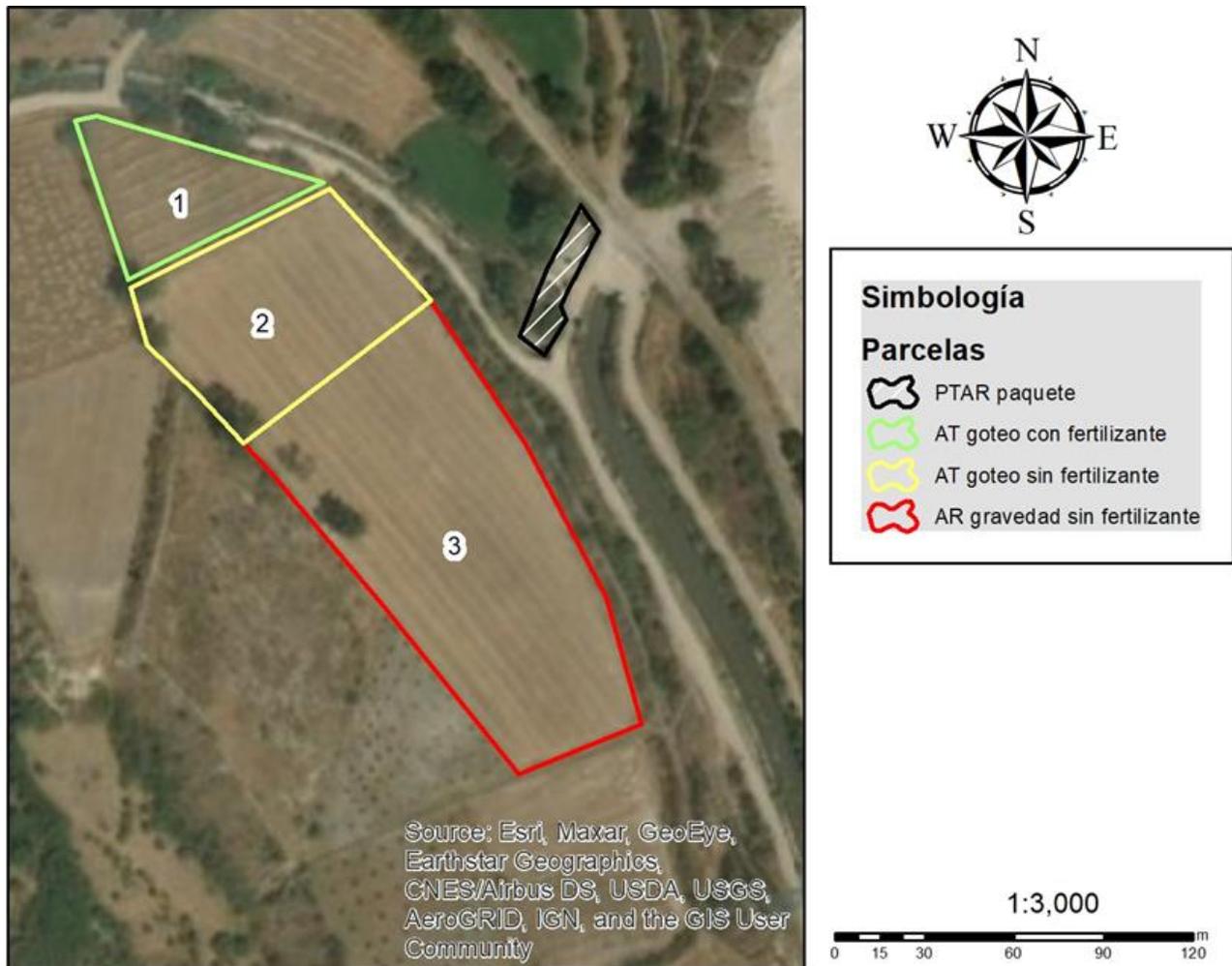


Figura 9.15 Plano de las parcelas demostrativas y los escenarios seleccionados para cada una. Nota: En la figura se muestran las parcelas demostrativas y los escenarios seleccionados para cada uno en conformidad con la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014). Elaboración propia mediante el uso del Software Arc Map.



Figura 9.16 Riego con AR por gravedad en la parcela 3. Nota. En la figura se muestra la parcela 3 siendo regada por AR mediante riego por gravedad. Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT, (2014).



Figura 9.17 Riego por goteo en la parcela 2. Nota: En la figura se muestra la parcela 2 siendo regada por AT mediante riego por goteo. Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

Proyecto productivo y disposiciones de riego del experimento expuesto

De acuerdo con el estudio inédito citado (2014), se realizaron las acciones concernientes a la preparación del terreno (barbecho, rastreo y surcado) en las parcelas con la finalidad de acondicionar el suelo y brindar una cama óptima para los cultivos con una superficie aireada, suelta y que facilite el desarrollo de las raíces. Estas acciones se realizaron con ayuda de maquinaria agrícola como se observar en la figura 9.18.



Figura 9.18 Rastreo y surcado. Nota: En la figura se muestra el proceso de rastreo y surcado por maquinaria agrícola. Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

De acuerdo con Martínez (2015), mediante la preparación adecuada del terreno se busca aumentar la capacidad de retención de agua, facilitar la absorción de los nutrientes, el desarrollo de las raíces, aumentar la infiltración del agua de lluvia, controlar plagas, etc. El barbecho se llevó a cabo a una profundidad de 25 a 30 cm, mientras que surcado se realizó con una separación de 70 cm.

Sistema de riego tecnificado

En conformidad con el proceso establecido en el estudio citado, las parcelas 1 y 2 se regaron con AT mediante el uso de riego presurizado por goteo; por lo que después de

la preparación del terreno, la siembra y la fertilización se colocaron las cintas de riego las cuales contaron con las siguientes características:

- Calibre de 8 mm
- Emisores cada 15 cm
- Gasto de 0.6 L/hr m lineal

Se verificó la ausencia de fugas y se colocó un herbicida pre-emergente (GOAL TENDER) y posteriormente se humedecieron las parcelas (pre-riego). Se hace la aclaración de que el agua tratada fue suministrada por la PTAR paquete en todo momento, mientras que el AR se extrajo del canal el Salto-Tlamaco para irrigar la parcela 3, conforme a lo establecido anteriormente. Las características del herbicida y los otros insumos usados se especifican en el Anexo 4 y en la figura 9.19 se ilustra la colocación de las cintas de riego.



Figura 9.19 Colocación de las cintas de riego en las parcelas regadas con AT. Nota: Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

Actividades de mantenimiento y cuidados del cultivo seleccionado durante el experimento

El experimento citado (2014) en referencia a las actividades productivas que para usos de esta investigación se delimitaron al ciclo agrícola de mayo a octubre en las tres

parcelas seleccionadas sembradas con maíz. Se realizaron las acciones pertinentes para proteger los cultivos de diferentes tipos de plagas mediante la colocación de trampas para mamíferos pequeños, la aplicación de insecticidas y fungicidas, así como, deshierbe y aporque en los surcos. En la figura 9.20 se muestra la fumigación y fertilización de la parcela 1, mientras que en las figuras 9.21 y 9.22 se visualiza el desarrollo de los cultivos.



Figura 9.20 Fertilización y fumigación de la parcela 1. Nota: Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).



Figura 9.21 Desarrollo del maíz en la parcela 3. Nota: Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).



Figura 9.22 Mazorcas ya con jilotes en la parcela 2. Nota: Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

Características de la Planta paquete de Tratamientos de Agua Residual.

El agua tratada para el experimento realizado en las parcelas demostrativas del estudio citado se suministró por medio de una planta paquete de tratamientos de AR con una

capacidad de 0.5 L/s, que utilizó un tren de procesos convencionales (lodos activados), montado sobre una plataforma móvil de 12.2 m de largo por 2.45 m de ancho y 1.5 m de alto en un predio federal como se indica en el apartado 9.7.1 de esta investigación. Esta se abasteció de las AR provenientes del canal del salto Tlamaco y produjo AT con una calidad equivalente a la PTAR de Atotonilco. El lay out y las fotos de la planta paquete se pueden consultar en el anexo 6, se hace la aclaración de que, después del experimento, el equipo fue retirado del predio. La planta conto con seis componentes importantes:

- Bomba sumergible.
- Tratamiento primario (clarificador convencional).
- Tratamiento biológico (reactor biológico, con las mismas características al utilizado en la PTAR de Atotonilco).
- Clarificador secundario (con la función de separar los sólidos mediante floculación y sedimentación).
- Retorno de lodos (mediante la utilización de bomba de lodos, redirigiendo los lodos al biorreactor y el excedente al canal el Salto Tlamaco).
- Equipo de cloración (clorador manual que utilizo una bomba dosificadora de hipoclorito de sodio).

Recolección de muestras de cultivos para la evaluación de los rendimientos.

Al finalizar el ciclo agrícola y las actividades productivas realizadas durante el experimento de la investigación citada llevado a cabo en las parcelas demostrativas, se cosecharon los cultivos y se determinó el rendimiento promedio en toneladas por hectárea (Ton/Ha) del maíz para cada parcela enumerada. Los cálculos siguen la metodología propuesta por Calvo (2020), misma que se describe a continuación.

1. Se contó el número de mazorcas promedio por hectárea de forma lineal en el surco a lo largo de 10 m² entre la separación de cada planta, para este caso 70 cm, mediante la ecuación 1.

$$\left(\frac{1}{70\text{cm}}\right) 10\text{m}(100\text{cm}) = 14.28\text{m}$$

2. Dicho lo anterior se contabilizó el número de mazorcas en 14.28 m, consecuentemente se contaron los granos por hectáreas promedio al enumerar las filas por mazorca mismas que se multiplicaron por la cantidad de granos en las filas como se muestra en la ecuación 2.

$$\begin{aligned} &(\text{número de filas en la mazorca})(\text{número de granos por fila}) \\ &= \text{número de granos por mazorca} \end{aligned}$$

3. Posteriormente se multiplico la cantidad de mazorcas entre hectárea por el número de granos contenidos en una mazorca y se obtuvieron los granos por hectárea como se ilustra en la ecuación 3.

$$(\text{mazorcas por hectárea})(\text{granos por mazorca}) = \text{granos por hectarea}$$

4. Se pesaron mil gramos de cada una de las parcelas y estos valores se multiplicaron por los granos por hectárea de cada caso usando la ecuación 4 para determinar los kilos por hectárea, finalmente se realizó la conversión de kilos a toneladas sobre hectárea, ver cuadro 9.11.

$$(\text{granos por hectárea}) \left(\frac{\text{gramos de 100 granos}}{1000000}\right) = \text{Kilos por hectárea}$$

Cuadro 9.11 Rendimientos promedio por parcela, elaboración propia con los datos recuperados de la base de datos de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

Tipo de riego	Número de mazorcas en 14.28	Mazorcas por Ha	Filas	Granos por fila	Granos por mazorca	Granos por Ha	Gr de 1000 granos	Kg/Ha	Ton/Ha
AT goteo con Fert	65	65000	18	37	666	43290000	316	13679.6	13.67
AT goteo sin Fert	58	58000	17	30	510	29580000	310	9169.8	9.16
AR por Gravedad	51	51000	14	28	392	19992000	305	6097.5	6.09

Análisis del impacto ambiental de acuerdo a las actividades agrícolas realizadas y al tipo de agua usada para riego. Etapa 2.

Con la finalidad de cumplir con los objetivos de esta investigación, se realizaron evaluaciones de impacto ambiental para las actividades agrícolas en las tres parcelas demostrativas considerando cada uno de los escenarios planteados en el estudio Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014). Aunado a esto, se tuvo en cuenta que dichas actividades se realizan periódicamente durante el año agrícola en la zona previamente delimitada. Las evaluaciones se realizaron utilizando el método Planteado por Fernández-Vitoria (2019) con el cual se calculó la importancia del impacto mediante la ecuación 5, misma que fue desarrollada por el mismo autor:

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Donde:

- \pm = Naturaleza del impacto.
- I = Importancia del impacto.
- i = intensidad o grado probable de destrucción.
- EX = Extensión o área de influencia del impacto.
- MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto.
- PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto.
- RV = Reversibilidad.
- SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples.
- AC = Acumulación o efecto del incremento progresivo.
- EF = Efecto (directo o indirecto).
- PR = Periodicidad.
- MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos.

Estas variables son cuantificadas con ayuda del cuadro de valoración de la importancia de impacto ambiental propuesto por Fernández-Vitoria (2019) en su metodología. Los valores se seleccionaron de acuerdo a las características ambientales, edáficas, climáticas, socio-culturales, etc. Obtenidas mediante los estudios de campo realizados en la región, a la bibliografía consultada y el uso de SIG. En el mismo orden de ideas, el análisis se complementó con ayuda de los resultados obtenidos de los estudios fisicoquímicos de suelo y agua realizados en las parcelas demostrativas. Ver cuadro 9.12.

Cuadro 9.12. Modelo de importancia de impacto. Recuperado de: Hidrosar (s.f) que cita a Fernández-Vitoria. (2019).

Signo		Intensidad (i)	
Benéfico	+	Bajo	1
Perjudicial	-	Total	12
Extensión (EX)		Momento (MO)	
Puntual	1	Largo Plazo	1
Parcial	2	Medio Plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Critico	8
Critica	12		
Persistencia (PE)		Reversibilidad (RV)	
Fugaz	1	Corto Plazo	1
Temporal	2	Medio Plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
Efecto (EF)		Periodicidad (PR)	
Indirecto	1	Irregular	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
Recuperabilidad (MC)		Sinergia (SI)	
Recuperación inmediata	1	Sin sinergismo	1
Recuperable	2	Sinérgico	2
Mitigable	4	Muy sinérgico	4
Irrecuperable	8		
Acumulación (AC)			
Simple	1		
Acumulativo	4		

Nota. Los valores pueden ser intermedios.

Acciones susceptibles de producir impacto

Para evaluar el impacto ambiental causado por las actividades dentro del proyecto productivo en las parcelas demostrativas; se identificaron las Acciones Susceptibles de

Producir Impacto Ambiental (ASPI), dentro de la zona delimitada en el apartado 9.7.1 considerando además que dichas actividades son repetidas por la mayoría de los agricultores durante los ciclos agrícolas en el VM; estas corresponden a la preparación del terreno, mantenimiento y operación, así como el cierre del ciclo agrícola y las actividades complementarias. Dicho lo anterior, se realizaron tres matrices considerando los tres escenarios evaluados en el experimento al que se hace mención. Los ASPI para cada matriz se muestran en los cuadros 9.13, 9.14 y 9.15 respectivamente.

Cuadro 9.13 ASPI de las parcelas regadas con AT por goteo con aplicación de fertilizantes.
Elaboración Propia

COMPONENTES DE PROYECTO ASPI (para parcelas con aguas tratadas por goteo y aplicación de fertilizante)	
Fases del Proyecto	Actividad
Preparación	Barbecho con tractor
	Rastreo con tractor
	Surcado con tractor
	Colocación de cintas para riego por goteo
	Colocación de herbicida pre-emergente
	Pre-riego por goteo con agua tratada
	Trasplante de cultivos (maíz)
	Aplicación de tratamiento preventivo contra plagas con
Operación y mantenimiento	Manejo de plagas y enfermedades mediante mochilas de aspersión (insecticidas)
	Manejo de plagas y enfermedades mediante mochilas de aspersión (fungicidas)
	Manejo de plagas y enfermedades mediante mochilas de aspersión (mamíferos pequeños)
	Riego por goteo con aguas tratadas
	Deshierbe y aporque
	Aplicación de fertilizante
Cierre de ciclo	Cosecha y selección de cultivos regados con aguas tratadas
Actividades complementarias	Transporte de semillas e insumos Compra de insumos agrícolas

Cuadro 9.14 ASPI de las parcelas regadas con AT por goteo sin aplicación de fertilizantes.

Elaboración propia

COMPONENTES DE PROYECTO ASPI (para parcelas con aguas tratadas por goteo sin aplicación de fertilizante)	
Fases del Proyecto	Actividad
Preparación	Barbecho con tractor
	Rastreo con tractor
	Surcado con tractor
	Colocación de cintas para riego por goteo
	Colocación de herbicida pre-emergente
	Pre-riego por goteo con agua tratada
	Trasplante de cultivos (maíz)
	Aplicación de tratamiento preventivo contra plagas con
Operación y mantenimiento	Manejo de plagas y enfermedades mediante mochilas de aspersión (insecticidas)
	Manejo de plagas y enfermedades mediante mochilas de aspersión (fungicidas)
	Manejo de plagas y enfermedades mediante mochilas de aspersión (mamíferos pequeños)
	Riego por goteo con aguas tratadas
	Deshierbe y aporque
	No Aplicación de fertilizante
Cierre de ciclo	Cosecha y selección de cultivos regados con aguas tratadas
Actividades complementarias	Transporte de semillas e insumos Compra de insumos agrícolas

Cuadro 9.15 ASPI de las parcelas regadas con AR por gravedad sin aplicación de fertilizantes.
Elaboración propia.

COMPONENTES DE PROYECTO ASPI (para parcelas con aguas residuales crudas por gravedad sin aplicación de fertilizante)	
Fases del Proyecto	Actividad
Preparación	Barbecho con tractor
	Rastreo con tractor
	Surcado con tractor
	Colocación de cintas para riego por goteo
	Colocación de herbicida pre-emergente
	Pre-riego por gravedad con agua residual
	Trasplante de cultivos (maíz)
	Aplicación de tratamiento preventivo contra plagas
Operación y mantenimiento	Manejo de plagas y enfermedades mediante mochilas de aspersión (insecticidas)
	Manejo de plagas y enfermedades mediante mochilas de aspersión (fungicidas)
	Manejo de plagas y enfermedades mediante mochilas de aspersión (mamíferos pequeños)
	Riego por gravedad con agua residual
	Deshierbe y aporque
	No aplicación de fertilizante
Cierre de ciclo	Cosecha y selección de cultivos regados con aguas tratadas
Actividades complementarias	Transporte de semillas e insumos Compra de insumos agrícolas

Factores Ambientales representativos de impacto.

Las ASPI tienen interacciones con los Factores Ambientales Representativos de Impacto (FARI). Estos representaron los componentes ambientales que se vieron afectados o beneficiados por las acciones realizadas durante el proyecto productivo en las parcelas demostrativas y las actividades agrícolas realizadas comúnmente en el VM. Los FARI se contemplaron para los componentes más representativos de esta investigación; los físicos, biológicos y socio-económicos dentro de la zona delimitada; estos a su vez se dividieron en subcomponentes con base a lo observado durante los recorridos en las zonas agrícolas del VM y a las interacciones con las poblaciones afectadas. En el cuadro 9.16 se muestran los conceptos considerados y evaluados.

Cuadro 9.16. Factores ambientales representativos de impacto. Elaboración propia.

COMPONENTES DEL AMBIENTE (FARI)		
COMPONENTE FÍSICO	Suelo	Tasa de erosión
		Aportación de elementos potencialmente tóxicos
		Salinidad y sodicidad de suelos
		Estructura
	Atmosfera	Calidad del aire
		Contaminación Auditiva
		Olores Gases de efecto invernadero
Agua	Consumo	
	Generación de aguas residuales	
	Contaminación de cuerpos de agua superficiales	
	Contaminación y pérdida de recarga de mantos freáticos	
Paisaje	Percepción del paisaje	
COMPONENTE BIOLÓGICO	Flora	Estructura Habitad

	Fauna	Diversidad Habitad
	Población	Salud y bienestar Seguridad Incremento económico
COMPONENTE SOCIO-ECONÓMICO	riesgo laboral (agricultores)	Salud y seguridad de los trabajadores Alteración del bienestar comunitario
	territorio	Uso de tierra
	Cultura	Incremento de plusvalía Educación

Matrices para la identificación de los impactos ambientales.

Una vez que se obtuvieron los ASPI y los FARI, se identificaron sus interacciones mediante de la ecuación 5. Posteriormente se construyeron las matrices basadas en el modelo de Leopold y la metodología expuesta por Fernández-Vitoria. (2019), estas sirvieron para cuantificar, evaluar y comparar el impacto ambiental de las actividades agrícolas en el VM, para cada una de las parcelas y por consiguiente los escenarios correspondientes considerados en el estudio citado. Las matrices se encuentran en el anexo 7 de esta investigación. Aunado a eso, se usó una escala de colores propuesta por el autor del método citado, para facilitar la identificación de la magnitud de los impactos dependiendo su valor como se muestra en el cuadro 9.17.

Cuadro 9.17 Categorización por color de los impactos de acuerdo a su magnitud. Recuperado y adaptado de Díaz (2010) que cita a Fernández-Vitoria (2019).

Tipo de impacto	Valor	Descripción
Crítico.	$I > 75$	Con este se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales.
Severo.	$75 \leq I \leq 50$	Efecto en el que la recuperación de las condiciones del medio exige la adecuación de medidas correctivas o protectoras.

Moderado.	$50 \leq I \leq 25$	Efecto cuya recuperación no precisa prácticas correctivas o protectoras intensivas.
Irrelevante.	$I < 25$	El impacto que se produce en el factor no causa afectaciones considerables.
Nulo.	Impactos positivos.	Son benéficos tanto para el ambiente como para la población.

Nota: Recuperado y adaptado de Díaz (2010) que cita a Fernández-Vitoria. (2019).

Análisis de interacciones e impacto ambiental

En los estudios de Impacto ambiental el análisis de interacciones permite identificar los FARI más susceptibles y desarrollar estrategias de remediación o mitigación. Para efectos de esta investigación, se determinó que método y tipo de riego es más eficiente y causa un menor impacto negativo al ambiente y la población, identificando las interacciones de los componentes más afectados.

CAPÍTULO X. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Rendimiento de los cultivos en relación al tipo de riego

Como se mencionó, se recuperaron los rendimientos calculados del estudio inédito Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014), a fin de dar validez a la hipótesis «La rentabilidad de los cultivos se incrementa y el impacto ambiental disminuye cuando se sustituye el agua residual por tratada». En conformidad con esta, se encontró que la calidad del agua fue un factor determinante para el desarrollo del maíz y se destaca la importancia que implica la tecnificación de riego. Dicho lo anterior, la parcela con el rendimiento más alto fue la 1; en contraposición, la parcela 3 que presento el rendimiento más bajo, con una diferencia de 7.582 Ton/Ha. Dichas afirmaciones se ven reflejadas en el cuadro 10.1.

Cuadro 10.1 Rendimiento de las parcelas demostrativas. Elaboración propia.

Parcela	Variable	Rendimiento en Ton/Ha
1	Riego por goteo con AT con fertilizante	13.67
2	Riego por goteo con AT sin fertilizante	9.16

Para la segunda hipótesis que, a la letra dice: «Al implementar un plan de riego, se incrementa la productividad y se diversifican los cultivos que pueden ser sembrados en el Valle del Mezquital», se observó que al sustituir AR por AT se puede cambiar el método de riego y se puede sembrar cultivos no restringidos (debido a la eliminación de la turbiedad, los sólidos suspendidos y la disminución de los componentes patógenos; por efecto del tratamiento de aguas residuales, evitando el deterioro y mal funcionamiento de los equipos por causa de los contaminantes), por lo que al comparar la parcela 2 y 3 se presentó una diferencia de 3.07 Ton/Ha.

En el mismo orden de ideas, se buscó demostrar la importancia de la adición de fertilizantes y como estos al ser aplicados correctamente mejoran la productividad de los cultivos y generan un menor impacto ambiental. Dicho esto, la diferencia del rendimiento entre las parcelas 1 y 2 fue de 4.5 Ton/Ha, con la única diferencia de que la 1 fue fertilizada con nitrógeno en sulfato de amonio. La comparación de rendimientos de las parcelas se puede apreciar en la figura 10.1.

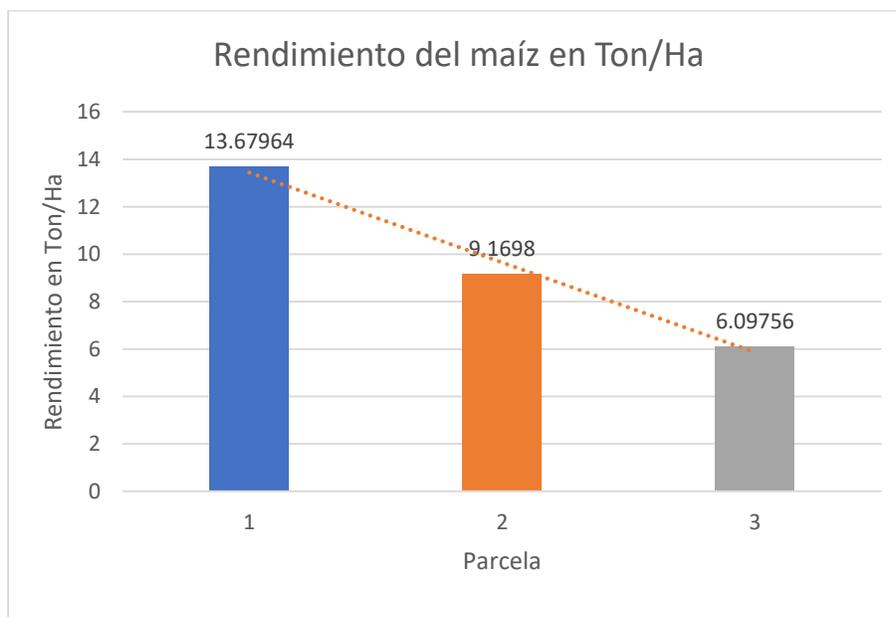


Figura 10.1 Rendimiento del cultivo del maíz en Toneladas por Hectárea del experimento realizado en las parcelas demostrativas. Nota: En la figura se muestra la comparación de los rendimientos obtenidos en las parcelas demostrativas resultado del experimento de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

Interacciones de impacto ambiental

El impacto ambiental juega un papel importante al evaluar la rentabilidad del AT como alternativa de riego ante el AR, debido a que al calcular la importancia de los impactos en cada uno de los componentes FARI se pueden identificar las interacciones positivas o negativas más relevantes de cada una de las actividades o procesos realizados para la obtención de los cultivos. Dicho lo anterior, se realizó el análisis de las EIA.

Impacto ambiental en las parcelas.

La parcela 3 fue la que presento mayores afectaciones en los diferentes componentes evaluados, destacando el físico con el mayor impacto negativo; principalmente en la estructura del suelo. En el mismo orden de ideas, se hace notar que a pesar de que el componente socio-cultural resulto positivo, es el más bajo en las tres parcelas debido a los riesgos hacia la población, representados en la matriz como los subcomponentes denominados

- Población Salud y bienestar.
- Alteración del bienestar comunitario.
- Salud y seguridad de los trabajadores.

Estos, a su vez, son los que representan más variación en las interacciones al sustituir la calidad del agua, debido a la eliminación de los elementos tóxicos y patógenos durante el tratamiento de las AR. Por otro lado, la parcela 1 tuvo menor importancia de impacto ambiental total, el componente más afectado fue el físico, resaltando el subcomponente

denominado «Tasa de erosión» en contraposición con el socio-cultural, que tuvo únicamente impactos positivos tal y como se muestra en la tabla 10.2.

Cuadro 10.2 Importancia de impactos por componentes de las parcelas demostrativas.
Elaboración propia.

Parcela	Escenario	Componente del ambiente	Impacto por componente	ΣT	Subcomponente más afectado de forma negativa	Subcomponente más afectado de forma positiva
1	Riego por goteo con AT con fertilizante	Físico	-921	-649	Tasa de erosión (suelo)	Consumo (agua)
		Biológico	-484		Estructura (flora)	No se presentaron impactos positivos
		Socio-cultural	756		No se presentaron impactos negativos	Incremento económico para la población o el agricultor
2	Riego por goteo con AT sin fertilizante	Físico	-828	-699	Tasa de erosión	Consumo (agua)
		Biológico	-614		Estructura (flora)	No se presentaron impactos positivos
		Socio-cultural	743		No se presentaron impactos negativos	Incremento económico para la población o el agricultor
3	Riego convencional con AR sin fertilizante	Físico	-1961	-2487	Estructura (suelo)	Consumo (agua)
		Biológico	-600		Estructura (flora)	No se presentaron impactos positivos
		Socio-cultural	74		Salud y seguridad de los trabajadores	Incremento económico para la población o el agricultor

Impactos perjudiciales y benéficos.

Se cuantificó la cantidad de efectos positivos y negativos que tuvieron los FARI en cada parcela, con la finalidad de demostrar las diferencias del tipo de impacto para cada variable (los tres escenarios planteados para las parcelas) lo que permitió identificar la cantidad y tipos de interacciones presentes en los componentes y subcomponentes, esto se ilustra en el cuadro 10.3.

Cuadro 10.3 Interacciones de impacto ambiental presentes en los FARI.

Componente	Parcela 1 Impactos				Parcela 2 Impactos				Parcela 3 Impactos				
	+	-	%		+	-	%		+	-	%		
Físico	Suelo	0	31	0.0	100.0	0	29	0.0	100.0	0	33	0.0	100.0
	Atmosfera	0	12	0.0	100.0	0	11	0.0	100.0	0	15	0.0	100.0
	Agua	6	9	40.0	60.0	6	8	42.9	57.1	2	14	12.5	87.5
	Paisaje	3	0	100.0	0.0	3	0	100.0	0.0	1	2	33.3	66.7
Biológico	Flora	2	10	16.7	83.3	1	10	9.1	90.9	0	10	0.0	100.0
	Fauna	3	10	23.1	76.9	1	10	9.1	90.9	1	10	9.1	90.9
Socio-cultural	Población	18	0	100.0	0.0	18	0	100.0	0.0	16	2	88.9	11.1
	Riesgo												
	laboral	4	0	100.0	0.0	4	0	100.0	0.0	0	4	0.0	100.0
	(agricultores)												
Territorio	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	
Cultura	6	0	100.0	0.0	6	0	100	0	6	0	100.0	0.0	

La parcela 1 presento más interacciones positivas en el componente socio-cultural debido a que las actividades agrícolas son fuentes de empleo e ingresos. Aunado a esto, la sustitución de AT por AR para riego mejora la calidad de vida de los trabajadores y pobladores porque los procesos de tratamiento eliminan o disminuyen de forma considerable los coliformes fecales y la presencia de huevos de helmintos. La mayor cantidad de interacciones negativas de esta parcela se presentó en el componente físico, específicamente en el subcomponente de suelo debido a las actividades productivas en agricultura.

En la parcela 2, las interacciones fueron similares a la 1 debido a que la única variación fue la falta de adición del fertilizante. A pesar de que la cantidad de interacciones fue

menor, la magnitud de estas fue mayor, situación que se refleja en el impacto negativo total determinado en esta parcela, que resulto mayor que en la 1, enmarcando la importancia de la fertilización como medida de mitigación de impacto ambiental y como mejorador de la productividad.

La parcela 3 obtuvo la mayor cantidad de interacciones positivas en el componente socio-cultural, debido a la generación de empleos y consumo local por consecuencia de las actividades productivas, la venta de materiales, alimentos e insumos; pero la mayoría de sus interacciones fueron negativas, destacando principalmente en el componente físico, esto por las afectaciones ambientales que tiene el uso de aguas negras.

Se identificaron las interacciones positivas y negativas para cada uno de los procesos productivos en las parcelas demostrativas (ASPI) con la finalidad de identificar en cuál de estos existe mayor incidencia de generar impactos al ambiente. Se observó que, durante la fase de preparación de los terrenos se generaron la mayoría de las interacciones, tal y como se muestra en el cuadro 10.4.

Cuadro 10.4 Cuantificación de las interacciones en las fases del proyecto (ASPI) para cada una de las parcelas. Elaboración propia.

Fases de proyecto (ASPI)	Parcela 1 Impactos				Parcela 2 Impactos				Parcela 3 Impactos			
	+	-	%		+	-	%		+	-	%	
Preparación de terreno	20	34	37.0	63.0	20	34	37.0	63.0	14	45	23.7	76.3
Operación y mantenimiento	18	33	35.3	64.7	13	6	68.4	31.6	7	40	14.9	85.1
Cierre de ciclo	2	3	40.0	60.0	2	3	40.0	60.0	2	3	40.0	60.0
Actividades complementarias	3	2	60.0	40.0	3	2	60.0	40.0	3	2	60.0	40.0

Los impactos negativos más grandes pertenecientes a la parcela 1 se presentaron en los subcomponentes respectivos a la «tasa de erosión», «aportación de elementos potencialmente tóxicos» al suelo y a la «estructura» de la flora, mientras que el mayor impacto positivo correspondió al subcomponente socio-cultural «riesgo laboral para los

agricultores» debido a que, al sustituir el AR por AT para riego, el personal no entra en contacto con los elementos tóxicos y patógenos que contiene el primer tipo de agua. La parcela 2 presento los mismos valores que la 1 debido a que, como se mencionó, la única variación fue la falta de adición de fertilizante. Por otro lado, los impactos negativos más representativos en la parcela 3 se dieron durante las actividades de riego, en los FARI concernientes a la «contaminación de cuerpos de agua» y «salud y seguridad de los trabajadores». Estas afirmaciones se muestran en los cuadros 10.5 y 10.6

Cuadro 10.5 Máximo impacto positivo para cada parcela. Elaboración propia.

Máximo impacto positivo			
Parcela	importancia	FARI al que pertenece	ASFI al que pertenece
1	64	Riesgo laboral (agricultores)	Riego por goteo
2	64	Riesgo laboral (agricultores)	Riego por goteo
3	55	Consumo de agua	Riego con aguas residuales

Cuadro 10.6 Máximo impacto negativo para cada parcela. Elaboración propia.

Máximo impacto negativo			
Parcela	importancia	FARI al que pertenece	ASFI al que pertenece
1	64	Contaminación de cuerpos de agua	Riego por goteo
2	64	Salud y seguridad de los trabajadores	Riego por goteo
3	55	<ul style="list-style-type: none"> • Taza de erosión • Aportación de elementos potencialmente tóxicos (suelo) • Estructura (flora) 	Manejo de plagas y enfermedades con fungicidas e insecticidas

Relación entre rendimiento e impacto ambiental.

Se comparó el rendimiento que se obtuvo durante el experimento de la investigación inédita citada y el análisis de impacto ambiental, considerando la superficie delimitada y las actividades agrícolas realizadas en el VM. Con los valores obtenidos se construyeron graficas con la finalidad de observar y comparar el rendimiento del cultivo del maíz y el

impacto ambiental en las parcelas demostrativas, tal y como se observa en las figuras 10.2 y 10.3.

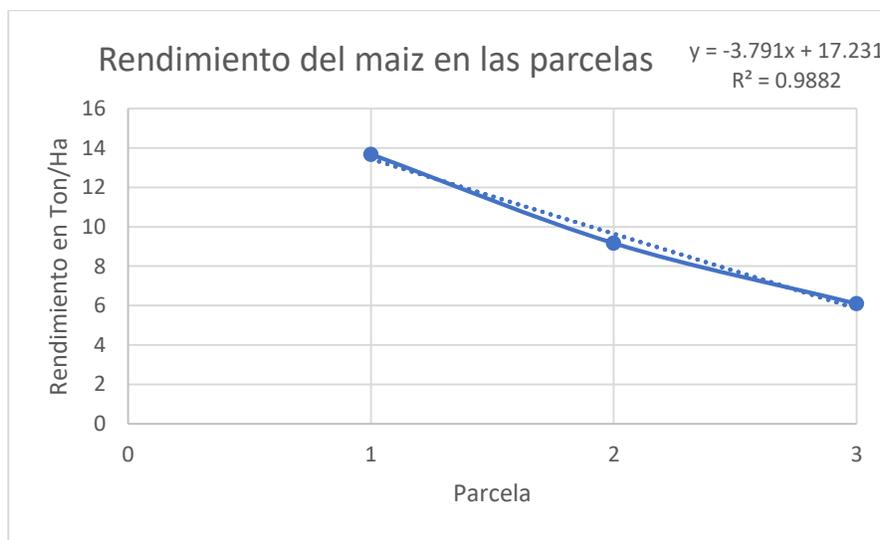


Figura 10.2 Rendimiento del maíz en las parcelas demostrativa. Nota: En la figura se muestran los rendimientos obtenidos en las parcelas demostrativas resultado del experimento de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

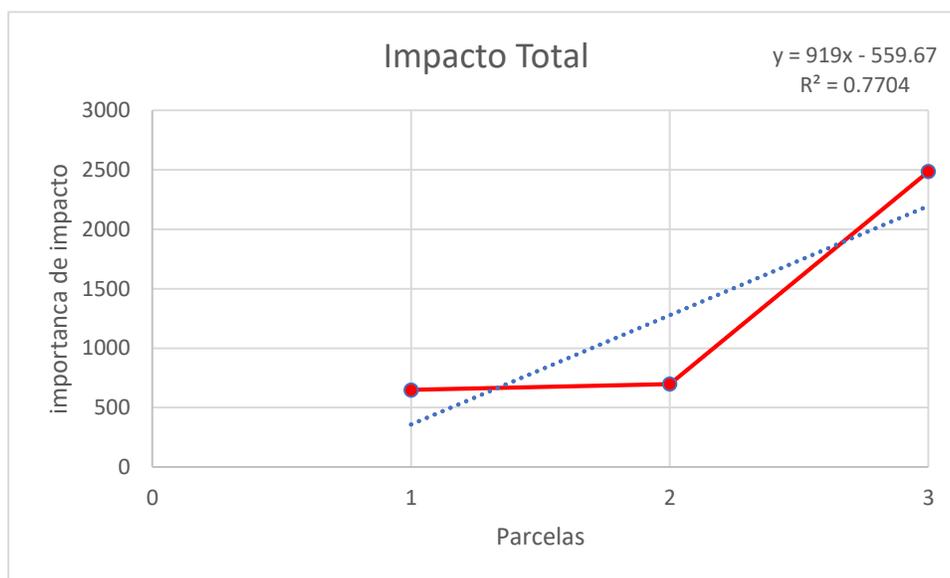


Figura 10.3 Impacto Ambiental Total calculado en cada una de las parcelas. Nota: En la figura se muestra el gráfico comparativo de los impactos totales obtenidos en cada una de las parcelas. Elaboración propia.

El rendimiento más bajo se presentó en la parcela 3 debido a la falta de tecnificación y al uso de AR en el riego. En el mismo orden de ideas, a pesar de que la parcela 1 y la 2 fueros regadas con AT por goteo, la fertilización jugo un papel importante en la primera, teniendo está el mejor rendimiento. El impacto ambiental negativo en la parcela 1 fue ligeramente menor que en la 2, obviando el hecho de que a pesar de que la fertilización produce más interacciones negativas en los componentes FARI, se compensa con las positivas reduciendo sus afectaciones al ambiente. Sin embargo, el impacto de la parcela 3 se eleva aproximadamente un 370% de la media de las dos primeras, debido al riego con AR. Dicho lo anterior, existe una relación significativa entre el rendimiento y los impactos obtenidos con el tipo de riego y agua usada.

Coliformes fecales y Huevos de helmintos en los tipos de agua usadas para riego en el VM

La presencia de coliformes fecales y huevos de helmintos en los cuerpos de agua son indicadores de riesgo debido a la presencia de elementos patógenos, por lo que la

Normatividad Oficial Mexicana establece límites máximos permisibles (LMP) en las descargas de AR. Para usos de esta investigación, se obtuvieron muestras de AR del canal el Salto-Tlamaco, antes y después de entrar a tratamiento en la PTAR paquete y de la PTAR de Atotonilco. Los valores de los parámetros evaluados concernientes a los indicadores de organismos patógenos se muestran en las tablas 10.7 y 10.8

Cuadro 10.7 Organismos patógenos en el AR usada para riego del Canal el Salto-Tlamaco. Elaboración propia con ayuda de datos proporcionados por la PTAR de Atotonilco.

Agua Residual sin tratar		Estiaje			Lluvias		
Parámetro	Unidad	Promedio Estacional	Promedio Máximo Mensual	Promedio Máximo Diario	Promedio Estacional	Promedio Máximo Mensual	Promedio Máximo Diario
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	60000000	44600000	200000000	100000000	1000000000	2500000000
Huevos de Helminto	H/L	2.5	3	4	4	5	6.5

Cuadro 10.8 Organismos patógenos en las AT muestreadas.

Agua tratada			
Parámetro	Unidad	Promedio mensual	Promedio diario
	NMP/100		
Coliformes Fecales	mL	1000	2000
Huevos de Helminto	H/L	1	3

Los valores de coliformes fecales contenidos en el AR usada para riego en la zona de estudio sobrepasan por mucho los LMP estipulados por la NOM-001-SEMARNAT-1996 que a la letra dice:

El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente. (SEMARNAT, 1996).

Los huevos de helmintos se mantuvieron por debajo de los LMP durante la temporada de estiaje, mientras que en la de lluvia el promedio máximo diario superó el límite permitido por la norma citada, que de acuerdo con SEMARNAT (1996) en su apartado referente a la determinación de paracitos, establece que el valor máximo de huevos de helminto por litro es de uno para el caso de riego restringido y de cinco para el no restringido.

Durante los procesos de tratamiento, tanto en la planta paquete como en la PTAR de Atotonilco, se eliminaron la mayoría de los organismos patógenos (coliformes fecales y huevos de helmintos), esto de acuerdo con los parámetros de calidad del agua proporcionados por la PTAR de Atotonilco como se muestra en el anexo 9. Por lo que el AT presentó parámetros aceptados por la normatividad, permitiendo incluso la posibilidad de transitar a cultivos de riego restringido y reducir el impacto negativo hacia la población y los agricultores.

CAPÍTULO XI. DISCUSIÓN.

Con base en el análisis de los resultados y considerando los ejes planteados para cada escenario, se destaca que la parcela 1 presentó el mejor rendimiento de las tres y tuvo el impacto ambiental más bajo debido a diversos factores como, la fertilización, que jugó un papel importante en el desarrollo del maíz y generó más impactos positivos que en la parcela 2. Dichos impactos positivos se centraron principalmente en el componente socio-cultural, considerando que a mayor rendimiento mejores ingresos y de igual manera se abre la puerta a la posibilidad del desarrollo de empresas distribuidoras y productoras de insumos agrícolas que podrían generar empleos y entradas de capital a la región.

Se observó que el impacto ambiental negativo al usar AR en la parcela 3 para cubrir las necesidades hídricas del cultivo (maíz) fue cuatro veces mayor que al usar AT y durante las evaluaciones de impacto las interacciones más representativas se presentaron

durante las actividades de riego incidiendo mayormente en los componentes ambientales físicos y socio-culturales, donde se destacó que:

- La capa arable del suelo en contacto AR contiene metales potencialmente tóxicos, aunque debido a la capacidad amortiguadora del suelo sus niveles no se consideran de riesgo de acuerdo con los parámetros establecidos por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.
- A pesar de que los suelos de la zona delimitada no presentaron problemas de salinidad o sodicidad, de acuerdo con Pérez et al. (2019), el continuar con estas prácticas de riego representa un riesgo latente y a la larga pueden generarse este tipo de problemas, por lo que se consideró dentro del análisis de impacto ambiental.
- Tomando en cuenta que la superficie delimitada para el EIA ya se encontraba fuertemente impactada por el uso de las AR, para usos de esta investigación, se tomaron los subcomponentes del agua como interacciones susceptibles cuantificadas debido al riesgo que representan estas prácticas agrícolas y considerando el uso de AT como medida correctiva o de mitigación.
- Dentro del componente socio-cultural, los principales subcomponentes afectados por el riego con AR fueron «salud y bienestar de la población», «salud y seguridad de los trabajadores (agricultores)» y «alteración del bienestar comunitario» debido a la cercanía de la zona urbana San José Acoculco a los canales con AR; al riesgo de los agricultores y sus familias al estar en contacto directo con el tipo de agua en cuestión; así como a la presencia de contaminantes, olores y plagas que han producido incomodidad en la población.

Como se mencionó, el tratamiento de agua residual no solo permite el uso de riego por goteo, también adecúa el recurso hídrico mediante la eliminación de patógenos para su uso en cultivos restringidos de acuerdo con los lineamientos presentes en la NOM-001-SEMARNAT-1996, de este modo permite la diversificación de estos. Además, de acuerdo con los resultados, reduce de forma considerable el impacto ambiental y aumenta la productividad.

Las evaluaciones de impacto ambiental no sólo se realizaron pensando en las parcelas demostrativas, estas se proyectaron considerando que dichos procesos son los que se realizan constantemente durante los ciclos agrícolas en el VM por lo que los ASPI se propusieron dentro de esa premisa. En el mismo orden de ideas, los estudios de suelo y agua fungieron como material de consulta e interpretación para cuantificar la importancia determinada a partir de la ecuación de Fernández-Vitoria (2019).

CAPÍTULO XII. CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo general planteado en esta investigación mediante la evaluación del rendimiento y el impacto ambiental para cada escenario de riego propuesto en el experimento referenciado. De acuerdo con lo anterior, se comprobó, mediante el uso de parcelas demostrativas, que la calidad del agua y el tipo de riego implementado afectan de forma importante al rendimiento de los cultivos. Así mismo, se destaca que las variaciones de la importancia del impacto ambiental radican principalmente en las interacciones entre las actividades de riego y los componentes socio-culturales y físicos.

Dicho lo anterior se observó que, al sustituir el AR por AT para las actividades de riego, se reducen en gran medida los patógenos, por lo que se pueden sembrar cultivos restringidos en lugar de no restringidos permitiendo la diversificación de la siembra; se reduce o nulifica los riegos sanitarios de los agricultores y pobladores que están en contacto directo o parcial con las aguas negras mejorando su calidad de vida; evita la acumulación de contaminantes en la capa arable que a la larga pueden generar problemas de fertilidad en los suelos; se reduce la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos; elimina los malos olores y la liberación de gases de efecto invernadero como el metano y los óxidos de nitrógeno. Así mismo, mejora de forma considerable el rendimiento de los cultivos sembrados un 50% al usar AT con riego tecnificado y 124.46% si además se usan fertilizantes; situación que refuerza el hecho de que el AR regada por métodos convencionales no permite alcanzar la máxima productividad; cabe resaltar que mediante los estudios de impacto ambiental se determinó que al usar AT (con fertilizante o sin fertilizante) se reduce el impacto en un 369%.

En el marco de las ideas el uso de AT en las actividades agrícolas del VM es una medida correctiva o de mitigación importante, que además de reducir los efectos negativos al ambiente y a la población, permitirá la tecnificación de los sistemas de riego; por lo que el uso del AT proveniente de la PTAR de Atotonilco propone una alternativa rentable para

los agricultores. Sin embargo, se requiere de extenso trabajo social, multidisciplinario y transversal con la finalidad de demostrar y dar a conocer las implicaciones y beneficios resultantes de cambiar el AR por AT.

De acuerdo con lo anterior se hace la aclaración de que el área delimitada para los análisis de impacto ambiental y las parcelas demostrativas no es representativa para todo el VM debido a la gran extensión de este, los diferentes usos de suelo y las distintas condiciones edáficas, socio-culturales y bióticas existentes en el mismo, por lo que se recomienda analizar la capacidad productiva y el impacto ambiental de cada región dentro de las zonas agrícolas de hidalgo al usar el AT como alternativa de riego. Sumado a lo anterior, a medida que se vaya sustituyendo el AR por AT, es necesario considerar la tecnificación de riego y la fertilización, debido a que como se demostró se puede duplicar el rendimiento de los cultivos en contraste con los métodos convencionales de riego usados por más de 100 años en el VM.

CAPÍTULO XIII. REFERENCIAS

ÁLVAREZ, S. M; Barrado. E. E; Lucho. C. C; Prieto. G. F, (2007). Caracterización fisicoquímica y extracción secuencial de metales y elementos trazas en suelos de la región Actopan-Ixmiquilpan del Distrito de Riego 03, Valle del Mezquital, Hidalgo. *Ciencia Ergo sum*, Vol. 14. Toluca.

AMVAC. (2020). «Hoja de datos de seguridad (HDS) de Ambush® 50». AMVAC S. de R.L de C.V. Versión 001. Consultado el 27 de septiembre de 2020. México. Recuperado de: <https://www.amvac.com.mx/productos/ambush-50-ce>

ATOTONILCO de Tula, HI, MX. (s. f.). *Naturalista*. Recuperado 24 de junio de 2020, Recuperado de <https://www.naturalista.mx/places/atotonilco-de-tula>

LA JORNADA (2017). «Campesinos del Valle del Mezquital insisten en usar aguas residuales». *La jornada*. Consultado el 24 de marzo. México.

Recuperado de <https://lajornadasanluis.com.mx/ultimas-publicaciones/campesinos-del-valle-del-mezquital-insisten-usar-aguas-residuales/>

BELLO, J.; Contreras. C. y Rodríguez. J. (2016). *Planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco*. MA: Zonfoss Program for Sustainable infrastructure Graduate. School of Design, Harvard University. Cambridge.

CALVO, A. (2020). «Rendimiento de cultivos por hectárea: cómo calcularlo». *Agroptima*.

Recuperado de <https://www.agroptima.com/es/blog/rendimiento-cultivos-hectarea-calcular/>

CAVIEDES. R. D., Muñoz. C. R., Perdomo. G. A., Rodríguez. A. D., Sandoval. R. I. (2015). «Tratamientos para la Remoción de metales Pesados Comúnmente Presentes en aguas industriales, Una revisión». *Revista Ingeniería y Región*. Vol. 13 (1). Neiva.

CESPT. (2009). «Tipos de agua». *Cuidaelagua.org*.

Consultado el 12 de mayo de 2020.

Recuperado

de

<http://www.cuidoelagua.org/empapate/origendelagua/tiposagua.html>

CISNEROS. E. O; Saucedo. H. R. (2016). «Rehúso de aguas residuales en la agricultura. Instituto mexicano de tecnología del agua». Coordinación de riego y drenaje. Jiutepec Morelos.

CLIMATE-DATA.ORG. (s.f). (2020) «Tula de Allende Clima». México.

Consultado el 17 de junio de 2020.

Recuperado de: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/hidalgo/tula-de-allende-45563/#:~:text=El%20clima%20aqu%C3%AD%20se%20clasifica,de%20584%20mm%20al%20a%C3%B1o>.

CONAGUA. (s.f). (2020) «Planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco». Gobierno Federal. México.

Consultado el 30 de marzo de 2020. Recuperado de: www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-19-11.pdf

CONAGUA. (2010). «Manifiesto de Impacto Ambiental, modalidad particular (incluye actividad altamente riesgosa) “Construcción y Operación del Proyecto denominado La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR Atotonilco”». México.

CONAGUA (2015). «Estadísticas agrícolas de los Distritos de Riego (periodo consultado 2002-2015)». México.

Recuperado de www.conagua.gob.mx

CONAGUA. (2018). Estadísticas de Agua en México, edición 2018. Recuperado de: http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf

CONSEJO ESTATAL DE POBLACIÓN. (s.f). «Perfiles Sociodemográficos Municipales. Atotonilco de Tula. Estado libre y Soberano de Hidalgo». Tula. Consultado el 14 de julio de 2020.

Recuperado de http://poblacion.hidalgo.gob.mx/pdf/perfiles/pp_municipios-Atotonilco%20de%20Tula.pdf

CRUZ, S. A. (2011). «Escasez de aguas negras incuba conflicto en Valle del Mezquital». La Jornada. México.

Consultado el 22 de marzo de 2020.

Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/2011/05/29/estados/027n1est>

CUENCA. A. (2010). La Cloaca de México. El universal. México.

Consultado el 27 de marzo de 2020.

Recuperado de <https://archivo.eluniversal.com.mx/nacion/175506.html>

DÍAZ GRANDA, L. (2010). *Estudio de impacto ambiental producido en la granja agrícola «El Romeral»*. Tesis previa a la obtención del título de Máster en Gestión Ambiental para Industrias de Producción y Servicios. Facultad de Ciencias Químicas. Cuenca.

DEMINA. P. E. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Métodos de riego, fundamentos, usos y adaptaciones. INTA. 1ra edición.

DUEÑAS, M. J, Menéndez. G. C. (2018). «Los procesos biológicos de tratamientos de aguas residuales desde una visión no convencional. Ingeniería hidráulica y ambiental». Vol 39 (3).

DUPPNT (2019). «Ficha de datos de seguridad de Accent®L. Versión 001». Consultado el 27/09/2020.

Recuperado de <https://www.corteva.mx/productos-y-soluciones/proteccion-de-cultivos/accent-l.html>

FCEA. (2017). «¿Qué es el agua?» Agua.org.

Recuperado de <https://agua.org.mx/que-es/>

FERNÁNDEZ, C. A. (2012). «El agua un recurso esencial». Química viva. Vol II (3).

FERNÁNDEZ-VITORIA, C. V. (2019). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. EDICIONES MUNDI-PRENSA.

FMC. (2005). «Hoja de seguridad de materiales de ARRIVO® CE. Número de revisión 2».

Consultado el 28/09/2020.

Recuperado de
<http://dunemexicali.com.mx/archivos/AGROQUIMICOS/PROTECCION%20DE%20CULTIVOS/CONVENCIONALES/INSECTICIDAS/FMC/ARRIVO%20200CE/ARRIVO%20200CE%20HS.pdf>

GARCÍA G. J. (2001). «La agricultura y el Riego con aguas negras». *Economía y sociedad*. Año VI. No. 10.

GARCÍA, S. E. M. (2019). «El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México». *Estudios Sociales, Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. Vol. 29 (54).

GESAPRIM® Calibre 90. (2017). «Ficha técnica de Gesaprim® Calibre 90». Syngenta. Consultada el 26 de junio de 2020. Recuperado de:
<https://www.syngenta.com.mx/product/crop-protection/herbicide/gesaprimr-calibre-90-gda>

GONZÁLEZ S; Lizárraga. M; Rangel. M. Y. (2013). *Visita a la Planta de tratamientos de aguas residuales de Atotonilco de Tula, Hidalgo*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca.

GOOGLE. (s.f). [Mapa Atotonilco, México en Google Maps].

Consultado el 14 de junio de 2020.

Recuperado de
<https://www.google.com/maps/place/Atotonilco+de+Tula,+Hgo./@20.0081827,-99.2393686,14z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x85d22a3a65c612a5:0xc828bf35b455113c!8m2!3d20.0096889!4d-99.2203687>

GOOGLE. (s.f) [Mapa de san José Acoculco, México en Google maps].

Consultado 14 de junio de 2020.

Recuperado de <https://www.google.com/maps/@19.9676874,-99.3105887,4291m/data=!3m1!1e3>

H. Ayuntamiento Municipal Constitucional de Atotonilco de Tula, Hidalgo. (2008). «Programa municipal de desarrollo urbano Atotonilco de Tula, Hidalgo». Consultado 18 de junio de 2020.

Recuperado de <http://www.atotonilcodetula.gob.mx/descargables/transparencia/70/PlandeDesarrolloUrbanodeAtotonilco/programadedesarrollourbanoatotonilco.pdf>

HIDROAR. S. A. (s.f). «Metodología para el cálculo de las matrices Ambientales. Sistemas Hidrológicos y Ambientales».

Consultado 24 de agosto del 2020.

Recuperado de <http://www.chubut.gov.ar/portal/wp-organismos/ambiente/wp-content/uploads/sites/8/2015/01/Metodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>

HERNÁNDEZ. A. E. (2011). Uso de aguas residuales en la agricultura. Estudio de caso; Distrito de riego 028. Tulancingo, Hidalgo, México. Universidad Autónoma Chapingo. México.

HERNÁNDEZ. S, Baptista. L. M, Fernández. C. C. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta edición. México. McGraw Hill.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Atotonilco de Tula Hidalgo.

Recuperado de http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13013.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). Comunicado de Prensa Núm.127/17. Aguas Calientes, México.

Recuperado de http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2017/agua2017_Nal.pdf,

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f). Uso de suelo y vegetación. Consultado el 12 de mayo de 2020.

Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/default.html#Metadatos>

KUMAR, P., Ramalingam, S., Sathyaselvabala, V., Kirupha, S., Murugesan, A., Sivanesan, S., (2012). Removal of Cd(II) from aqueous solution by agricultural waste cashew nut shell. Korean J. Chemical. Engineering. 29, 756-768.

LEAL, B. G. (2015). Modelo de simulación matemática para el análisis integral del sistema principal de drenaje de la ZMVM. Colegio de Ingenieros Civiles de México A.C. Grupo Perspectiva México 2030.

Recuperado de <https://docplayer.es/10269845-Modelo-de-simulacion-matematica-para-el-analisis-integral-del-sistema-principal-de-drenaje-de-la-zmvm-ing-guillermo-leal-baez.html>

MARVEL. (2017). Ficha técnica del producto Marvel® herbicida. Syngenta. Versión 001. Consultado el 27 de septiembre de 2020.

Recuperado de <https://www.syngenta.com.mx/sites/g/files/zhg501/f/media/2019/09/09/marvel.pdf?token=1568055576>

MONDRAGÓN. B. L; Fournier. P. G; (2012). «Tepetitlán; Historia socio-ambiental de una comunidad Otomí del Valle del Mezquital». Revista de investigación en ciencias sociales y humanidades, nueva época, Vol. 1 (2).

NATURALISTA. (s. f.). «Atotonicoco de Tula, Hidalgo, México». Naturalista.

Consultado el 18 de junio de 2020.

Recuperado de <https://www.naturalista.mx/places/atotonilco-de-tula#taxon=47126>

NGUYEN, T; Ngo, H; Guo, W; Zhang, J; Liang, S; Yue, Q; Li, Q; Nguyen, T; (2013). «Applicability of agricultural waste and by-products for adsorptive removal of heavy metals from wastewater». *Bioresource Technology*. 148, 574-585.

NMX-AA-003. (1980). Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales-Muestreo. Diario Oficial de Federación.

Consultado el 20 de mayo de 2019.

Recuperado de <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa003.pdf>.

NOYOLA, A; Morgan. S. J; Güereca. L. (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. UNAM. México.

NÚÑEZ, G, A. (2015). Caracterización de la problemática de las aguas residuales en Ixmiquilpan Hidalgo. Tesis de Licenciatura en Geografía Humana. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. México

PALACIOS, V. E. (2002). ¿Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar? Para lograr mejores cosechas. Trillas. México.

PÉREZ, D. J; Flores. M. H; Ortega. E; Ramírez. A. C; Sánchez. B. E; Can. C. A; Mancilla. V. O. (2019). «Evaluación de la calidad del agua residual para el riego agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo». *Acta Universitaria*. Vol 29.

PTOLOMEO. (s.f). «La construcción de Túneles en el Valle de México para el desalojo de aguas pluviales y residuales». UNAM. Facultad de ingeniería. México.

Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/403/A4.pdf?sequence=4>

PULIDO. M. L. (2017). «Riego con aguas residuales para depuración de contaminantes». *H2O Gestión. Del agua*. Vol. 12 (4) pp 14-15.

s.a. (2020). Atotonilco Wastewater treatment Project. *Water technology*.

Consultado el 31 de marzo del 2020.

Recuperado de <https://www.water-technology.net/projects/atotonilcowastewater/>

SÁNCHEZ H; Hernández. A; Acevedo, D. (2013). «Caracterización de suelos regados con aguas residuales para establecer un sistema agroforestal». Revista mexicana de ciencias agrícolas. Vol. 4. No. 5.

SÁNCHEZ, A. (2019). «Cultivan maíz y frijol con aguas negras en Valle del Mezquital. El sol». El sol de Hidalgo

Consultado el 17 de marzo de 2020.

Recuperado de <https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/cultivan-maiz-y-frijol-con-aguas-negras-en-valle-del-mezquital-3742534.html>

Secretaria de Salud. (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación 22 de noviembre del 2000.

SEMARNAT. (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que Establece Los Límites Máximos Permisibles De Contaminantes En Las Descargas De Aguas Residuales En Aguas Y Bienes Nacionales. Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.

SEMARNAT. (2003). 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. Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto del 2003.

SEMARNAT. (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación el 23 de abril del 2003.

SEMARNAT. (2002). NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre del 2002.

SEMARNAT. (2007). Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Diario Oficial de la Federación 2 de marzo de 2007.

SEMARNAT & INECC. (2018). Desarrollo de rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) del sector de aguas residuales de México. Mitigación del cambio climático. México.

SEMARNAT. (s.f)a. «El Túnel Emisor Oriente duplicará la capacidad del drenaje profundo del Valle de México». Gobierno Federal.

SEMARNAT. (s.f)b. «Programa de sustentabilidad hídrica de la cuenca del Valle de México». Gobierno Federal.

Consultado el 6 de 2020.

Recuperado de: https://www.riob.org/fr/file/265225/download?token=Hu__MXIC

SIAP. (2017). «Cierre estadístico de la producción agrícola 2017». Gobierno de México. Consultado el 20 de marzo de 2020.

Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/articulos/cierre-estadistico-de-la-produccion-agricola-2017?idiom=es>

SOLÍS F. (2018). «Obra hidráulica del porfiriato sigue en pie y operando en Zumpango». El sol de Toluca. El sol de México.

Consultado el 9 de abril de 2020.

Recuperado de <https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/obra-hidraulica-del-porfiriato-sigue-en-pie-y-operando-en-zumpango-1932942.html>

UNIVEX. S.A. (2019). «Hoja de seguridad del Sulfato de Amonio».

Consultado el 25 de junio de 2020.

Recuperado de https://univexfertilizantes.com/pdf/hoja-seguridad/HDSM-SULFATO-DE-AMONIO-nov2019_UIG.pdf

Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014). Investigación inédita y base de datos para la elaboración del presente proyecto facilitada por los participantes de la misma.

VEGA, O.C. (2017). Problemas Ambientales y de salud derivadas del uso de fertilizantes nitrogenados. Universidad Complutense. Facultad de farmacia.

Consultado el 29 de septiembre de 2020.

Recuperado de <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/CRISTINA%20VEGA%20OLIVA.pdf>

VERA, L., Flores, M., García, N., Uguña, M. F., & Vázquez, V. (2016). «Eliminación de metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente». *AFINIDAD*, 73 (573), 43-49.

Consultado el 15 de marzo de 2020.

Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234336010.pdf>

WEATHER SPARKS. (s.f). «El clima promedio en Tula de Allende».

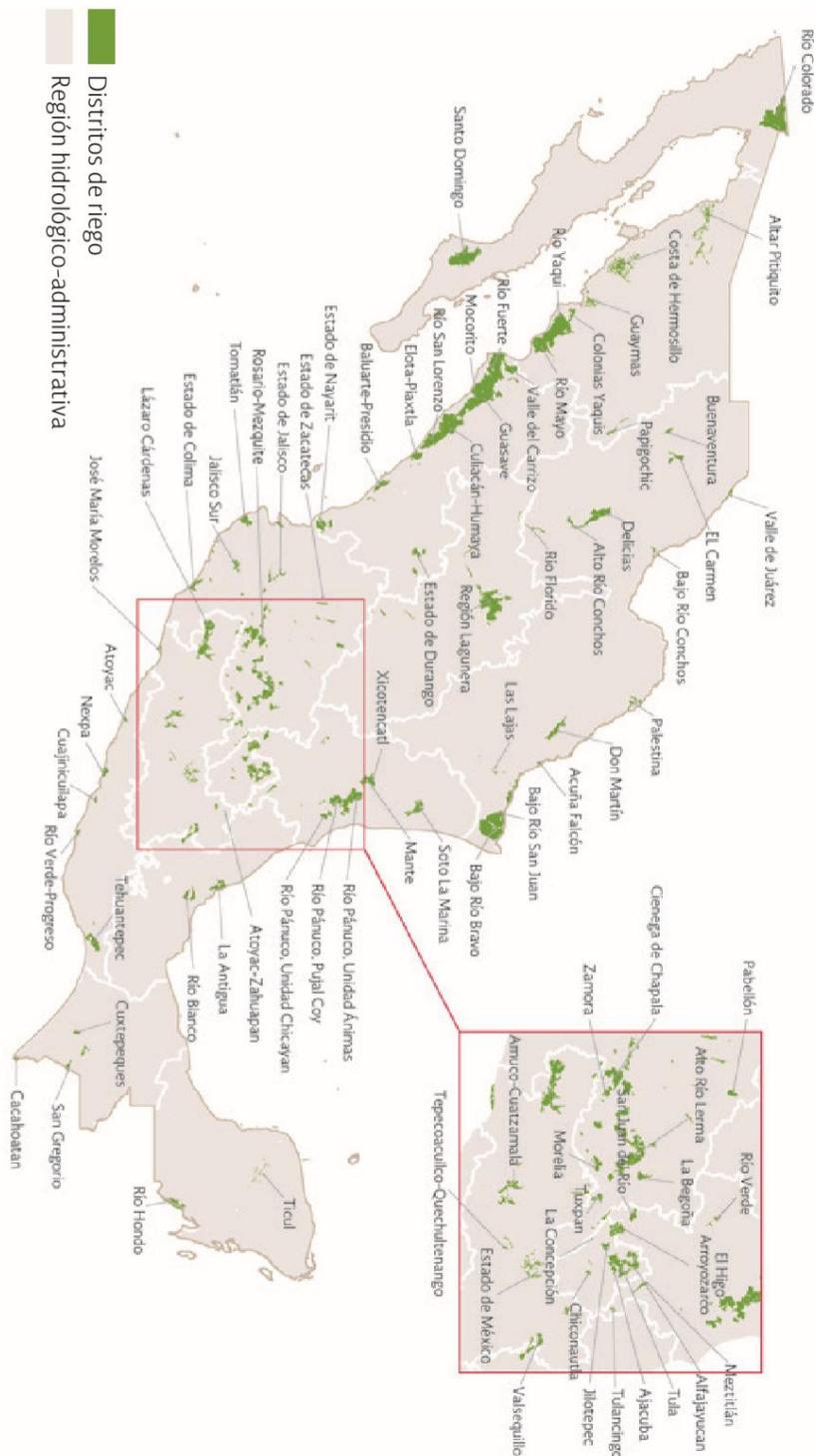
Consultado el 17 de junio de 2020.

Recuperado de <https://es.weatherspark.com/y/6038/Clima-promedio-en-Tula-de-Allende-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Humidity>

WWAP Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. UNESCO. París.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de Distritos de Riego 2015-2016.



Nota. En la figura se muestra la localización de los Distritos de Riego dentro de la República Mexicana. Recuperado de CONAGUA (2018).

Anexo 2. Listado de la flora representativa de Atotonilco de Tula

Nombre común	Nombre científico
Cardenche	<i>Cylindropuntia imbricata</i>
Huizache	<i>Vachellia farnesiana</i>
Heno	<i>Tillandsia usneoides</i>)
Biznaga de Flores Rosadas	<i>Mammillaria rhodantha</i>
Ojo de Gallo	<i>Sanvitalia procumbens</i>
Pirú Sudamericano	<i>Schinus molle</i>
Campanilla Morada	<i>Ipomoea purpurea</i>
Bola Africana del rey	<i>Leonotis nepetifolia</i>
Cardo Santo	<i>Argemone ochroleuca</i>
Nopal Chamacuelo	<i>Opuntia tomentosa</i>
Biznaga de Espina Solitaria	<i>Mammillaria magnimamma</i>
Biznaga Ganchuda	<i>Ferocactus latispinus</i>
Estrellita	<i>Milla biflora</i>
Biznaga Partida de Cuernos	<i>Coryphantha cornifera</i>
Higuerilla del Mediterráneo	<i>Ricinus communis</i>
Sábila	<i>Aloe vera</i>
Tronadora	<i>Tecoma stans</i>
Hierba del Negro	<i>Sphaeralcea angustifolia</i>
Cardón Órgano Parado	<i>Marginatocereus marginatus</i>
Pinillo	<i>Asclepias linaria</i>
Cuernito	<i>Proboscidea louisianica</i>
Zacate Plumoso Africano	<i>Cenchrus longisetus</i>
Sotol Verde	<i>Dasyilirion acrotrichum</i>
Palo Azul	<i>Eysenhardtia polystachya</i>
Flamenquilla	<i>Dyssodia papposa</i>
Granadita	<i>Passiflora subpeltata</i>
Nopal de Espinas Lacias	<i>Opuntia lasiacantha</i>
Gigante	<i>Nyctocereus serpentinus</i>

Nombre común	Nombre científico
Flor de San Juan	<i>Bouvardia longiflora</i>
Diente de León	<i>Taraxacum officinale</i>
Acahual Blanco	<i>Bidens pilosa</i>
Acedera	<i>Oxalis corniculata</i>
Alfombrilla de Campo	<i>Glandularia bipinnatifida</i>
Higuera	<i>Ficus carica</i>
Nopal Cuijo	<i>Opuntia engelmannii</i>
Azumiate	<i>Baccharis salicifolia</i>
Abrojo Europeo	<i>Helminthotheca echioides</i>
Malva de Castilla	<i>Malva parviflora</i>
Toloache	<i>Datura stramonium</i>
Hierba del Susto Africana	<i>Thunbergia alata</i>
Sábila Candelabro	<i>Aloe arborescens</i>
Ayohuiztle	<i>Solanum rostratum</i>
Pasto Africano Rosado	<i>Melinis repens</i>
Trompetilla	<i>Bouvardia ternifolia</i>
Garambullo	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>
Gallito de Monte	<i>Zinnia peruviana</i>
Estrellita	<i>Galinsoga parviflora</i>
Muicle	<i>Justicia spicigera</i>
Lágrima de María	<i>Sedum dendroideum</i>
Tlacote	<i>Salvia mexicana</i>

Nota: Recuperado de INAFED (s.f) y el H. Ayuntamiento Municipal de Atotonilco de Tula.

Anexo 3. Listado de la fauna representativa de Atotonilco de Tula.

Tipo	Nombre Común	Nombre Científico
AVES	Papamoscas	<i>Pyrocephalus rubinus</i>
	Cardenalito	
	Colibrí Pico Ancho	<i>Cynanthus latirostris</i>
	Gorrión Europeo	<i>Passer domesticus</i>
	Capulinerio Gris	<i>Ptiliogonys cinereus</i>
	Pinzón Mexicano	<i>Haemorhous mexicanus</i>
	Paloma Alas Blancas	<i>Zenaida asiatica</i>
	Matraca del Desierto	<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>
	Zopilote Aur	<i>Cathartes aura</i>
	Zanate Mayo	<i>Quiscalus mexicanus</i>
	Chorlo Tildío	<i>Charadrius vociferus</i>
	Rascador Moteado	<i>Pipilo maculatus</i>
	Carpintero Cheje	<i>Melanerpes aurifrons</i>
	Cuitlacoche Pico Curvo	<i>Toxostoma curvirostre</i>
	Capulinerio Negro	<i>Phainopepla nitens</i>
	Colibrí Berilo	<i>Amazilia beryllina</i>
	Colibrí Corona Violeta	<i>Amazilia violiceps</i>
	Gorrión Barba Negra	<i>Spizella atrogularis</i>
	Aguililla Cola Roja	<i>Buteo jamaicensis</i>
	Paloma Turca de Collar	<i>Streptopelia decaocto</i>
	Colibrí Garganta Rubí	<i>Archilochus colubris</i>
	Tortolita Cola Larga	<i>Columbina inca</i>
	Sastrecillo	<i>Psaltriparus minimus</i>
Verdugo Americano	<i>Lanius ludovicianus</i>	
Picogordo Azul	<i>Passerina caerulea</i>	

Tipo	Nombre Común	Nombre Científico
INSECTOS, ARÁCNIDOS Y CRUSTÁCEOS	Papamoscas José María	<i>Contopus pertinax</i>
	Chipe Rabadilla Amarilla	<i>Setophaga coronata</i>
	Cuervo Común	<i>Corvus corax</i>
	Jilguero Dominicano	<i>Spinus psaltria</i>
	Pelícano Blanco Americano	<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>
	Saltapared Cola Larga	<i>Thryomanes bewickii</i>
	Chipe Corona Naranja	<i>Leiothlypis celata</i>
	Chipe Corona Negra	<i>Cardellina pusilla</i>
	Picogordo Tigrillo	<i>Pheucticus melanocephalus</i>
	Tirano Chibí	<i>Tyrannus vociferans</i>
	Calandria Castaña	<i>Icterus spurius</i>
	Rascador Viejita	<i>Melospiza fusca</i>
	Calandria Cejas Naranjas	<i>Icterus bullockii</i>
	Tordo Ojos Rojos	<i>Molothrus aeneus</i>
	Saltapared de Rocas	<i>Salpinctes obsoletus</i>
	Papamoscas del Oeste	<i>Contopus sordidulus</i>
	Chara de Collar	<i>Aphelocoma woodhouseii</i>
	Saltapared Barranqueño	<i>Catherpes mexicanus</i>
	Calandria de Wagler	<i>Icterus wagleri</i>
	Colibrí Lucifer	<i>Calothorax lucifer</i>
Colibrí Orejas Violetas	<i>Colibri thalassinus</i>	
Doradilla	<i>Diabrotica undecimpunctata</i>	
Mariposa Cometa Xochiquetzal	<i>Papilio multicaudata</i>	
Abejorro de Sonora	<i>Bombus sonorus</i>	

Tipo	Nombre Común	Nombre Científico
	Pasionaria Motas Blancas	<i>Agraulis vanillae</i>
	Mariposa Organillo Oscura	<i>Euptoieta claudia</i>
	Rayadora Abigarrada	<i>Sympetrum corruptum</i>
	Mariposa Azul del Mezquite	<i>Echinargus isola</i>
	Mariposa Ojo de Venado Norteña	<i>Junonia coenia</i>
	Mariposa Luminaria Azul	<i>Battus philenor</i>
	Mariposa Reina	<i>Danaus gilippus</i>
	Abeja Melífera Europea	<i>Apis mellifera</i>
	Mariposa Blanca Manchada	<i>Pontia protodice</i>
	Araña de Jardín Bandeada	<i>Argiope trifasciata</i>
	Mariposa Cebra de Alas Largas	<i>Heliconius charithonia</i>
	Mariposa de la Muerte	<i>Ascalapha odorata</i>
	Rayadora Flameada	<i>Libellula saturata</i>
	Araña Manchada de Jardín	<i>Neoscona oaxacensis</i>
	Viuda Negra	<i>Latrodectus mactans</i>
	Hormiga Cosechadora Roja	<i>Pogonomyrmex barbatus</i>
	Pasionaria Mexicana	<i>Dione moneta</i>
	Mestra Norteña	<i>Mestra amymone</i>

Tipo	Nombre Común	Nombre Científico
	Mariposa Parche Tiffani	<i>Chlosyne theona</i>
	Mariposa Cometa Quexquémetl	<i>Papilio garamas</i>
	Mariposa Parche Negra con Rayas Blancas	<i>Chlosyne ehrenbergii</i>
	Vanesa Americana	<i>Vanessa virginiensis</i>
	Mariposa Velo de Duelo	<i>Nymphalis antiopa</i>
	Polilla Esfinge Rayada	<i>Hyles lineata</i>
	Mariposa Azufre Sin Nubes	<i>Phoebis sennae</i>
	Avispa de Barro de Patatas Amarillas	<i>Sceliphron caementarium</i>
	Libélula Rayadora Rosada	<i>Orthemis ferruginea</i>
	Planeador Amarillo Común	<i>Pantala flavescens</i>
	Mariposa Azul Marina	<i>Leptotes marina</i>
	Cometa Gigante	<i>Papilio rumiko</i>
	Malaquita	<i>Siproeta stelenes</i>
	Mariposa Cara de Perro Sureña	<i>Zerene cesonia</i>
	Mariposa Blanca de la Col	<i>Leptophobia aripa</i>
	Pasionaria de Alas Largas	<i>Dione juno</i>
	Mariposa Organillo Clara	<i>Euptoieta hegesia</i>

Tipo	Nombre Común	Nombre Científico
	Polilla de Cuatro Puntos	<i>Palpita quadristigmalis</i>
	Hellinsia homodactylus	-
	Mariposa Azufre de Bandas Naranja	<i>Phoebis philea</i>
	Mariposa Alas de Daga Café	<i>Marpesia chiron</i>
	Avispa de Caballo	<i>Polistes major</i>
	Caballito Pigmeo Común	<i>Ischnura denticollis</i>
	Mariposa Citrina de Hoja Blanca	<i>Anteos clorinde</i>
	Esfinge de la Higuera	<i>Pachylia ficus</i>
	Saltarina de la Guayaba	<i>Phocides polybius</i>
	Cometa Negra de Manchas Rosas	<i>Papilio rogeri</i>
	Mariposa Sedosa Verde Mexicana	<i>Callophrys xami</i>
	Oruga del Tepozán	<i>Acronyctodes mexicanaria</i>
	Cucaracha	<i>Homoeogamia mexicana</i>
	Araña de Pared	<i>Selenops mexicanus</i>
	Saltarina Negra de Puntos Blancos	<i>Pholisora mejicanus</i>
	Cochinilla Suave	<i>Porcellio laevis</i>
	Oruga de Polilla Esfinge	<i>Xylophanes falco</i>
ANFIBIOS	Ranita del Cañón	<i>Hyla arenicolor</i>
	Sapo Montícola de Espuela	<i>Spea multiplicata</i>

Tipo	Nombre Común	Nombre Científico
REPTILES	Lagartija Espinosa Mexicana	<i>Sceloporus spinosus</i>
	Lagartija Espinosa de Collar	<i>Sceloporus torquatus</i>
	Huico Pinto del Noreste	<i>Aspidoscelis gularis</i>
	Cascabel de Cola Negra	<i>Crotalus molossus</i>
	Culebra Chata Mexicana	<i>Salvadora bairdi</i>
MAMÍFEROS	Tlacuache Norteño	<i>Didelphis virginiana</i>
	Mapache	<i>Procyon lotor</i>
	Zorrillo Manchado Sureño	<i>Spilogale angustifrons</i>

Anexo 4. Agroquímicos usados durante el experimento de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

En las parcelas 2 y 3 se aplicó insecticida Ambush 50 a dosis de 240 ml por /Ha

Características del insecticida AMBUSH 50.

Nombre	Ambush® 50
Marca o logo	
Tipo de insumo	Insecticida.
Ingrediente activo	Permetrina: 3-Fenoxibencil (1RS)-cis, trans-3-(2,2-diclorovinil)- 2,2-dimetilciclopropanocarboxilato.
Aplicación	Por aspersores.
Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda, oral Categoría 3. • Toxicidad aguda, Dermal Categoría 3. • Toxicidad aguda, Inhalatoria Categoría 3.
Precauciones relativas hacia el medio ambiente	Impedir la entrada hacia canales de agua, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.
Periodo de ingreso	Para mayor seguridad del personal de trabajo, espere a que haya secado bien el producto aplicado para reingresar a las áreas tratadas).
Contraindicaciones	Evite aplicar con vientos superiores a 8 km/h, en horas de calor y sol intenso (mayores de 40°C). No aplique cuando las abejas y otros polinizadores estén en el cultivo.
Fitotoxicidad	Este producto no es fitotóxico a los cultivos aquí indicados si es aplicado de acuerdo con las recomendaciones de esta etiqueta.

Nota. Para más información visitar la página oficial del producto o verificar las hojas de seguridad (HDS). Elaboración propia con datos de AMVAC (2020) y la ficha técnica, disponible en <https://www.amvac.com.mx/productos/ambush-50-ce>.

En las parcelas 2 y 3 se aplicó el herbicida ACCENT® en dosis de 1L/Ha

Características del Herbicida ACCENT®.

Nombre	ACCENT®
Marca o logo	
Tipo de insumo	Herbicida.
Ingrediente activo	Nicosulfurón: 2-(4,6-dimetoxipirimidin-2-ilcarbamoilsulfamoil)-N,N-dimetilnicotinamida (Equivalente a 750 g de I.A./kg).
Aplicación	Acondicionar al agua de aplicación, es pre-emergente.
Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda (Inhalación) Categoría 5. • Sensibilización cutánea Categoría 1. • Peligro de aspiración Categoría 2.
Precauciones relativas hacia el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Peligro a corto plazo (agudo) para el medio ambiente acuático Categoría 3. • Peligro a largo plazo (crónico) para el medio ambiente acuático Categoría 1. • No produce bioacumulación.
Periodo de ingreso	Para mayor seguridad del personal de trabajo, espere a que haya secado bien el producto aplicado para reingresar a las áreas tratadas.
Contraindicaciones	Evite respirar o estar en contacto directo con el producto durante la aplicación, es toxico para la fauna acuática.
Fitotoxicidad	No existen problemas de fitotoxicidad si se aplica según las recomendaciones indicadas.

Nota. Para más información visitar la página oficial del producto o verificar las HDS. Elaboración propia con datos de Duppont (2019).

En las parcelas 2 y 3 se aplicó el herbicida MARVEL® en dosis de 2L/Ha

Características del Herbicida MARVEL®.

Nombre	MARVEL®
Marca o logo	
Tipo de insumo	Herbicida.
Ingrediente activo	<ul style="list-style-type: none"> • Dicamba: Sal de potasio de ácido 3,6-dicloro-2-metoxibenzoico (Equivalente a 132 g de i.a./L a 20°C). % EN PESO 11.45 • Atrazina: 6-Cloro-N2-etil-N4-isopropil-1,3,5, triazina-2,4 diamina (Equivalente a 252 g de i.a./L a 20°C). 22.23.
Aplicación	Aspersión por mochila o tractor.
Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> • n.a.
Precauciones relativas hacia el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Este producto es altamente tóxico para animales (peces, invertebrados acuáticos). • Es extremadamente tóxico plantas acuáticas (algas y plantas vasculares).
Periodo de ingreso	Para mayor seguridad del personal de trabajo, espere a que haya secado bien el producto aplicado para reingresar a las áreas tratadas).
Contraindicaciones	No se aplique sobre o cerca de plantas deseables o en lugares donde el producto puede ser arrastrado por agua o viento hacia cultivos sensibles.
Fitotoxicidad	Este producto no es fitotóxico en los cultivos y a las dosis aquí recomendados.

Nota. Para más información visitar la página oficial del producto o verificar las HDS. Elaboración propia con datos de Marvel® (2017).

En la parcela 1 se aplicó el herbicida Gesaprim®Calibre90

Características del Herbicida MARVEL ®.

Nombre	Gesaprim® Calibre 90
Marca o logo	
Tipo de insumo	Herbicida.
Ingrediente activo	Atrazina: 6-Cloro-N2-etil-N4-isopropil-1,3,5-triazina-2,4-diamina
Aplicación	Aspersión por mochila, tractor o por equipo aéreo.
Toxicidad	<ul style="list-style-type: none">• n.a.
Precauciones relativas hacia el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none">• Este producto es altamente tóxico para animales (peces, invertebrados acuáticos).• Es extremadamente tóxico plantas acuáticas (algas y plantas vasculares).
Periodo de ingreso	12 horas después de la aplicación.
Contraindicaciones	<ul style="list-style-type: none">• En regiones con rotación de cultivos, no aplique más de 1.7 Kg/Ha de Gesaprim Calibre 90 G.D.A. para evitar residuos en el suelo que afecten cultivos subsecuentes.• Los campos tratados con Gesaprim Calibre 90 G.D.A. no deben sembrarse con cultivos susceptibles hasta transcurridos de 4 a 6 meses.• Si las lluvias son abundantes, 6 meses después puede sembrarse algodón, papa, haba y trigo.• No aplique Gesaprim Calibre 90 G.D.A. en cultivos asociados.
Fitotoxicidad	Este producto no es fitotóxico en los cultivos y a las dosis aquí recomendados.

Nota. Para más información visitar la página oficial del producto o verificar las HDS.

En las parcelas 2 y 3 se aplicó el herbicida ARRIVO® en dosis de 250cc por hectárea
Características del insecticida ARRIVO®.

Nombre	ARRIVO®
Marca o logo	n.d
Tipo de insumo	Insecticida.
Ingrediente activo	Cipermetrina (±)-alfa-ciano-3-fenoxibencil (±)-cis,trans-3-(2,2-diclovinil) -2,2-dimetil ciclopropano carboxilato.
Aplicación	Aspersión por mochila o tractor.
Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> • CE es un insecticida moderadamente tóxico por lo que deberá evitarse su ingestión, inhalación y contacto con la piel y ojos. (es altamente nocivo al ingerirse).
Precauciones relativas hacia el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Este producto es altamente tóxico para animales (peces, invertebrados acuáticos). • Es extremadamente tóxico plantas acuáticas (algas y plantas vasculares).
Periodo de ingreso	Para mayor seguridad del personal de trabajo, espere a que haya secado bien el producto aplicado para reingresar a las áreas tratadas).
Contraindicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • A fin de evitar la deriva o acarreo del producto, realice las aplicaciones en las primeras horas de la mañana o por la tarde y no aplicar cuando la velocidad del viento sea mayor a 10 km/h. • No aplicar cuando la temperatura sea mayor a 30°C. • No aplicar en presencia de lluvia o cuando exista posibilidad de la misma.
Fitotoxicidad	No es fitotóxico en los cultivos y dosis aquí indicados, si es aplicado de acuerdo a las recomendaciones de su etiqueta.

Nota. Para más información visitar la página oficial del producto o verificar las HDS. Elaboración propia con datos de FMC (2005).

Características generales del Sulfato de Amonio.

Nombre	Sulfato de Amonio.
Marca o logo	n.d
Tipo de insumo	Fertilizantes.
Ingrediente activo	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Aplicación	En banda depositando el fertilizante en la base del tallo.
Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> • Irritante cutáneo y ocular. • Peligro por aspiración.
Precauciones relativas hacia el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Puede producir eutrofización en los cuerpos de agua cercanos a la aplicación
Periodo de ingreso	n.a
Contraindicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Usar equipo de seguridad para su aplicación • Evitar altas temperaturas. • No aplicar en presencia de lluvia o cuando exista posibilidad de la misma.
Fitotoxicidad	n.a

Nota. Para más información visitar la página oficial del producto o verificar las HDS. Elaboración propia con datos Vega (2017) y UNIVEX S.A. (2019).

Anexo 5. Resultados de los análisis de suelos.

Conductividad Eléctrica y pH.

Conductividad eléctrica y pH		CE					pH	Clasificación de acuerdo a su pH, conforme a la NOM-021-RECNAT-2000
No. de muestra	Perfil	pH	mmhos/cm ⁻³	ppm	PO	me/L		
1	1	8,15	0,70	448,64	0,2524	7,01	8,15	Medianamente Alcalino
2	2	7,44	1,98	1264	0,711	19,75	7,44	Medianamente Alcalino
3	3	8,23	0,38	245,76	0,1382	3,84	8,23	Medianamente Alcalino
4	4	8,11	0,80	510,08	0,2869	7,97	8,11	Medianamente Alcalino
5	5	8,10	0,90	575,36	0,3236	8,99	8,10	Medianamente Alcalino
6	6	8,25	0,56	357,12	0,2009	5,58	8,25	Medianamente Alcalino
7	7	8,14	0,52	335,36	0,1886	5,24	8,14	Medianamente Alcalino
8	8	8,08	0,74	476,16	0,2678	7,44	8,08	Medianamente Alcalino
9	9	8,12	0,85	546,56	0,3074	8,54	8,12	Medianamente Alcalino
10	10	8,07	0,76	488,32	0,2747	7,63	8,07	Medianamente Alcalino
11	11	8,27	0,58	368,64	0,2074	5,76	8,27	Medianamente Alcalino
12	12	8,07	0,83	533,12	0,2999	8,33	8,07	Medianamente Alcalino
13	13	8,43	0,45	286,08	0,1609	4,47	8,43	Medianamente Alcalino
14	14	8,33	0,61	392,96	0,221	6,14	8,33	Medianamente Alcalino
15	15	8,38	0,52	332,16	0,1868	5,19	8,38	Medianamente Alcalino
16	16	8,63	0,40	256	0,144	4	8,63	Fuertemente alcalino
17	17	8,54	0,50	320,64	0,1804	5,01	8,54	Fuertemente alcalino

Conductividad eléctrica y pH		CE					pH	Clasificación de acuerdo a su pH, conforme a la NOM-021-RECNAT-2000
No. de muestra	Perfil	pH	mmhos/cm ⁻³	ppm	PO	me/L		
18	18	8,42	0,62	396,16	0,2228	6,19	8,42	Medianamente Alcalino
19	19	8,39	0,43	272	0,153	4,25	8,39	Medianamente Alcalino
20	20	8,25	0,66	422,4	0,2376	6,6	8,25	Medianamente Alcalino
21	21	8,25	0,57	361,6	0,2034	5,65	8,25	Medianamente Alcalino
22	22	8,26	0,53	336,64	0,1894	5,26	8,26	Medianamente Alcalino
23	23	8,31	0,54	344,96	0,194	5,39	8,31	Medianamente Alcalino
24	24	8,10	0,84	538,24	0,3028	8,41	8,10	Medianamente Alcalino
25	25	8,18	0,66	424,96	0,239	6,64	8,18	Medianamente Alcalino
26	26	8,32	0,45	288,64	0,1624	4,51	8,32	Medianamente Alcalino
27	27	8,29	0,47	301,44	0,1696	4,71	8,29	Medianamente Alcalino
28	28	8,25	0,49	315,52	0,1775	4,93	8,25	Medianamente Alcalino
29	29	8,26	0,54	343,04	0,193	5,36	8,26	Medianamente Alcalino
30	30	8,42	0,43	273,92	0,1541	4,28	8,42	Medianamente Alcalino
31	31	8,40	0,51	328,32	0,1847	5,13	8,40	Medianamente Alcalino
32	32	8,28	0,54	343,68	0,1933	5,37	8,28	Medianamente Alcalino
33	33	8,28	0,61	387,2	0,2178	6,05	8,28	Medianamente Alcalino
34	34	8,48	0,36	227,2	0,1278	3,55	8,48	Medianamente Alcalino
35	35	8,26	0,51	327,04	0,184	5,11	8,26	Medianamente Alcalino
36	36	8,16	0,83	528,32	0,2972	8,255	8,16	Medianamente Alcalino

Conductividad eléctrica y pH		CE					pH	Clasificación de acuerdo a su pH, conforme a la NOM-021-RECNAT-2000
No. de muestra	Perfil	pH	mmhos/cm ⁻³	ppm	PO	me/L		
37	21	8,51	0,84	538,24	0,3028	8,41	8,51	Fuertemente alcalino
38	22	8,36	0,64	410,88	0,2311	6,42	8,36	Medianamente Alcalino
39	23	8,47	0,59	379,52	0,2135	5,93	8,47	Medianamente Alcalino
40	41	8,24	0,57	366,72	0,2063	5,73	8,24	Medianamente Alcalino
41	42	8,31	0,43	275,2	0,1548	4,3	8,31	Medianamente Alcalino
42	43	8,39	0,39	251,52	0,1415	3,93	8,39	Medianamente Alcalino
43	44	8,49	0,33	210,56	0,1184	3,29	8,49	Medianamente Alcalino
44	45	7,97	0,06	37,44	0,0211	0,585	7,97	Medianamente Alcalino
45	51	8,16	0,51	325,76	0,1832	5,09	8,16	Medianamente Alcalino
46	52	8,44	0,30	192,64	0,1084	3,01	8,44	Medianamente Alcalino
47	53	8,53	0,28	176,19	0,0991	2,753	8,53	Fuertemente alcalino
48	54	8,68	0,24	153,92	0,0866	2,405	8,68	Fuertemente alcalino
49	55	8,66	0,23	147,55	0,083	2,306	8,66	Fuertemente alcalino
50	I-1	8,17	0,98	625,92	0,3521	9,78	8,17	Medianamente Alcalino
51	I-2	8,57	0,35	225,28	0,1267	3,52	8,57	Fuertemente alcalino
52	I-3	8,44	0,44	279,68	0,1573	4,37	8,44	Medianamente Alcalino
53	I-4	8,41	0,42	266,88	0,1501	4,17	8,41	Medianamente Alcalino
54	I-5	8,67	0,62	393,6	0,2214	6,15	8,67	Fuertemente alcalino
55	I-6	8,38	0,77	492,16	0,2768	7,69	8,38	Medianamente Alcalino

Conductividad eléctrica y pH		CE					pH	Clasificación de acuerdo a su pH, conforme a la NOM-021-RECNAT-2000
No. de muestra	Perfil	pH	mmhos/cm ⁻³	ppm	PO	me/L		
56	I-7	8,38	0,74	471,68	0,2653	7,37	8,38	Medianamente Alcalino
57	I-8	8,43	0,65	414,08	0,2329	6,47	8,43	Medianamente Alcalino
58	II-1	8,28	0,53	339,2	0,1908	5,3	8,28	Medianamente Alcalino
59	II-2	8,53	0,43	273,28	0,1537	4,27	8,53	Fuertemente alcalino
60	II-3	8,57	0,58	373,76	0,2102	5,84	8,57	Fuertemente alcalino
61	II-4	8,66	0,47	299,52	0,1685	4,68	8,66	Fuertemente alcalino
62	III-1	7,96	0,60	384,64	0,2164	6,01	7,96	Medianamente Alcalino
63	III-2	7,75	0,82	526,72	0,2963	8,23	7,75	Medianamente Alcalino
64	III-3	8,30	0,33	209,92	0,1181	3,28	8,30	Medianamente Alcalino
65	III-4	8,23	0,41	263,68	0,1483	4,12	8,23	Medianamente Alcalino
66	III-5	8,25	0,42	269,44	0,1516	4,21	8,25	Medianamente Alcalino
67	III-6	8,23	0,63	402,56	0,2264	6,29	8,23	Medianamente Alcalino

Nota. La Información recuperada de la base de datos de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y se complementó con los parámetros establecidos por la NOM-021-RECNAT-2000.

Propiedades físicas.

Propiedades de campo		Densidad Aparente	Porcentaje de saturación	Arena	Arcilla	Limo	Clasificación Textural	Capacidad de Campo	Punto de Marchitez Permanente	Agua disponible
No. de muestra	Perfil	g cm ⁻³	%	%	%	%		%	%	%
1	1	1,20	42,0	46	24	30	Francosa	35,1	16,8	18,3
2	2	1,25	41,5	50	18	32	Francosa	34,2	16,4	17,8
3	3	1,25	42,5	46	22	32	Francosa	32,7	16,9	15,8
4	4	1,30	43,5	42	32	26	Franco arcillosa	35,8	18,2	17,6
5	5	1,25	43,0	46	26	28	Francosa	35,9	17,7	18,2
6	6	1,25	42,0	46	22	32	Francosa	35,5	17,4	18,1
7	7	1,11	46,5	30	36	34	Franco arcillosa	34,9	17,7	17,2
8	8	1,11	51,0	28	34	38	Franco arcillosa	36,6	21,5	15,0
9	9	1,11	46,5	34	28	38	Franco arcillosa	34,8	19,9	14,9
10	10	1,15	47,5	36	30	34	Franco arcillosa	30,2	17,3	12,9
11	11	1,11	45,0	40	28	32	Franco arcillosa	28,5	8,8	19,7
12	12	1,20	44,0	46	24	30	Francosa	30,2	17,4	12,9
13	13	1,25	42,5	44	28	28	Franco arcillosa	33,8	17,2	16,6
14	14	1,07	41,5	46	22	32	Francosa	31,9	16,2	15,7
15	15	1,20	43,8	52	22	26	Franco arcillo arenosa	29,4	15,8	13,7
16	16	1,20	38,0	52	28	20	Franco arcillo arenosa	26,6	14,5	12,2
17	17	1,15	41,0	48	24	28	Francosa	29,6	15,8	13,8
18	18	1,15	44,5	50	22	28	Francosa	32,3	16,4	15,9
19	19	1,07	41,5	46	24	30	Francosa	28,3	16,7	11,6
20	20	1,11	38,0	48	24	28	Francosa	25,1	13,6	11,5
21	21	1,20	39,0	54	22	24	Franco arcillo arenosa	25,8	13,6	12,2
22	22	1,30	38,5	52	22	26	Franco arcillo arenosa	25,5	13,4	12,1
23	23	1,20	39,5	52	20	28	Francosa	25,2	13,4	11,8
24	24	1,15	40,0	50	22	28	Francosa	25,3	13,2	12,1
25	25	1,11	40,0	50	22	28	Francosa	26,0	13,8	12,2
26	26	1,20	38,0	52	22	26	Franco arcillo arenosa	24,5	13,0	11,5
27	27	1,20	37,0	52	22	26	Franco arcillo arenosa	26,0	20,0	6,0
28	28	1,15	37,0	54	22	24	Franco arcillo arenosa	26,0	13,4	12,6
29	29	1,20	38,0	52	22	26	Franco arcillo arenosa	24,6	13,3	11,3
30	30	1,15	39,8	50	24	26	Franco arcillo arenosa	26,5	14,8	11,6
31	31	1,15	42,0	46	26	28	Francosa	30,3	16,3	14,1
32	32	1,11	41,0	48	28	24	Franco arcillo arenosa	28,8	14,7	14,1
33	33	1,07	45,5	44	32	24	Franco arcillosa	31,4	17,1	14,3
34	34	1,15	40,0	54	24	22	Franco arcillo arenosa	28,3	14,2	14,1
35	35	1,20	40,0	54	24	22	Franco arcillo arenosa	25,3	14,3	10,9

Propiedades de campo		Densidad Aparente	Porcentaje de saturación	Arena	Arcilla	Limo	Clasificación Textural	Capacidad de Campo	Punto de Marchitez Permanente	Agua disponible
No. de muestra	Perfil	g cm ⁻³	%	%	%	%		%	%	%
36	36	1,15	43,0	52	22	26	Franco arcillo arenosa	30,1	14,8	15,3
37	21	1,20	43,3	44	26	30	Francosa	36,9	17,5	19,4
38	22	1,20	44,5	44	24	32	Francosa	37,1	18,3	18,8
39	23	1,20	45,5	42	28	30	Franco arcillosa	37,5	18,6	18,9
40	41	1,20	41,0	44	26	30	Francosa	28,4	15,0	13,4
41	42	1,20	41,5	44	26	30	Francosa	27,8	14,6	13,2
42	43	1,25	39,5	46	24	30	Francosa	27,1	14,8	12,3
43	44	1,30	36,0	52	26	22	Franco arcillo arenosa	23,8	13,6	10,2
44	45	1,25	36,5	54	24	22	Franco arcillo arenosa	24,0	12,2	11,7
45	51	1,20	38,5	52	24	24	Franco arcillo arenosa	25,8	13,1	12,7
46	52	1,20	35,0	54	22	24	Franco arcillo arenosa	26,3	12,6	13,7
47	53	1,25	32,5	58	20	22	Franco arcillo arenosa	21,8	11,8	10,0
48	54	1,30	28,5	66	16	18	Franco arenosa	20,4	10,4	10,0
49	55	1,36	28,8	66	16	18	Franco arenosa	24,0	9,4	14,7
50	I-1	1,25	39,3	44	28	28	Franco arcillosa	35,1	17,5	17,7
51	I-2	1,30	40,0	48	26	26	Franco arcillo arenosa	34,9	17,9	17,1
52	I-3	1,25	42,5	48	24	28	Francosa	34,5	18,5	16,1
53	I-4	1,30	42,0	46	28	26	Franco arcillo arenosa	31,4	18,3	13,0
54	I-5	1,20	42,5	40	32	28	Franco arcillosa	38,4	23,0	15,4
55	I-6	1,15	56,5	40	34	26	Franco arcillosa	35,9	20,0	15,9
56	I-7	1,20	46,5	38	30	32	Franco arcillosa	35,8	21,3	14,5
57	I-8	1,03	44,5	36	30	34	Franco arcillosa	43,6	26,5	17,1
58	II-1	1,20	42,5	44	28	28	Franco arcillosa	28,6	16,5	12,1
59	II-2	1,11	48,5	44	18	38	Francosa	36,8	22,7	14,1
60	II-3	1,20	40,5	46	18	36	Francosa	38,8	22,2	16,6
61	II-4	1,03	39,5	28	36	36	Franco arcillosa	42,7	24,5	18,2
62	III-1	1,15	43,5	44	26	30	Francosa	30,3	16,9	13,4
63	III-2	1,25	40,5	46	26	28	Francosa	57,8	16,9	41,0
64	III-3	1,30	32,5	50	24	26	Franco arcillo arenosa	23,9	13,2	10,8
65	III-4	1,25	41,0	44	30	26	Franco arcillosa	32,2	18,8	13,4
66	III-5	1,20	46,5	28	36	36	Franco arcillosa	40,0	23,2	16,8
67	III-6	1,20	53,3	30	38	32	Franco arcillosa	42,8	25,7	17,1

Nota. La Información recuperada de la base de datos de la investigación Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y se complementó con los parámetros establecidos por la NOM-021-RECNAT-2000.

Capacidad de intercambio catiónico.

Capacidad de intercambio catiónico		Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Σ de bases intercambiables	Minerales arcillosos	Fertilidad respecto al CIC
No. de muestra	Perfil	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	Cmol(+) Kg ⁻¹	Grupo	Grupo
1	1	8827	840	422	406	53,9	Micas hidratadas	muy alta
2	2	8882	761	328	504	53,7	Micas hidratadas	muy alta
3	3	7497	708	350	332	45,6	Micas hidratadas	muy alta
4	4	8632	955	362	466	53,9	Micas hidratadas	muy alta
5	5	9168	1024	406	462	57,3	Micas hidratadas	muy alta
6	6	9421	666	326	368	55,0	Micas hidratadas	muy alta
7	7	9841	937	630	274	59,7	Micas hidratadas	muy alta
8	8	10413	971	590	312	62,9	Micas hidratadas	muy alta
9	9	10381	943	626	332	62,7	Micas hidratadas	muy alta
10	10	9692	951	622	290	59,1	Micas hidratadas	muy alta
11	11	9857	955	622	282	59,9	Micas hidratadas	muy alta
12	12	9023	895	566	264	55,1	Micas hidratadas	muy alta
13	13	8755	948	416	302	53,9	Micas hidratadas	muy alta
14	14	10596	892	392	310	62,6	Micas hidratadas	muy alta
15	15	9182	845	510	242	55,2	Micas hidratadas	muy alta
16	16	10120	750	372	284	58,9	Micas hidratadas	muy alta
17	17	9689	789	388	326	57,3	Micas hidratadas	muy alta
18	18	10292	885	356	330	61,1	Micas hidratadas	muy alta
19	19	9112	1000	460	246	56,0	Micas hidratadas	muy alta
20	20	9083	817	480	208	54,3	Micas hidratadas	muy alta
21	21	8954	836	510	202	53,8	Micas hidratadas	muy alta
22	22	8746	757	442	216	52,0	Micas hidratadas	muy alta
23	23	9049	773	522	202	53,8	Micas hidratadas	muy alta
24	24	9245	874	488	242	55,7	Micas hidratadas	muy alta
25	25	7369	715	532	236	45,1	Micas hidratadas	muy alta
26	26	7057	814	478	224	44,2	Micas hidratadas	muy alta
27	27	8152	898	458	206	50,2	Micas hidratadas	muy alta
28	28	5991	934	488	156	39,6	Cloritas	alta
29	29	8744	914	444	214	53,3	Micas hidratadas	muy alta
30	30	8573	946	436	246	52,8	Micas hidratadas	muy alta
31	31	8743	901	518	236	53,5	Micas hidratadas	muy alta
32	32	8278	893	516	210	51,0	Micas hidratadas	muy alta
33	33	9289	1142	532	254	58,3	Micas hidratadas	muy alta
34	34	8623	759	412	204	51,3	Micas hidratadas	muy alta
35	35	9009	794	462	198	53,6	Micas hidratadas	muy alta
36	36	8023	857	556	248	49,6	Micas hidratadas	muy alta
37	21	9478	901	422	390	57,6	Micas hidratadas	muy alta
38	22	8873	1036	440	376	55,6	Micas hidratadas	muy alta
39	23	10284	1543	464	400	67,0	Micas hidratadas	muy alta
40	41	8758	1004	554	194	54,3	Micas hidratadas	muy alta
41	42	7396	916	490	200	46,6	Micas hidratadas	muy alta
42	43	8882	970	500	206	54,5	Micas hidratadas	muy alta
43	44	8024	896	426	200	49,4	Micas hidratadas	muy alta
44	45	9040	748	382	194	53,1	Micas hidratadas	muy alta
45	51	9801	765	486	184	57,3	Micas hidratadas	muy alta
46	52	9280	726	438	170	54,2	Micas hidratadas	muy alta
47	53	8924	703	350	152	51,9	Micas hidratadas	muy alta

Capacidad de intercambio catiónico		Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Σ de bases intercambiables	Minerales arcillosos	Fertilidad respecto al CIC
No. de muestra	Perfil	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	Cmol(+) Kg ⁻¹	Grupo	Grupo
48	54	8360	532	290	144	47,5	Micas hidratadas	muy alta
49	55	8911	469	256	124	49,6	Micas hidratadas	muy alta
50	I-1	10422	892	418	284	61,7	Micas hidratadas	muy alta
51	I-2	9951	1081	362	290	60,8	Micas hidratadas	muy alta
52	I-3	9703	1170	382	246	60,2	Micas hidratadas	muy alta
53	I-4	8594	1063	356	256	53,7	Micas hidratadas	muy alta
54	I-5	10104	1884	476	496	69,4	Micas hidratadas	muy alta
55	I-6	8084	1809	510	348	58,1	Micas hidratadas	muy alta
56	I-7	10237	1451	550	356	66,1	Micas hidratadas	muy alta
57	I-8	12381	1434	866	434	77,8	Esmectitas	muy alta
58	II-1	9853	1028	532	226	60,0	Micas hidratadas	muy alta
59	II-2	10681	1568	460	416	69,3	Micas hidratadas	muy alta
60	II-3	10209	1775	500	448	68,9	Micas hidratadas	muy alta
61	II-4	10839	2041	500	446	74,2	Esmectitas	muy alta
62	III-1	10090	1141	482	240	62,1	Micas hidratadas	muy alta
63	III-2	9127	861	428	220	54,7	Micas hidratadas	muy alta
64	III-3	8922	824	358	190	53,1	Micas hidratadas	muy alta
65	III-4	9423	963	408	246	57,1	Micas hidratadas	muy alta
66	III-5	10494	1045	460	332	63,7	Micas hidratadas	muy alta
67	III-6	10977	1043	402	372	66,1	Micas hidratadas	muy alta

Minerales arcillosos		Fertilidad respecto al CIC			
Grupo	Cmol(+) Kg ⁻¹	Grupo	Cmol(+) Kg ⁻¹		
Caolinitas	3	15	Muy alta	mayor a	40
Esmectitas	80	150	Alta	25	40
Micas hidratadas	10	40	Media	15	25
Vermiculitas	100	150	Baja	5	15
Cloritas	10	40	Muy baja	menor a	5

Nota. La Información recuperada de la base de datos de la investigación Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y se complementó con los parámetros establecidos por la NOM-021-RECNAT-2000.

Nutrientes.

No. de muestra	Amonios y Nitratos	N-NH4 Amonio	N-NO3 Nitrato	N-NH4 Amonio	N-NO3 Nitrato	Fósforo	Fósforo
	Perfil	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	Clase	Clase	mg Kg ⁻¹	Clase
1	1	6,23	3,90	Muy bajo	Muy bajo	50,39	Alto
2	2	3,80	0,57	Muy bajo	Muy bajo	55,90	Alto
3	3	0,29	2,04	Muy bajo	Muy bajo	49,37	Alto
4	4	3,13	1,28	Muy bajo	Muy bajo	36,68	Alto
5	5	3,03	0,86	Muy bajo	Muy bajo	33,54	Alto
6	6	3,52	3,47	Muy bajo	Muy bajo	41,33	Alto
7	7	3,91	19,80	Muy bajo	Bajo	132,42	Alto
8	8	5,10	73,90	Muy bajo	Muy alto	137,87	Alto
9	9	4,92	59,30	Muy bajo	Alto	147,63	Alto
10	10	2,91	71,90	Muy bajo	Muy alto	150,80	Alto
11	11	3,14	31,40	Muy bajo	Medio	140,49	Alto
12	12	3,84	79,30	Muy bajo	Muy alto	135,78	Alto
13	13	2,99	4,90	Muy bajo	Muy bajo	45,95	Alto
14	14	3,02	14,00	Muy bajo	Bajo	43,78	Alto
15	15	3,02	4,21	Muy bajo	Muy bajo	35,80	Alto
16	16	2,05	0,73	Muy bajo	Muy bajo	39,44	Alto
17	17	1,96	1,43	Muy bajo	Muy bajo	37,97	Alto
18	18	1,60	0,94	Muy bajo	Muy bajo	41,67	Alto
19	19	5,36	30,20	Muy bajo	Medio	123,90	Alto
20	20	5,84	70,15	Muy bajo	Muy alto	102,64	Alto
21	21	4,60	39,80	Muy bajo	Medio	107,44	Alto
22	22	6,26	35,30	Muy bajo	Medio	117,42	Alto
23	23	2,21	19,60	Muy bajo	Bajo	101,16	Alto
24	24	4,34	80,50	Muy bajo	Muy alto	108,46	Alto
25	25	4,86	38,40	Muy bajo	Medio	93,53	Alto
26	26	3,61	16,00	Muy bajo	Bajo	102,02	Alto
27	27	2,90	25,20	Muy bajo	Medio	96,74	Alto
28	28	3,81	19,40	Muy bajo	Bajo	89,08	Alto
29	29	3,58	29,50	Muy bajo	Medio	100,00	Alto
30	30	2,85	13,35	Muy bajo	Bajo	93,63	Alto
31	31	2,35	15,00	Muy bajo	Bajo	108,50	Alto
32	32	4,32	31,80	Muy bajo	Medio	107,08	Alto
33	33	4,83	22,60	Muy bajo	Medio	106,90	Alto
34	34	5,86	6,16	Muy bajo	Muy bajo	93,52	Alto
35	35	3,50	28,20	Muy bajo	Medio	111,31	Alto
36	36	6,18	65,80	Muy bajo	Muy alto	104,23	Alto
37	21	4,75	2,28	Muy bajo	Muy bajo	50,36	Alto
38	22	1,26	0,84	Muy bajo	Muy bajo	34,53	Alto
39	23	1,66	0,57	Muy bajo	Muy bajo	42,14	Alto
40	41	9,30	7,07	Muy bajo	Muy bajo	95,12	Alto

Amonios y Nitratos		N-NH4 Amonio	N-NO3 Nitrato	N-NH4 Amonio	N-NO3 Nitrato	Fósforo	Fósforo
No. de muestra	Perfil	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	Clase	Clase	mg Kg ⁻¹	Clase
41	42	7,09	7,70	Muy bajo	Muy bajo	84,94	Alto
42	43	3,21	4,19	Muy bajo	Muy bajo	84,36	Alto
43	44	1,77	3,52	Muy bajo	Muy bajo	60,65	Alto
44	45	2,53	2,57	Muy bajo	Muy bajo	49,84	Alto
45	51	3,66	38,30	Muy bajo	Medio	88,67	Alto
46	52	6,16	5,00	Muy bajo	Muy bajo	80,54	Alto
47	53	3,00	4,97	Muy bajo	Muy bajo	68,47	Alto
48	54	6,92	1,13	Muy bajo	Muy bajo	56,78	Alto
49	55	4,14	0,51	Muy bajo	Muy bajo	48,42	Alto
50	I-1	1,05	0,73	Muy bajo	Muy bajo	30,86	Alto
51	I-2	0,84	0,87	Muy bajo	Muy bajo	30,47	Alto
52	I-3	nd	0,93	Muy bajo	Muy bajo	28,96	Alto
53	I-4	1,50	0,69	Muy bajo	Muy bajo	28,50	Alto
54	I-5	0,62	0,65	Muy bajo	Muy bajo	27,14	Alto
55	I-6	2,38	0,69	Muy bajo	Muy bajo	27,19	Alto
56	I-7	9,19	15,00	Muy bajo	Bajo	63,66	Alto
57	I-8	nd	17,50	Muy bajo	Bajo	39,16	Alto
58	II-1	nd	3,72	Muy bajo	Muy bajo	87,80	Alto
59	II-2	nd	2,50	Muy bajo	Muy bajo	31,39	Alto
60	II-3	nd	7,19	Muy bajo	Muy bajo	37,62	Alto
61	II-4	nd	4,29	Muy bajo	Muy bajo	28,62	Alto
62	III-1	0,42	39,25	Muy bajo	Medio	90,48	Alto
63	III-2	nd	4,46	Muy bajo	Muy bajo	90,64	Alto
64	III-3	1,54	4,59	Muy bajo	Muy bajo	67,78	Alto
65	III-4	nd	4,16	Muy bajo	Muy bajo	52,21	Alto
66	III-5	0,96	6,95	Muy bajo	Muy bajo	31,08	Alto
67	III-6	nd	7,00	Muy bajo	Muy bajo	28,47	0

Nitrógeno inorgánico en el suelo			Fósforo de Olsen		
Clase	mg Kg ⁻¹		Clase	mg Kg ⁻¹	
Muy bajo	0	10	Bajo	Menor a	5,5
Bajo	10	20	Medio	5,5	11
Medio	20	40	Alto	Mayor a	11
Alto	60	60			
Muy alto	mayor a 60				

Nota. La Información recuperada de la base de datos de la investigación Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y se complementó con los parámetros establecidos por la NOM-021-RECNAT-2000.

Micronutrientes.

Micronutrientes		Fe	Clasificación de micronutrientes	Cu	Clasificación de micronutrientes	Mn	Clasificación de micronutrientes	Zn	Clasificación de micronutrientes
No. de muestra	Perfil	mg Kg ⁻¹							
1	1	6,69	Adecuado	0,272	Adecuado	7,20	Adecuado	0,21	Deficiente
2	2	5,60	Adecuado	0,132	Deficiente	8,65	Adecuado	0,19	Deficiente
3	3	6,12	Adecuado	0,178	Deficiente	5,33	Adecuado	0,17	Deficiente
4	4	6,29	Adecuado	0,142	Deficiente	7,35	Adecuado	0,07	Deficiente
5	5	6,77	Adecuado	0,266	Adecuado	7,49	Adecuado	0,19	Deficiente
6	6	6,97	Adecuado	0,261	Adecuado	5,21	Adecuado	0,26	Deficiente
7	7	7,13	Adecuado	1,360	Adecuado	11,29	Adecuado	3,10	Adecuado
8	8	8,91	Adecuado	1,959	Adecuado	11,15	Adecuado	4,49	Adecuado
9	9	7,53	Adecuado	1,596	Adecuado	11,08	Adecuado	4,12	Adecuado
10	10	7,09	Adecuado	1,403	Adecuado	13,16	Adecuado	3,93	Adecuado
11	11	7,65	Adecuado	1,363	Adecuado	11,00	Adecuado	3,57	Adecuado
12	12	7,92	Adecuado	1,674	Adecuado	8,95	Adecuado	5,27	Adecuado
13	13	6,04	Adecuado	0,172	Deficiente	6,93	Adecuado	0,18	Deficiente
14	14	6,54	Adecuado	0,360	Adecuado	7,55	Adecuado	0,82	Marginal
15	15	5,65	Adecuado	0,132	Deficiente	6,06	Adecuado	0,09	Deficiente
16	16	6,63	Adecuado	0,245	Adecuado	6,44	Adecuado	0,40	Deficiente
17	17	6,54	Adecuado	0,227	Adecuado	6,63	Adecuado	0,25	Deficiente
18	18	5,78	Adecuado	0,114	Deficiente	5,62	Adecuado	0,06	Deficiente
19	19	12,33	Adecuado	3,534	Adecuado	11,27	Adecuado	11,76	Adecuado
20	20	10,27	Adecuado	2,662	Adecuado	11,91	Adecuado	7,75	Adecuado
21	21	6,16	Adecuado	0,738	Adecuado	11,61	Adecuado	2,28	Adecuado
22	22	10,69	Adecuado	2,451	Adecuado	10,72	Adecuado	8,70	Adecuado
23	23	8,23	Adecuado	1,905	Adecuado	11,79	Adecuado	6,80	Adecuado
24	24	9,91	Adecuado	2,519	Adecuado	13,73	Adecuado	8,62	Adecuado
25	25	5,88	Adecuado	0,730	Adecuado	11,04	Adecuado	2,08	Adecuado
26	26	9,45	Adecuado	2,146	Adecuado	11,83	Adecuado	7,83	Adecuado
27	27	5,71	Adecuado	0,683	Adecuado	12,19	Adecuado	2,44	Adecuado
28	28	9,54	Adecuado	1,735	Adecuado	10,22	Adecuado	6,26	Adecuado
29	29	5,97	Adecuado	0,702	Adecuado	10,19	Adecuado	2,27	Adecuado
30	30	9,63	Adecuado	2,072	Adecuado	9,58	Adecuado	6,82	Adecuado
31	31	6,64	Adecuado	0,912	Adecuado	9,91	Adecuado	2,93	Adecuado
32	32	10,37	Adecuado	1,938	Adecuado	11,33	Adecuado	7,51	Adecuado
33	33	6,93	Adecuado	0,707	Adecuado	10,58	Adecuado	3,59	Adecuado
34	34	7,31	Adecuado	0,931	Adecuado	10,17	Adecuado	3,55	Adecuado
35	35	7,33	Adecuado	0,920	Adecuado	11,53	Adecuado	4,13	Adecuado
36	36	7,33	Adecuado	0,811	Adecuado	12,75	Adecuado	2,98	Adecuado
37	21	7,75	Adecuado	0,386	Adecuado	7,57	Adecuado	0,51	Marginal
38	22	6,28	Adecuado	0,139	Deficiente	5,88	Adecuado	0,14	Deficiente

Micronutrientes		Fe	Clasificación de micronutrientes	Cu	Clasificación de micronutrientes	Mn	Clasificación de micronutrientes	Zn	Clasificación de micronutrientes
No. de muestra	Perfil	mg Kg ⁻¹							
39	23	9,20	Adecuado	0,445	Adecuado	5,34	Adecuado	0,58	Marginal
40	41	8,03	Adecuado	1,142	Adecuado	14,18	Adecuado	3,72	Adecuado
41	42	8,44	Adecuado	1,582	Adecuado	9,33	Adecuado	6,18	Adecuado
42	43	6,73	Adecuado	0,768	Adecuado	6,85	Adecuado	2,30	Adecuado
43	44	10,37	Adecuado	1,104	Adecuado	4,78	Adecuado	2,74	Adecuado
44	45	7,50	Adecuado	0,260	Adecuado	4,47	Adecuado	0,37	Deficiente
45	51	9,88	Adecuado	1,481	Adecuado	10,58	Adecuado	5,42	Adecuado
46	52	5,90	Adecuado	0,422	Adecuado	6,19	Adecuado	1,30	Adecuado
47	53	7,95	Adecuado	0,868	Adecuado	4,49	Adecuado	2,57	Adecuado
48	54	6,32	Adecuado	0,293	Adecuado	3,60	Adecuado	0,66	Marginal
49	55	7,11	Adecuado	0,238	Adecuado	3,03	Adecuado	0,23	Deficiente
50	I-1	5,37	Adecuado	0,189	Deficiente	12,05	Adecuado	0,52	Marginal
51	I-2	6,53	Adecuado	0,133	Deficiente	4,46	Adecuado	0,24	Deficiente
52	I-3	6,65	Adecuado	0,149	Deficiente	4,88	Adecuado	0,46	Deficiente
53	I-4	6,36	Adecuado	0,140	Deficiente	4,53	Adecuado	0,30	Deficiente
54	I-5	6,46	Adecuado	0,155	Deficiente	3,15	Adecuado	0,37	Deficiente
55	I-6	9,87	Adecuado	0,340	Adecuado	11,54	Adecuado	0,59	Marginal
56	I-7	11,68	Adecuado	0,328	Adecuado	9,15	Adecuado	0,85	Marginal
57	I-8	4,82	Adecuado	0,179	Deficiente	3,07	Adecuado	0,12	Deficiente
58	II-1	6,70	Adecuado	0,764	Adecuado	7,94	Adecuado	3,85	Adecuado
59	II-2	7,46	Adecuado	0,230	Adecuado	3,30	Adecuado	0,22	Marginal
60	II-3	7,10	Adecuado	0,280	Adecuado	3,92	Adecuado	0,26	Marginal
61	II-4	5,62	Adecuado	0,194	Deficiente	2,67	Adecuado	0,14	Marginal
62	III-1	7,70	Adecuado	0,907	Adecuado	8,54	Adecuado	4,52	Adecuado
63	III-2	7,50	Adecuado	0,715	Adecuado	7,23	Adecuado	3,21	Adecuado
64	III-3	6,26	Adecuado	0,370	Adecuado	5,29	Adecuado	1,04	Adecuado
65	III-4	5,98	Adecuado	0,134	Deficiente	5,97	Adecuado	0,83	Marginal
66	III-5	6,56	Adecuado	0,143	Deficiente	5,98	Adecuado	0,20	Deficiente
67	III-6	7,33	Adecuado	0,165	Deficiente	5,65	Adecuado	0,13	Deficiente

Clase	Fe	Cu	Zn	Mn
	mg Kg ⁻¹			
Deficiente	Menor a 2,5	Menor a 0,2	menor a 0,5	menor a 1
Marginal	2,5 - 4,5	-	0,5 - 1	-
Adecuado	Mayor a 4,5	Mayor a 0,2	mayor a 1	Mayor a 1

Nota. La Información recuperada de la base de datos de la investigación Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y se complementó con los parámetros establecidos por la NOM-021-RECNAT-2000.

CaCO3 Equivalente.

Propiedades de campo		Carbonato de Calcio Equivalente	Clase
No. de muestra	Perfil	%	
1	1	13,73	Mediano
2	2	13,73	Mediano
3	3	12,42	Mediano
4	4	13,07	Mediano
5	5	13,07	Mediano
6	6	15,03	Mediano
7	7	49,02	Muy alto
8	8	44,44	Muy alto
9	9	46,41	Muy alto
10	10	46,41	Muy alto
11	11	38,56	Alto
12	12	47,71	Muy alto
13	13	25,49	Alto
14	14	32,03	Alto
15	15	45,10	Muy alto
16	16	26,14	Alto
17	17	22,22	Alto
18	18	18,30	Alto
19	19	28,76	Alto
20	20	32,68	Alto
21	21	32,03	Alto
22	22	27,45	Alto
23	23	29,41	Alto
24	24	28,76	Alto
25	25	32,03	Alto
26	26	30,07	Alto
27	27	30,72	Alto
28	28	25,49	Alto
29	29	32,03	Alto
30	30	33,99	Alto
31	31	33,33	Alto
32	32	32,03	Alto
33	33	36,60	Alto
34	34	34,64	Alto
35	35	35,29	Alto
36	36	35,29	Alto
37	21	26,80	Alto
38	22	24,18	Alto
39	23	32,68	Alto
40	41	19,61	Alto

Propiedades de campo		Carbonato de Calcio Equivalente	Clase
No. de muestra	Perfil	%	
41	42	28,10	Alto
42	43	33,99	Alto
43	44	32,03	Alto
44	45	18,95	Alto
45	51	26,80	Alto
46	52	25,49	Alto
47	53	24,18	Alto
48	54	20,26	Alto
49	55	16,34	Alto
50	I-1	16,99	Alto
51	I-2	17,65	Alto
52	I-3	16,99	Alto
53	I-4	18,95	Alto
54	I-5	41,18	Muy alto
55	I-6	36,60	Alto
56	I-7	45,75	Muy alto
57	I-8	60,78	Muy alto
58	II-1	29,41	Alto
59	II-2	28,76	Alto
60	II-3	25,49	Alto
61	II-4	39,22	Alto
62	III-1	32,68	Alto
63	III-2	32,03	Alto
64	III-3	28,10	Alto
65	III-4	18,95	Alto
66	III-5	20,92	Alto
67	III-6	28,10	Alto

Clase	% CaCO ₃	
Muy bajo	menor	0,5
Bajo	0,6	2
Medio	2,2	15
Alto	17	40
Muy alto	mayor	40

Nota. La Información recuperada de la base de datos de la investigación Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y se complementó con los parámetros establecidos por la NOM-021-RECNAT-2000.

Salinidad.

Cationes		Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio
No. de muestra	Perfil	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹
1	1	8827	840	422	406
2	2	8882	761	328	504
3	3	7497	708	350	332
4	4	8632	955	362	466
5	5	9168	1024	406	462
6	6	9421	666	326	368
7	7	9841	937	630	274
8	8	10413	971	590	312
9	9	10381	943	626	332
10	10	9692	951	622	290
11	11	9857	955	622	282
12	12	9023	895	566	264
13	13	8755	948	416	302
14	14	10596	892	392	310
15	15	9182	845	510	242
16	16	10120	750	372	284
17	17	9689	789	388	326
18	18	10292	885	356	330
19	19	9112	1000	460	246
20	20	9083	817	480	208
21	21	8954	836	510	202
22	22	8746	757	442	216
23	23	9049	773	522	202
24	24	9245	874	488	242
25	25	7369	715	532	236
26	26	7057	814	478	224
27	27	8152	898	458	206
28	28	5991	934	488	156
29	29	8744	914	444	214
30	30	8573	946	436	246
31	31	8743	901	518	236
32	32	8278	893	516	210
33	33	9289	1142	532	254
34	34	8623	759	412	204
35	35	9009	794	462	198
36	36	8023	857	556	248
37	21	9478	901	422	390
38	22	8873	1036	440	376
39	23	10284	1543	464	400
40	41	8758	1004	554	194

Cationes		Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio
No. de muestra	Perfil	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹
41	42	7396	916	490	200
42	43	8882	970	500	206
43	44	8024	896	426	200
44	45	9040	748	382	194
45	51	9801	765	486	184
46	52	9280	726	438	170
47	53	8924	703	350	152
48	54	8360	532	290	144
49	55	8911	469	256	124
50	I-1	10422	892	418	284
51	I-2	9951	1081	362	290
52	I-3	9703	1170	382	246
53	I-4	8594	1063	356	256
54	I-5	10104	1884	476	496
55	I-6	8084	1809	510	348
56	I-7	10237	1451	550	356
57	I-8	12381	1434	866	434
58	II-1	9853	1028	532	226
59	II-2	10681	1568	460	416
60	II-3	10209	1775	500	448
61	II-4	10839	2041	500	446
62	III-1	10090	1141	482	240
63	III-2	9127	861	428	220
64	III-3	8922	824	358	190
65	III-4	9423	963	408	246
66	III-5	10494	1045	460	332
67	III-6	10977	1043	402	372

Elemento	Cargas	Peso Molecular	Peso eq
Ca	2	40	20
Mg	2	24,30	12,15
Na	1	23	23
K	1	39	39
NH4	1	18	18
Cl	1	35,5	35,5
SO4	2	96	48
CO3H	1	61	61
NO3	1	62	62
PO4	2	95	47,5

Nota. La Información recuperada de la base de datos de la investigación Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y se complementó con los parámetros establecidos por la NOM-021-RECNAT-2000.

Materia Orgánica.

No. de muestra	Perfil	Cationes	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	SUMA	RAS	PSI	CE	pH
		meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L soluble	%	dS m ⁻¹	
1	1	441,33	69,168724	10,82051	17,652174	538,97141	1,104882	0,3683391	0,70	8,15	
2	2	444,12	62,633745	8,410256	21,913043	537,07704	1,376636	0,7646466	1,98	7,44	
3	3	374,85	58,288066	8,974359	14,434783	456,54721	0,980871	0,1864371	0,38	8,23	
4	4	431,6	78,600823	9,282051	20,26087	539,74374	1,268535	0,6073777	0,80	8,11	
5	5	458,42	84,312757	10,41026	20,086957	573,22997	1,219372	0,5356882	0,90	8,10	
6	6	471,05	54,781893	8,358974	16	550,19087	0,98676	0,1950896	0,56	8,25	
7	7	492,05	77,152263	16,15385	11,913043	597,26915	0,706162	-0,218889	0,52	8,14	
8	8	520,63	79,950617	15,12821	13,565217	629,27404	0,78281	-0,105467	0,74	8,08	
9	9	519,06	77,580247	16,05128	14,434783	627,12631	0,835736	-0,027297	0,85	8,12	
10	10	484,62	78,238683	15,94872	12,608696	591,4161	0,751598	-0,151623	0,76	8,07	
11	11	492,87	78,567901	15,94872	12,26087	599,64749	0,725357	-0,190461	0,58	8,27	
12	12	451,17	73,662551	14,51282	11,478261	550,82363	0,708567	-0,215327	0,83	8,07	
13	13	437,73	78,024691	10,66667	13,130435	539,55179	0,81766	-0,053981	0,45	8,43	
14	14	529,81	73,399177	10,05128	13,478261	626,73872	0,776095	-0,115393	0,61	8,33	
15	15	459,12	69,530864	13,07692	10,521739	552,24953	0,64717	-0,306361	0,52	8,38	
16	16	506,02	61,744856	9,538462	12,347826	589,65114	0,73286	-0,179352	0,40	8,63	
17	17	484,47	64,971193	9,948718	14,173913	573,56382	0,855154	0,0013516	0,50	8,54	
18	18	514,62	72,872428	9,128205	14,347826	610,96846	0,837144	-0,02522	0,62	8,42	
19	19	455,59	82,288066	11,79487	10,695652	560,36859	0,652199	-0,298897	0,43	8,39	
20	20	454,15	67,27572	12,30769	9,0434783	542,77689	0,560085	-0,435765	0,66	8,25	
21	21	447,7	68,839506	13,07692	8,7826087	538,39904	0,546496	-0,455989	0,57	8,25	
22	22	437,29	62,337449	11,33333	9,3913043	520,35209	0,59418	-0,385062	0,53	8,26	
23	23	452,46	63,654321	13,38462	8,7826087	538,28155	0,546721	-0,455654	0,54	8,31	
24	24	462,26	71,934156	12,51282	10,521739	557,22872	0,643803	-0,311357	0,84	8,10	
25	25	368,46	58,847737	13,64103	10,26087	451,20963	0,701987	-0,225075	0,66	8,18	
26	26	352,84	67,028807	12,25641	9,7391304	441,86435	0,672169	-0,269274	0,45	8,32	
27	27	407,58	73,893004	11,74359	8,9565217	502,17312	0,577256	-0,410223	0,47	8,29	
28	28	299,57	76,872428	12,51282	6,7826087	395,73786	0,494382	-0,533619	0,49	8,25	
29	29	437,22	75,209877	11,38462	9,3043478	533,11884	0,581278	-0,404243	0,54	8,26	
30	30	428,64	77,82716	11,17949	10,695652	528,3423	0,67212	-0,269347	0,43	8,42	
31	31	437,14	74,123457	13,28205	10,26087	534,80638	0,641766	-0,31438	0,51	8,40	
32	32	413,92	73,481481	13,23077	9,1304348	509,76269	0,584875	-0,398894	0,54	8,28	
33	33	464,43	94,00823	13,64103	11,043478	583,12273	0,660896	-0,285994	0,61	8,28	
34	34	431,13	62,469136	10,5641	8,8695652	513,0328	0,564586	-0,429069	0,36	8,48	
35	35	450,43	65,316872	11,84615	8,6086957	536,20172	0,536085	-0,471486	0,51	8,26	
36	36	401,15	70,502058	14,25641	10,782609	496,69108	0,702147	-0,224838	0,83	8,16	
37	21	473,92	74,123457	10,82051	16,956522	575,82049	1,02434	0,250274	0,84	8,51	
38	22	443,64	85,300412	11,28205	16,347826	556,57029	1,005244	0,2222404	0,64	8,36	

Cationes		Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	SUMA	RAS	PSI	CE	pH
No. de muestra	Perfil	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L soluble	%	dS m ⁻¹	
39	23	514,2	127,01235	11,89744	17,391304	670,50109	0,971284	0,1723463	0,59	8,47
40	41	437,92	82,617284	14,20513	8,4347826	543,17719	0,522833	-0,491223	0,57	8,24
41	42	369,79	75,358025	12,5641	8,6956522	466,40778	0,582861	-0,401889	0,43	8,31
42	43	444,08	79,802469	12,82051	8,9565217	545,6595	0,553398	-0,445716	0,39	8,39
43	44	401,18	73,761317	10,92308	8,6956522	494,56005	0,564283	-0,429519	0,33	8,49
44	45	451,98	61,547325	9,794872	8,4347826	531,75698	0,526389	-0,485925	0,06	7,97
45	51	490,07	62,946502	12,46154	8	573,47804	0,481101	-0,553422	0,51	8,16
46	52	463,98	59,769547	11,23077	7,3913043	542,37162	0,456745	-0,589758	0,30	8,44
47	53	446,22	57,860082	8,974359	6,6086957	519,66314	0,416276	-0,650194	0,28	8,53
48	54	418	43,753086	7,435897	6,2608696	475,44985	0,412045	-0,656515	0,24	8,68
49	55	445,57	38,633745	6,564103	5,3913043	496,15915	0,346493	-0,754574	0,23	8,66
50	I-1	521,1	73,382716	10,71795	12,347826	617,54849	0,716203	-0,204017	0,98	8,17
51	I-2	497,55	88,971193	9,282051	12,608696	608,41194	0,736281	-0,174289	0,35	8,57
52	I-3	485,13	96,329218	9,794872	10,695652	601,94974	0,627282	-0,335884	0,44	8,44
53	I-4	429,68	87,522634	9,128205	11,130435	537,46127	0,692144	-0,23966	0,42	8,41
54	I-5	505,2	155,02881	12,20513	21,565217	693,99915	1,18692	0,4883114	0,62	8,67
55	I-6	404,19	148,90535	13,07692	15,130435	581,30271	0,909843	0,081951	0,77	8,38
56	I-7	511,87	119,45679	14,10256	15,478261	660,90762	0,871184	0,0249906	0,74	8,38
57	I-8	619,05	118,00823	22,20513	18,869565	778,13292	0,982938	0,1894734	0,65	8,43
58	II-1	492,66	84,609053	13,64103	9,826087	600,73617	0,578371	-0,408565	0,53	8,28
59	II-2	534,03	129,03704	11,79487	18,086957	692,94887	0,993349	0,2047693	0,43	8,53
60	II-3	510,47	146,07407	12,82051	19,478261	688,84285	1,075061	0,324658	0,58	8,57
61	II-4	541,94	167,95062	12,82051	19,391304	742,10243	1,029263	0,257498	0,47	8,66
62	III-1	504,49	93,925926	12,35897	10,434783	621,20968	0,603249	-0,371583	0,60	7,96
63	III-2	456,35	70,847737	10,97436	9,5652174	547,73731	0,589146	-0,392544	0,82	7,75
64	III-3	446,12	67,802469	9,179487	8,2608696	531,36283	0,515338	-0,502388	0,33	8,30
65	III-4	471,17	79,242798	10,46154	10,695652	571,56999	0,64473	-0,309981	0,41	8,23
66	III-5	524,7	85,975309	11,79487	14,434783	636,90496	0,826076	-0,041555	0,42	8,25
67	III-6	548,87	85,843621	10,30769	16,173913	661,19523	0,907907	0,0790997	0,63	8,23

Ce dS m ⁻¹ a 25°C		Salinidad
menor a	1	No salino
1,1	2	Muy ligeramente salino
2,1	4	Moderadamente salino
4,1	8	Suelo Salino
8,1	16	Fuertemente salino
mayor a	16	Muy fuertemente salino

Nota. La Información recuperada de la base de datos de la investigación Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y se complementó con los parámetros establecidos por la NOM-021-RECNAT-2000.

Materia Orgánica.

Boro				
No. de muestra	Perfil	mg Kg ⁻¹	ppm	Rango
1	1	2,00	2,00	Alto
2	2	1,48	1,48	Alto
3	3	1,98	1,98	Alto
4	4	2,08	2,08	Alto
5	5	2,00	2,00	Alto
6	6	1,73	1,73	Alto
7	7	2,73	2,73	Muy alto
8	8	2,66	2,66	Muy alto
9	9	2,94	2,94	Muy alto
10	10	2,41	2,41	Muy alto
11	11	3,04	3,04	Muy alto
12	12	2,34	2,34	Muy alto
13	13	1,95	1,95	Alto
14	14	2,18	2,18	Muy alto
15	15	1,16	1,16	Medio
16	16	1,13	1,13	Medio
17	17	1,76	1,76	Alto
18	18	1,56	1,56	Alto
19	19	2,93	2,93	Muy alto
20	20	2,18	2,18	Muy alto
21	21	3,48	3,48	Muy alto
22	22	4,56	4,56	Muy alto
23	23	3,86	3,86	Muy alto
24	24	3,75	3,75	Muy alto
25	25	4,06	4,06	Muy alto
26	26	3,77	3,77	Muy alto
27	27	3,50	3,50	Muy alto
28	28	3,02	3,02	Muy alto
29	29	3,65	3,65	Muy alto
30	30	3,81	3,81	Muy alto
31	31	3,92	3,92	Muy alto
32	32	3,68	3,68	Muy alto
33	33	3,71	3,71	Muy alto
34	34	3,08	3,08	Muy alto
35	35	3,53	3,53	Muy alto
36	36	3,48	3,48	Muy alto
37	21	2,36	2,36	Muy alto
38	22	1,93	1,93	Alto

Boro				
No. de muestra	Perfil	mg Kg ⁻¹	ppm	Rango
39	23	2,65	2,65	Muy alto
40	41	2,64	2,64	Muy alto
41	42	2,91	2,91	Muy alto
42	43	2,93	2,93	Muy alto
43	44	2,22	2,22	Muy alto
44	45	1,93	1,93	Alto
45	51	2,93	2,93	Muy alto
46	52	2,58	2,58	Muy alto
47	53	2,12	2,12	Muy alto
48	54	1,76	1,76	Alto
49	55	1,56	1,56	Alto
50	I-1	1,68	1,68	Alto
51	I-2	1,38	1,38	Alto
52	I-3	1,13	1,13	Medio
53	I-4	1,09	1,09	Medio
54	I-5	1,52	1,52	Alto
55	I-6	1,46	1,46	Alto
56	I-7	2,04	2,04	Alto
57	I-8	2,02	2,02	Alto
58	II-1	2,94	2,94	Muy alto
59	II-2	3,72	3,72	Muy alto
60	II-3	2,37	2,37	Muy alto
61	II-4	2,62	2,62	Muy alto
62	III-1	2,88	2,88	Muy alto
63	III-2	2,60	2,60	Muy alto
64	III-3	1,91	1,91	Alto
65	III-4	1,91	1,91	Alto
66	III-5	1,87	1,87	Alto
67	III-6	2,28	2,28	Muy alto

Rango	ppm	
Muy bajo	menor	0,39
Bajo	0,39	0,79
Medio	0,8	1,29
Alto	1,3	2,1
Muy alto	mayor	2,1

Nota: Recuperado de la base de datos de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

Metales potencialmente tóxicos.

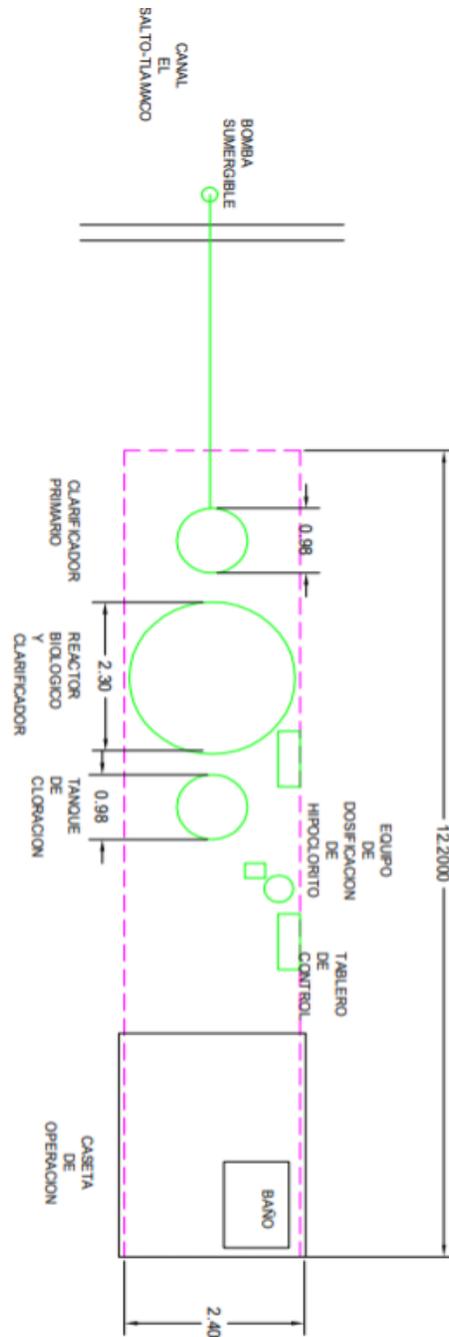
Metales potencialmente tóxicos		Cadmio	Tolerancia del cultivo	Plomo	Tolerancia del cultivo	Níquel	Tolerancia del cultivo
No de muestra	Perfil	mg Kg ⁻¹		mg Kg ⁻¹		mg Kg ⁻¹	
1	1	0,008	Normal	0,286	Normal	0,550	Normal
2	2	0,01	Normal	0,202	Normal	0,402	Normal
3	3	0,004	Normal	0,282	Normal	0,278	Normal
4	4	0,012	Normal	0,236	Normal	0,332	Normal
5	5	0,018	Normal	0,196	Normal	0,384	Normal
6	6	nd	-	0,204	Normal	0,464	Normal
7	7	0,124	Normal	1,03	Normal	1,302	Normal
8	8	0,156	Normal	1,036	Normal	1,714	Normal
9	9	0,084	Normal	0,804	Normal	1,200	Normal
10	10	0,122	Normal	1,076	Normal	1,606	Normal
11	11	0,108	Normal	1,046	Normal	1,196	Normal
12	12	0,062	Normal	0,716	Normal	1,094	Normal
13	13	nd	-	0,39	Normal	0,494	Normal
14	14	nd	-	0,296	Normal	0,518	Normal
15	15	0,008	Normal	0,245	Normal	0,373	Normal
16	16	nd	-	0,388	Normal	0,284	Normal
17	17	0,01	Normal	0,342	Normal	0,380	Normal
18	18	0,01	Normal	0,318	Normal	0,306	Normal
19	19	0,21	Normal	2,04	Normal	1,962	Normal
20	20	0,154	Normal	1,794	Normal	1,450	Normal
21	21	0,128	Normal	1,726	Normal	1,246	Normal
22	22	0,156	Normal	1,288	Normal	1,404	Normal
23	23	0,172	Normal	1,32	Normal	1,396	Normal
24	24	0,198	Normal	1,484	Normal	1,632	Normal
25	25	0,172	Normal	1,524	Normal	1,238	Normal
26	26	0,148	Normal	1,524	Normal	1,488	Normal
27	27	0,146	Normal	1,27	Normal	1,256	Normal
28	28	0,112	Normal	1,46	Normal	1,096	Normal
29	29	0,126	Normal	1,142	Normal	1,096	Normal
30	30	0,13	Normal	1,303	Normal	1,149	Normal
31	31	0,156	Normal	1,406	Normal	1,358	Normal
32	32	0,146	Normal	1,524	Normal	1,170	Normal
33	33	0,128	Normal	1,294	Normal	1,208	Normal
34	34	0,086	Normal	0,802	Normal	1,018	Normal
35	35	0,116	Normal	0,828	Normal	1,112	Normal

Metales potencialmente tóxicos		Cadmio	Tolerancia del cultivo	Plomo	Tolerancia del cultivo	Níquel	Tolerancia del cultivo
No de muestra	Perfil	mg Kg ⁻¹		mg Kg ⁻¹		mg Kg ⁻¹	
36	36	0,13	Normal	1,078	Normal	1,276	Normal
37	21	0,046	Normal	0,3	Normal	0,276	Normal
38	22	0,024	Normal	0,422	Normal	0,300	Normal
39	23	0,026	Normal	0,466	Normal	0,322	Normal
40	41	0,2	Normal	1,408	Normal	1,336	Normal
41	42	0,2	Normal	1,466	Normal	1,208	Normal
42	43	0,142	Normal	1,454	Normal	0,994	Normal
43	44	0,084	Normal	0,766	Normal	0,577	Normal
44	45	0,046	Normal	0,49	Normal	0,260	Normal
45	51	0,116	Normal	0,948	Normal	0,936	Normal
46	52	0,122	Normal	0,918	Normal	0,892	Normal
47	53	0,062	Normal	0,54	Normal	0,460	Normal
48	54	0,054	Normal	0,392	Normal	0,380	Normal
49	55	0,023	Normal	0,08	Normal	0,293	Normal
50	I-1	0,032	Normal	0,304	Normal	0,402	Normal
51	I-2	0,028	Normal	0,306	Normal	0,154	Normal
52	I-3	0,016	Normal	0,38	Normal	0,226	Normal
53	I-4	0,014	Normal	0,316	Normal	0,088	Normal
54	I-5	nd	-	0,398	Normal	0,018	Normal
55	I-6	0,006	Normal	0,804	Normal	0,480	Normal
56	I-7	0,034	Normal	1,128	Normal	0,834	Normal
57	I-8	nd	Normal	0,238	Normal	0,010	Normal
58	II-1	0,168	Normal	1,661	Normal	1,127	Normal
59	II-2	nd	-	0,348	Normal	0,116	Normal
60	II-3	nd	-	0,22	Normal	nd	-
61	II-4	nd	-	0,334	Normal	nd	-
62	III-1	0,14	Normal	1,444	Normal	1,258	Normal
63	III-2	0,132	Normal	1,278	Normal	1,038	Normal
64	III-3	0,064	Normal	0,824	Normal	0,520	Normal
65	III-4	0,03	Normal	0,28	Normal	0,368	Normal
66	III-5	0,014	Normal	0,34	Normal	0,242	Normal
67	III-6	0,026	Normal	0,281	Normal	0,224	0

Clase	Cd mg Kg ⁻¹	Pb	Ni
Normal	0,35	35	50
Peligroso	3	100	100
	5	300	

Notas. Para Como y Arsénico muestra nd y k/mg-1 y no presenta dato de Resistencia del cultivo. La Información recuperada de la base de datos de la investigación Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) y se complementó con los parámetros establecidos por la NOM-021-RECNAT-2000.

Anexo 6. Lay out de la planta paquete



Nota. En la figura se muestra el Lay Out de la PTAR portátil o Planta paquete. Recuperado de la base de datos de la investigación inédita denominada Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

Anexo 6.1. Fotografías de la planta de tratamiento de aguas residuales paquete

Caseta de operación y baños



Nota. En la figura se muestra la caseta de operación y los baños portátiles de la Planta paquete. Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

Tanque de aireación y reactor biológico clarificador



Nota. En la figura se muestra el tanque de aireación y el reactor biológico de la Planta paquete. Esta fotografía fue recuperada del archivo fotográfico de la base de datos de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014).

Estado actual del predio federal en el que se montó la PTAR paquete.



Nota. En la figura se muestran las condiciones actuales (6 años después) del predio donde se montó la PTAR paquete. Elaboración propia.

Anexo 7. Matrices para la evaluación del impacto ambiental

Tabla A.20.

Matrices para la determinación de la importancia de los impactos. Elaboración propia mediante el método desarrollado por Fernández-Vitoria (2019).

Anexo 8. Datos de los parámetros evaluados del Agua residual y tratada proporcionados por la PTAR de Atotonilco.

Resultados de los parámetros evaluados en el agua residual del Canal Salto-Tlamaco.

Parámetro	Unidad	Estiaje			Lluvias		
		Promedio Estacional	Promedio Máximo Mensual	Promedio Máximo Diario	Promedio Estacional	Promedio Máximo Mensual	Promedio Máximo Diario
Temperatura	°C	18.5	21	21	21	22	24
pH	U pH	7.8	7.9	8	7.9	7.7	7.8
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₂	440.5	472.5	455	342.5	383.5	437
Solidos suspendidos Totales	mg/L	250	295	400	400	495	592.5
Solidos suspendidos Volátiles	mg/L	150	185	240	250	307.5	379
DBO5 Total	mg/L	250	272.5	392.5	200	222.5	251
DBO5 Soluble	mg/L	140	184	200	122.5	131	150
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	40	44	51	25	31	35.5
Nitrógeno amoniacal	mg/L	28	35	30	17	26	26
Nitratos más Nitritos como N	mg/L	0.15	0.15	0.15	<0.15	<0.15	<0.16
Sulfatos	mg/L	110	133	125.5	100	127	125.5
Fosforo total	mg/L	12	14	16	9	11	12
Grasas y Aceites	mg/L	87.5	100	120.5	35	39	44.5
Sulfuros	mg/L	10	12.5	14.5	4.5	10	12.5
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	6.00E+07	4.46E+07	2.00E+08	1.00E+08	1.00E+09	2.50E+09
Huevos de Helminto	H/L	3	3	4	4	5	6

Nota. En la tabla se muestran los estudios de la calidad del agua residual efectuados y reportados por la PTAR de Atotonilco de los caudales pertenecientes al canal el Salto Tlamaco, mismo del fue tomada el agua para el experimento realizado en las parcelas demostrativas en el 2014. Cabe resaltar que la diferencia de los valores reportados es casi nula.

Anexo 9. Calidad del agua tratada al salir de la PTAR de Atotonilco y de la planta paquete.

Los Estudios de la calidad del agua tratada fueron efectuados y reportados por la PTAR de Atotonilco correspondientes al tren de procesos convencionales (biológicos). Se hace la aclaración que el AT usada en el experimento referenciado proveniente de la planta paquete obtuvo resultados en extremo similares en los parámetros evaluados.

Resultados de los parámetros evaluados en el agua tratada al salir de la PTAR de Atotonilco.

Parámetro	Unidad	Estiaje		Lluvias	
		Promedio Estacional	Promedio Máximo Diario	Promedio Estacional	Promedio Máximo Diario
Temperatura	°C	19	20	21	22
pH	U pH	6.5-8.5	6.5-8.6	6.5-8.7	6.5-8.8
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₂	n.a	n.a	n.a	n.a
Solidos suspendidos Totales	mg/L	40	60	70	105
Solidos suspendidos Volátiles	mg/L	n.a	n.a	n.a	n.a
DBO5 Total	mg/L	30	60	35	60
DBO5 Soluble	mg/L				
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	n.a	n.a	n.a	n.a
Nitrógeno amoniacal	mg/L	n.a	n.a	n.a	n.a
Nitratos más Nitritos como N	mg/L	n.a	n.a	n.a	n.a
Sulfatos	mg/L	n.a	n.a	n.a	n.a
Fosforo total	mg/L	n.a	n.a	n.a	n.a
Grasas y Aceites	mg/L	15	25	15	25
Sulfuros	mg/L	n.a	n.a	n.a	n.a
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	1.00E+03	2.00E+03	1.00E+03	2.00E+03
Huevos de Helminto	H/L	1	1	1	1

Nota. En la tabla se muestran los estudios de la calidad del AT correspondientes al tren de procesos convencionales (biológicos). Se hace la aclaración que el AT usada en el experimento de la investigación inédita Uso de parcelas demostrativas y planta paquete para evaluar la rentabilidad del riego con AT (2014) proveniente de la planta paquete obtuvo resultados en extremo similares en los parámetros evaluados, por lo que podrían considerarse aguas de igual calidad para efectos de esta investigación.

Resultados de los parámetros evaluados en el agua tratada al salir de la planta paquete,

Parámetro	Unidad	Promedio mensual	Promedio Máximo Diario
Temperatura	°C	18	19
	°C	Condiciones naturales +1.5	Condiciones naturales+2.5
pH	U pH	6.5-8.7	6.5-8.8
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₂	n.a	n.a
Sólidos suspendidos Totales Estiaje	mg/L	40	60
Sólidos suspendidos Totales Lluvias	mg/L	70	105
DBO5 Total Estiaje	mg/L	30	60
DBO5 Total Lluvias	mg/L	35	60
Coliformes fecales	NMP/100 ML	1000	2000
Huevos de Helminto	Huevos por litro	1	3
Cloro residual	mg/L	0.5	1
Materia Flotante	mg/L	Ausente	Ausente
Fosforo total	mg/L	3	4
Grasas y Aceites	mg/L	15	25
Sólidos sedimentables	mg/L	1	2

Nota. En la tabla se muestran los estudios de la calidad del AT al salir de la PTAR paquete durante el experimento de la investigación citada; a fin de comparativo con la calidad reportada por la PTAR de Atotonilco.

Demás Anexos en el archivo adjunto de Excel

Elizagaray_Mandujano_MC_Hidrociencias_2021_Anexos.xlsx