



# AGENDA ESTRATÉGICA DEL TecNM "AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

Versión 2.0 2023





## Directorio

Prof. Ramón Jiménez López  
Director General del Tecnológico Nacional de México

Mtro. Jorge Santos Valencia  
Secretario de Planeación, Evaluación y Desarrollo Institucional

Campus del Tecnológico Nacional México Coordinadores

- Instituto Tecnológico de Aguascalientes
- Instituto Tecnológico de Boca del Río
- Instituto Tecnológico de Tijuana
- Instituto Tecnológico de Toluca
- Instituto Tecnológico del Valle de Etla
- Instituto Tecnológico de Villahermosa

Ciudad de México, Mayo 2023



## Presentación de la Agenda

El Tecnológico Nacional de México (TecNM) está integrado por 254 campus, distribuidos en 32 entidades federativas en la República Mexicana. De los cuáles, 187 planteles imparten alguna asignatura relacionada con el tema del agua dentro del plan de estudios de las carreras de Ing. Ambiental, Ing. Bioquímica, Ing. Civil, Ing. en Acuicultura, Ing. en agronomía, Ing. en Desarrollo comunitario, Ing. en Innovación Agrícola Sustentable, Ing. en Minería, Ing. Forestal, Ing. Hidrológica, Ing. Industrial (en algunos campus), Ing. Química y Lic. en Biología.

En México, el tema del agua es una prioridad, ya que éste se encuentra relacionado directamente con el sexto objetivo del Desarrollo Sostenible *"Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos"* de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Particularmente, en México, uno de los objetivos del Programa Nacional Hídrico (PNH) 2020-2024, es garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable. Este objetivo del PNH está relacionado con el derecho humano al agua, ya que este vital líquido es indispensable para vivir dignamente y es condición previa para la realización de los otros derechos humanos. En este contexto, el TecNM comprometido con el desarrollo sostenible de México, instaló el 15 de marzo de 2023 la **Agenda Estratégica de TecNM Agua Limpia y Saneamiento**, cuyo objetivo general es contribuir de una manera sinérgica con las diversas dependencias federales, estatales y municipales en la gestión sustentable del recurso hídrico, manejo de aguas residuales y cultura del agua, e impulsar mediante propuestas tecnológicas, mejorar



la calidad del agua, reducir la contaminación y fomentar el reúso del vital líquido en diferentes actividades públicas e industriales.

La agenda Estratégica del TecNM Agua limpia y Saneamiento está conformada por los siguientes ejes estratégicos:

- 1) *Captación de agua*
- 2) *Cuidado del agua*
- 3) *Métodos de tratamiento de agua potable*
- 4) *Métodos de tratamiento de aguas residuales*
- 5) *recuperación y reúso del agua*
- 6) *Monitoreo de la calidad del agua*
- 7) *Tecnologías emergentes.*

Además, contempla un eje transversal denominado *Educación y capacitación*.

El TecNM está convencido que, de la mano de la educación, se puede avanzar en la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, el agua entre ellos, fomentando que las y los jóvenes, participen efectivamente en la conservación y restablecimiento de los ecosistemas que proveen de este vital líquido.



## Índice

|                                                                                      | Página |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>1. Introducción</b>                                                               | 6      |
| <b>2. Contexto Institucional</b>                                                     | 7      |
| 2.1 Campus del TecNM con carreras afines al tema del agua                            | 8      |
| <b>3. Descripción de Ejes Estratégicos, Objetivos, Metas, Acciones e Indicadores</b> | 22     |
| 3.1 Captación de Agua                                                                | 23     |
| 3.2 Cuidado del Agua                                                                 | 34     |
| 3.3 Métodos de tratamiento de agua potable                                           | 45     |
| 3.4 Métodos de tratamiento de aguas residuales                                       | 56     |
| 3.5 Recuperación y reúso del agua                                                    | 71     |
| 3.6 Monitoreo de la calidad del agua                                                 | 82     |
| 3.7 Tecnologías emergentes                                                           | 93     |
| 3.8 Educación y capacitación (Eje transversal)                                       | 102    |
| <b>3 Resultados preliminares</b>                                                     | 109    |
| <b>4 Conclusiones</b>                                                                | 115    |



## 1. Introducción

El 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el derecho humano al agua y al saneamiento. Específicamente, la observación general No. 15 del Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas (Comité DESC) señala que el agua es un recurso natural limitado y un bien público fundamental para la vida y la salud. No obstante, de acuerdo con información presentada en la Conferencia de la ONU sobre el Agua 2023, cerca de 2000 millones de personas carecen de agua potable salubre y 3600 millones de personas, prácticamente la mitad de la población mundial, utilizan servicios de saneamiento que no tratan los desechos humanos. En este sentido, México está tomando acciones en pro del desarrollo sostenible y muestra de ello es que en el Programa Nacional Hídrico (PNH) 2020-2024, uno de los objetivos es garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento. Así mismo, es importante mencionar que el PNH es un programa especial derivado del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024 y, además, está alineado al Programa de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT) 2020-2024.

La Agenda Estratégica del TecNM Agua Limpia y Saneamiento nace como una iniciativa del TecNM para contribuir con el desarrollo sostenible de México, ya que considera que la base del cuidado del vital líquido es la cultura del agua. Esta cultura implica generar en las y los jóvenes una consciencia responsable sobre el uso racional del vital líquido, la importancia del agua para el desarrollo de todo ser vivo, la disponibilidad del recurso en su entorno y las acciones necesarias para obtenerla, distribuirla, desalojarla, limpiarla y reutilizarla.



## 2. Contexto Institucional

El Tecnológico Nacional de México (TecNM) está integrado por 126 Institutos Tecnológicos Federales, 122 Descentralizados, 4 Centros Regionales de Optimización y Desarrollo de Equipo (CRODES´S), 1 Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica (CIIDET) y 1 Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), distribuidos en 32 entidades federativas en la República Mexicana. El TecNM cuenta con Programas de Licenciatura en 8 campos de formación: 02 Artes y humanidades, 03 Ciencias Sociales y derecho, 04 Administración y negocios, 05 Ciencias naturales, matemáticas y estadística, 06 Tecnologías de la información y comunicación, 07 Ingeniería, manufactura y construcción, 08 Agronomía y veterinaria y 10 Servicios.

El TecNM es el sistema de educación tecnológica más grande de Latinoamérica cuya misión, visión y valores se describen a continuación:

**Misión:** Formar integralmente profesionales competitivos de la ciencia, la tecnología y otras áreas de conocimiento, comprometidos con el desarrollo económico, social, cultural y con la sustentabilidad del país.

**Visión:** El TecNM es una institución de educación superior tecnológica de vanguardia, con reconocimiento internacional por el destacado desempeño de sus egresados y por su capacidad innovadora en la generación y aplicación de conocimientos.

**Valores:** Para el adecuado ejercicio del servicio público del TecNM, se deberá actuar conforme a los principios constitucionales y legales de respeto a los derechos humanos y para ello se aplican valores de honradez, justicia, amor, legalidad, lealtad, imparcialidad, responsabilidad, eficiencia, eficacia y transparencia.



## 2.1 Campus del TecNM con carreras afines al tema del agua

En la Tabla 1 se muestran las diferentes asignaturas relacionadas con el tema del agua que se imparten en los campus del TecNM. En general, se puede visualizar que en total son 18 diferentes asignaturas y las temáticas están relacionadas con el manejo y conservación del agua, con los métodos de tratamiento de agua potable, los fundamentos de aguas residuales, hidrología, entre otras. Además, se puede notar que las asignaturas son impartidas en las carreras de Ing. Ambiental, Ing. Bioquímica, Ing. Civil, Ing. en Acuicultura, Ing. en Agronomía, Ing. en Desarrollo Comunitario, Ing. en Innovación Agrícola Sustentable, Ing. en Minería, Ing. Forestal, Ing. Hidrológica, Ing. Industrial (solo en algunos campus), Ing. Química y Lic. en Biología. En este contexto, se puede resaltar que las asignaturas que más se imparten en las carreras antes mencionadas son la de fundamentos de aguas residuales, abastecimiento de agua potable, potabilización de agua, hidrología superficial y potabilización de agua.

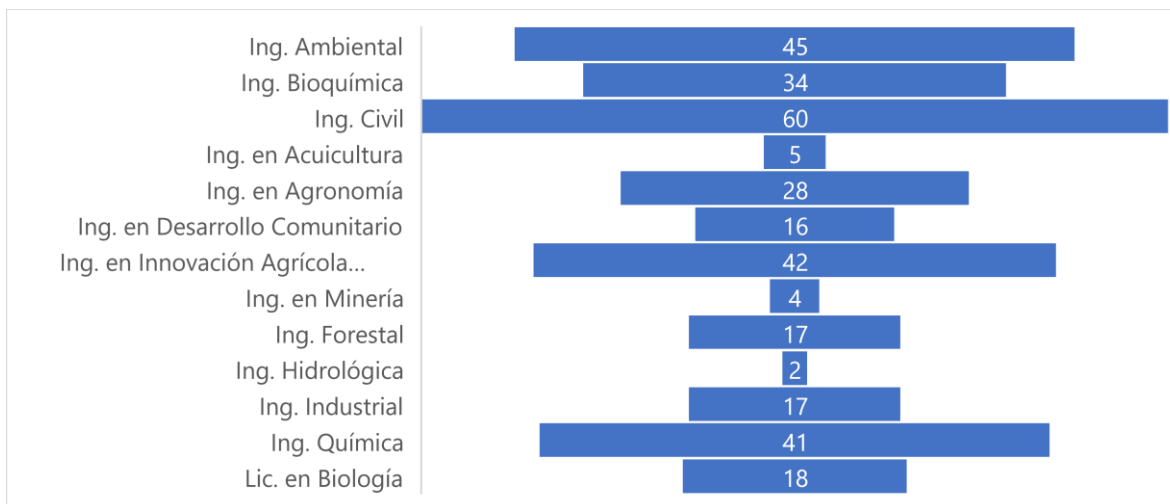
En la Fig. 1 se muestra el número de campus del TecNM que ofrecen las carreras en las que se imparten asignaturas relacionadas con el tema del agua. Se puede observar que las carreras que más se ofertan son Ing. Civil, Ing. Ambiental, Ing. en Innovación Agrícola Sustentable e Ing. Química. Particularmente, en las Tablas 2-14 se citan los nombres de los campus del TecNM que ofertan dichas carreras.

Por otro lado, es importante mencionar que la asignatura de Desarrollo Sustentable se imparte en todas las carreras que se ofertan en los diferentes campus del TecNM y esta asignatura contempla temas relacionados con el agua, tales como la hidrosfera y estrategias de sustentabilidad para el manejo de recursos naturales.



**Tabla 1.** Asignaturas relacionadas con el tema del agua que son impartidas en diferentes carreras de los campus del TecNM

| No. | Materias                                       | Clave    | Carrera                                 |
|-----|------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------|
| 1   | Abastecimiento de Agua Potable                 | ICJ-1001 | Ing. Civil                              |
|     |                                                | ICJ-1001 | Ing. Hidrológica                        |
| 2   | Acuariofilia                                   | AQH-1001 | Ing. en Acuicultura                     |
| 3   | Aguas Residuales                               | AMF-1902 | Ing. Química                            |
| 4   | Análisis de Agua y Efluentes                   | IHM-1002 | Ing. Hidrológica                        |
| 5   | Análisis Hidrológico de Sequías e Inundaciones | IHF-1003 | Ing. Hidrológica                        |
| 6   | Ecología de Aguas Continentales                | ACD-2201 | Lic. en Biología                        |
| 7   | Fundamentos de Aguas Residuales                | AMG-1012 | Ing. Ambiental                          |
|     |                                                | AMG-1012 | Ing. Bioquímica                         |
|     |                                                | AMG-1012 | Ing. Industrial                         |
| 8   | Hidrología                                     | FOC-1020 | Ing. Civil                              |
|     |                                                | FOC-1020 | Ing. Forestal                           |
| 9   | Hidrología Superficial                         | ICC-1020 | Ing. Civil                              |
|     |                                                | IHF-1015 | Ing. Hidrológica                        |
| 10  | Hidrología Urbana                              | IHC-1016 | Ing. Hidrológica                        |
| 11  | Manejo integral de cuencas hidrográficas       | AGF-1014 | Ing. en Agronomía                       |
| 12  | Manejo y Conservación del Agua                 | AQD-1021 | Ing. en Acuicultura                     |
|     |                                                | DCC-1018 | Ing. en Desarrollo Comunitario          |
| 13  | Potabilización de Agua                         | AMG-1018 | Ing. Ambiental                          |
| 14  | Problemas Hidrológicos                         | MIC-1312 | Ing. en Minería                         |
| 15  | Sistema de Riego Presurizado                   | ASF-1021 | Ing. en Innovación Agrícola Sustentable |
| 16  | Sistema de Riego Superficial                   | ASF-1022 | Ing. en Innovación Agrícola Sustentable |
| 17  | Tratamiento de Aguas residuales                | AMF-2202 | Ing. Química                            |
| 18  | Uso eficiente del agua                         | AGC-1023 | Ing. en Agronomía                       |



**Fig. 1** Número de campus del TecNM que ofertan carreras en las que se imparten materias relacionadas con el tema del agua

**Tabla 2.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. Ambiental en la que se imparten las asignaturas de fundamentos de aguas residuales y potabilización de agua

| No | Campus                                     | Carrera               |
|----|--------------------------------------------|-----------------------|
| 1  | Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas | <b>Ing. Ambiental</b> |
| 2  | Instituto Tecnológico de Campeche          |                       |
| 3  | Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán        |                       |
| 4  | Instituto Tecnológico de Cd. Madero        |                       |
| 5  | Instituto Tecnológico de Cd. Valles        |                       |
| 6  | Instituto Tecnológico de Celaya            |                       |
| 7  | Instituto Tecnológico de Colima            |                       |
| 8  | Instituto Tecnológico de Culiacán          |                       |
| 9  | Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero |                       |
| 10 | Instituto Tecnológico de Matamoros         |                       |
| 11 | Instituto Tecnológico de Mérida            |                       |
| 12 | Instituto Tecnológico de Minatitlán        |                       |
| 13 | Instituto Tecnológico de Nuevo León        |                       |
| 14 | Instituto Tecnológico de Tijuana           |                       |
| 15 | Instituto Tecnológico de Tlajomulco        |                       |
| 16 | Instituto Tecnológico de Valle de Morelia  |                       |
| 17 | Instituto Tecnológico de Villahermosa      |                       |



|    |                                                                               |
|----|-------------------------------------------------------------------------------|
| 18 | Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y<br>Henríquez Campus Arandas |
| 19 | Instituto Tecnológico Superior de Abasolo                                     |
| 20 | Instituto Tecnológico Superior de Álamo<br>Temapache                          |
| 21 | Instituto Tecnológico Superior de Cajeme                                      |
| 22 | Instituto Tecnológico Superior de Champotón                                   |
| 23 | Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco                                  |
| 24 | Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo                                   |
| 25 | Instituto Tecnológico Superior de Huatusco                                    |
| 26 | Instituto Tecnológico Superior de La Montaña                                  |
| 27 | Instituto Tecnológico Superior de Lerdo                                       |
| 28 | Instituto Tecnológico Superior de Los Ríos                                    |
| 29 | Instituto Tecnológico Superior de Macuspana                                   |
| 30 | Instituto Tecnológico Superior de Matínez de la<br>Torre                      |
| 31 | Instituto Tecnológico Superior de Misantla                                    |
| 32 | Instituto Tecnológico Superior de Múzquiz                                     |
| 33 | Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro                                   |
| 34 | Instituto Tecnológico Superior de San Andrés<br>Tuxtla                        |
| 35 | Instituto Tecnológico Superior de San Martín<br>Texmelucan                    |
| 36 | Instituto Tecnológico Superior de Santiago<br>Papasquiario                    |
| 37 | Instituto Tecnológico Superior de Sur de<br>Guanajuato                        |
| 38 | Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale                                |
| 39 | Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca                                   |
| 40 | Instituto Tecnológico Superior de Valladolid                                  |
| 41 | Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta                              |
| 42 | Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco                                |
| 43 | Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca                              |
| 44 | Tecnológico de Estudios Superiores de Oriente del<br>Estado de México         |
| 45 | Tecnológico de Estudios Superiores de<br>Tianguistenco                        |



**Tabla 3.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. Bioquímica en la que se imparte la asignatura de fundamentos de aguas residuales

| No | Campus                                                      | Carrera         |
|----|-------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1  | Instituto Tecnológico de Acapulco                           | Ing. Bioquímica |
| 2  | Instituto Tecnológico de Celaya                             |                 |
| 3  | Instituto Tecnológico de Colima                             |                 |
| 4  | Instituto Tecnológico de Culiacán                           |                 |
| 5  | Instituto Tecnológico de Durango                            |                 |
| 6  | Instituto Tecnológico de la Paz                             |                 |
| 7  | Instituto Tecnológico de La Piedad                          |                 |
| 8  | Instituto Tecnológico de Los Mochis                         |                 |
| 9  | Instituto Tecnológico de Mazatlán                           |                 |
| 10 | Instituto Tecnológico de Mérida                             |                 |
| 11 | Instituto Tecnológico de Milpa Alta                         |                 |
| 12 | Instituto Tecnológico de Morelia                            |                 |
| 13 | Instituto Tecnológico de Superior de Calkiní                |                 |
| 14 | Instituto Tecnológico de Tehuacán                           |                 |
| 15 | Instituto Tecnológico de Tepic                              |                 |
| 16 | Instituto Tecnológico de Tijuana                            |                 |
| 17 | Instituto Tecnológico de Tuxtepec                           |                 |
| 18 | Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez                   |                 |
| 19 | Instituto Tecnológico de Veracruz                           |                 |
| 20 | Instituto Tecnológico de Villahermosa                       |                 |
| 21 | Instituto Tecnológico de Zacatepec                          |                 |
| 22 | Instituto Tecnológico Superior de Acayucán                  |                 |
| 23 | Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán                |                 |
| 24 | Instituto Tecnológico Superior de Atlixco                   |                 |
| 25 | Instituto Tecnológico Superior de Cd. Hidalgo               |                 |
| 26 | Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos             |                 |
| 27 | Instituto Tecnológico Superior de Irapuato                  |                 |
| 28 | Instituto Tecnológico Superior de La Región Sierra          |                 |
| 29 | Instituto Tecnológico Superior de Los Ríos                  |                 |
| 30 | Instituto Tecnológico Superior de Misantla                  |                 |
| 31 | Instituto Tecnológico Superior de Purísima Del Rincón       |                 |
| 32 | Instituto Tecnológico Superior de Sur del Estado de Yucatán |                 |
| 33 | Instituto Tecnológico Superior de Xalapa                    |                 |
| 34 | Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec              |                 |



**Tabla 4.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. Civil en la que se imparten las asignaturas de abastecimiento de agua potable, hidrología e hidrología superficial

| No | Campus                                                                                | Carrera    |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1  | Instituto Tecnológico de Agua Prieta                                                  | Ing. Civil |
| 2  | Instituto Tecnológico de Apizaco                                                      |            |
| 3  | Instituto Tecnológico de Boca de Río                                                  |            |
| 4  | Instituto Tecnológico de Campeche                                                     |            |
| 5  | Instituto Tecnológico de Cancún                                                       |            |
| 6  | Instituto Tecnológico de Cd. Victoria                                                 |            |
| 7  | Instituto Tecnológico de Cerro Azul                                                   |            |
| 8  | Instituto Tecnológico de Chetumal                                                     |            |
| 9  | Instituto Tecnológico de Chilpancingo                                                 |            |
| 10 | Instituto Tecnológico de Durango                                                      |            |
| 11 | Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Los Cabos                             |            |
| 12 | Instituto Tecnológico de Guaymas                                                      |            |
| 13 | Instituto Tecnológico de Istmo                                                        |            |
| 14 | Instituto Tecnológico de Iztapalapa III                                               |            |
| 15 | Instituto Tecnológico de la Paz                                                       |            |
| 16 | Instituto Tecnológico de Matamoros                                                    |            |
| 17 | Instituto Tecnológico de Matehuala                                                    |            |
| 18 | Instituto Tecnológico de Mérida                                                       |            |
| 19 | Instituto Tecnológico de Nogales                                                      |            |
| 20 | Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo                                                 |            |
| 21 | Instituto Tecnológico de Oaxaca                                                       |            |
| 22 | Instituto Tecnológico de Pachuca                                                      |            |
| 23 | Instituto Tecnológico de Pochutla                                                     |            |
| 24 | Instituto Tecnológico de Reynosa                                                      |            |
| 25 | Instituto Tecnológico de Tapachula                                                    |            |
| 26 | Instituto Tecnológico de Tehuacán                                                     |            |
| 27 | Instituto Tecnológico de Tepic                                                        |            |
| 28 | Instituto Tecnológico de Tijuana                                                      |            |
| 29 | Instituto Tecnológico de Tlaxiaco                                                     |            |
| 30 | Instituto Tecnológico de Tuxtepec                                                     |            |
| 31 | Instituto Tecnológico de Valle de Etla                                                |            |
| 32 | Instituto Tecnológico de Villahermosa                                                 |            |
| 33 | Instituto Tecnológico de Zacatepec                                                    |            |
| 34 | Instituto Tecnológico de Zitácuaro                                                    |            |
| 35 | Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y<br>Henríquez Campus Lagos de Moreno |            |
| 36 | Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y<br>Henríquez Campus Tequila         |            |



|    |                                                                               |  |
|----|-------------------------------------------------------------------------------|--|
| 37 | Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y<br>Henríquez Campus Zapopan |  |
| 38 | Instituto Tecnológico Superior de Acayucán                                    |  |
| 39 | Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán                                  |  |
| 40 | Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa                                   |  |
| 41 | Instituto Tecnológico Superior de La Costa Chica                              |  |
| 42 | Instituto Tecnológico Superior de La Montaña                                  |  |
| 43 | Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas                                 |  |
| 44 | Instituto Tecnológico Superior de Los Ríos                                    |  |
| 45 | Instituto Tecnológico Superior de Macuspana                                   |  |
| 46 | Instituto Tecnológico Superior de Misantla                                    |  |
| 47 | Instituto Tecnológico Superior de Oriente del Estado<br>de Hidalgo            |  |
| 48 | Instituto Tecnológico Superior de Puerto Peñasco                              |  |
| 49 | Instituto Tecnológico Superior de Santiago<br>Papasquiario                    |  |
| 50 | Instituto Tecnológico Superior de Sur del Estado de<br>Yucatán                |  |
| 51 | Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec                             |  |
| 52 | Instituto Tecnológico Superior de Uruapan                                     |  |
| 53 | Instituto Tecnológico Superior de Valladolid                                  |  |
| 54 | Instituto Tecnológico Superior de Xalapa                                      |  |
| 55 | Instituto Tecnológico Superior de Zongolica                                   |  |
| 56 | Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco                                |  |
| 57 | Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan                            |  |
| 58 | Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec                               |  |
| 59 | Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe<br>del Progreso              |  |
| 60 | Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de<br>Bravo                       |  |

**Tabla 5.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. en Acuicultura en la que se imparten las asignaturas de acuariofilia y manejo y conservación del agua

| No | Campus                                            | Carrera                    |
|----|---------------------------------------------------|----------------------------|
| 1  | Instituto Tecnológico de Boca de Río              | <b>Ing. en Acuicultura</b> |
| 2  | Instituto Tecnológico de Guaymas                  |                            |
| 3  | Instituto Tecnológico de Lerma                    |                            |
| 4  | Instituto Tecnológico de Salina Cruz              |                            |
| 5  | Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec |                            |



**Tabla 6.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. en Agronomía en la que se imparten las asignaturas de manejo integral de cuencas hidrográficas y uso eficiente del agua

| No | Campus                                                 | Carrera                  |
|----|--------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1  | Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes          | <b>Ing. en Agronomía</b> |
| 2  | Instituto Tecnológico de Altamira                      |                          |
| 3  | Instituto Tecnológico de Altiplano de Tlaxcala         |                          |
| 4  | Instituto Tecnológico de Cd. Altamirano                |                          |
| 5  | Instituto Tecnológico de Cd. Valles                    |                          |
| 6  | Instituto Tecnológico de China                         |                          |
| 7  | Instituto Tecnológico de Comitán                       |                          |
| 8  | Instituto Tecnológico de Comitancillo                  |                          |
| 9  | Instituto Tecnológico de Conkal                        |                          |
| 10 | Instituto Tecnológico de Huejutla                      |                          |
| 11 | Instituto Tecnológico de La Cuenca del Papaloapan      |                          |
| 12 | Instituto Tecnológico de La Zona Maya                  |                          |
| 13 | Instituto Tecnológico de La Zona Olmeca                |                          |
| 14 | Instituto Tecnológico de Pinotepa                      |                          |
| 15 | Instituto Tecnológico de Roque                         |                          |
| 16 | Instituto Tecnológico de Tecamatlán                    |                          |
| 17 | Instituto Tecnológico de Tizimín                       |                          |
| 18 | Instituto Tecnológico de Tlajomulco                    |                          |
| 19 | Instituto Tecnológico de Torreón                       |                          |
| 20 | Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván                 |                          |
| 21 | Instituto Tecnológico de Valle de Morelia              |                          |
| 22 | Instituto Tecnológico de Valle de Oaxaca               |                          |
| 23 | Instituto Tecnológico de Valle del Guadiana            |                          |
| 24 | Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza       |                          |
| 25 | Instituto Tecnológico Superior de Juan Rodríguez Clara |                          |
| 26 | Instituto Tecnológico Superior de La Región Sierra     |                          |
| 27 | Instituto Tecnológico Superior de P´urhépecha          |                          |
| 28 | Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca            |                          |



**Tabla 7.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. en Desarrollo Comunitario en la que se imparte la asignatura de manejo y conservación del agua

| No | Campus                                                      | Carrera                               |
|----|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1  | Instituto Tecnológico de Comitán                            | <b>Ing. en Desarrollo Comunitario</b> |
| 2  | Instituto Tecnológico de Conkal                             |                                       |
| 3  | Instituto Tecnológico de La Zona Olmeca                     |                                       |
| 4  | Instituto Tecnológico de Norte de Nayarit                   |                                       |
| 5  | Instituto Tecnológico de Valle de Etla                      |                                       |
| 6  | Instituto Tecnológico Superior de Chicontepec               |                                       |
| 7  | Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa                 |                                       |
| 8  | Instituto Tecnológico Superior de Coalcomán                 |                                       |
| 9  | Instituto Tecnológico Superior de de San Miguel el Grande   |                                       |
| 10 | Instituto Tecnológico Superior de Felipe Carrillo Puerto    |                                       |
| 11 | Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro                 |                                       |
| 12 | Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro                |                                       |
| 13 | Instituto Tecnológico Superior de Sur del Estado de Yucatán |                                       |
| 14 | Instituto Tecnológico Superior de Teposcolula               |                                       |
| 15 | Instituto Tecnológico Superior de Zongolica                 |                                       |
| 16 | Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan           |                                       |

**Tabla 8.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. en Innovación Agrícola Sustentable en la que se imparten las asignaturas de sistema de riego presurizado y sistema de riego superficial

| No | Campus                                                 | Carrera                                        |
|----|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1  | Instituto Tecnológico de Comitán                       | <b>Ing. en Innovación Agrícola Sustentable</b> |
| 2  | Instituto Tecnológico de Ensenada                      |                                                |
| 3  | Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora |                                                |
| 4  | Instituto Tecnológico de Frontera Comalapa             |                                                |
| 5  | Instituto Tecnológico de Huimanguillo                  |                                                |
| 6  | Instituto Tecnológico de Roque                         |                                                |
| 7  | Instituto Tecnológico de Superior de Calkiní           |                                                |
| 8  | Instituto Tecnológico de Tlajomulco                    |                                                |
| 9  | Instituto Tecnológico de Valle de Morelia              |                                                |
| 10 | Instituto Tecnológico de Valle del Guadiana            |                                                |
| 11 | Instituto Tecnológico de Valle del Yaqui               |                                                |
| 12 | Instituto Tecnológico de Zitácuaro                     |                                                |
| 13 | Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes          |                                                |





|    |                                                                                            |  |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 14 | Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y<br>Henríquez Campus Cocula               |  |
| 15 | Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y<br>Henríquez Campus Mascota              |  |
| 16 | Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y<br>Henríquez Campus Tala                 |  |
| 17 | Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y<br>Henríquez Campus Tamazula de Gordiano |  |
| 18 | Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y<br>Henríquez Campus Zapotlanejo          |  |
| 19 | Instituto Tecnológico Superior de Abasolo                                                  |  |
| 20 | Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán                                               |  |
| 21 | Instituto Tecnológico Superior de Cd. Serdán                                               |  |
| 22 | Instituto Tecnológico Superior de Coalcomán                                                |  |
| 23 | Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan                                             |  |
| 24 | Instituto Tecnológico Superior de de San Miguel el<br>Grande                               |  |
| 25 | Instituto Tecnológico Superior de El Dorado                                                |  |
| 26 | Instituto Tecnológico Superior de Hopelchén                                                |  |
| 27 | Instituto Tecnológico Superior de Huichapan                                                |  |
| 28 | Instituto Tecnológico Superior de Irapuato                                                 |  |
| 29 | Instituto Tecnológico Superior de La Sierra Norte de<br>Puebla                             |  |
| 30 | Instituto Tecnológico Superior de Libres                                                   |  |
| 31 | Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes                                                |  |
| 32 | Instituto Tecnológico Superior de Mante                                                    |  |
| 33 | Instituto Tecnológico Superior de Naranjos                                                 |  |
| 34 | Instituto Tecnológico Superior de Nochistlán                                               |  |
| 35 | Instituto Tecnológico Superior de P´urhépecha                                              |  |
| 36 | Instituto Tecnológico Superior de Rioverde                                                 |  |
| 37 | Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra                                              |  |
| 38 | Instituto Tecnológico Superior de Santa María del<br>Oro                                   |  |
| 39 | Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro                                                |  |
| 40 | Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca                                            |  |
| 41 | Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec                                          |  |
| 42 | Instituto Tecnológico Superior de Zongolica                                                |  |



**Tabla 9.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. en Minería en la que se imparte la asignatura de problemas hidrológicos

| No | Campus                                                 | Carrera                |
|----|--------------------------------------------------------|------------------------|
| 1  | Instituto Tecnológico de Parral                        | <b>Ing. en Minería</b> |
| 2  | Instituto Tecnológico Superior de Cananea              |                        |
| 3  | Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo            |                        |
| 4  | Instituto Tecnológico Superior de Santiago Papasquiaro |                        |

**Tabla 10.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. Forestal en la que se imparte la asignatura de hidrología

| No | Campus                                                      | Carrera              |
|----|-------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1  | Instituto Tecnológico de China                              | <b>Ing. Forestal</b> |
| 2  | Instituto Tecnológico de El Salto                           |                      |
| 3  | Instituto Tecnológico de La Zona Maya                       |                      |
| 4  | Instituto Tecnológico de La Zona Olmeca                     |                      |
| 5  | Instituto Tecnológico de Valle de Morelia                   |                      |
| 6  | Instituto Tecnológico de Valle de Oaxaca                    |                      |
| 7  | Instituto Tecnológico Superior de de San Miguel el Grande   |                      |
| 8  | Instituto Tecnológico Superior de Irapuato                  |                      |
| 9  | Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza            |                      |
| 10 | Instituto Tecnológico Superior de La Sierra Norte de Puebla |                      |
| 11 | Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas               |                      |
| 12 | Instituto Tecnológico Superior de P'urhépecha               |                      |
| 13 | Instituto Tecnológico Superior de Perote                    |                      |
| 14 | Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza       |                      |
| 15 | Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla               |                      |
| 16 | Instituto Tecnológico Superior de Zongolica                 |                      |
| 17 | Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo        |                      |

**Tabla 11.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. Hidrológica en la que se imparten las asignaturas de análisis de agua y efluentes, hidrología superficial, análisis hidrológico de sequías e inundaciones e hidrología urbana

| No | Campus                                    | Carrera                 |
|----|-------------------------------------------|-------------------------|
| 1  | Instituto Tecnológico de Roque            | <b>Ing. Hidrológica</b> |
| 2  | Instituto Tecnológico de Sinaloa de Leyva |                         |



**Tabla 12.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. Industrial en la que se imparte la asignatura de fundamentos de aguas residuales

| No | Campus                                                 | Carrera                |
|----|--------------------------------------------------------|------------------------|
| 1  | Instituto Tecnológico Superior de Acayucán             | <b>Ing. Industrial</b> |
| 2  | Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache      |                        |
| 3  | Instituto Tecnológico Superior de Alvarado             |                        |
| 4  | Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos        |                        |
| 5  | Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan         |                        |
| 6  | Instituto Tecnológico Superior de Huatusco             |                        |
| 7  | Instituto Tecnológico Superior de Juan Rodríguez Clara |                        |
| 8  | Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas          |                        |
| 9  | Instituto Tecnológico Superior de Misantla             |                        |
| 10 | Instituto Tecnológico Superior de Naranjos             |                        |
| 11 | Instituto Tecnológico Superior de Pánuco               |                        |
| 12 | Instituto Tecnológico Superior de Perote               |                        |
| 13 | Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica            |                        |
| 14 | Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla    |                        |
| 15 | Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca            |                        |
| 16 | Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca        |                        |
| 17 | Instituto Tecnológico Superior de Xalapa               |                        |

**Tabla 13.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. Química en la que se imparte la asignatura de aguas residuales

| No | Campus                                                                | Carrera             |
|----|-----------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1  | Instituto Tecnológico de Aguascalientes                               | <b>Ing. Química</b> |
| 2  | Instituto Tecnológico de Atitalaquia                                  |                     |
| 3  | Instituto Tecnológico de Campeche                                     |                     |
| 4  | Instituto Tecnológico de Cd. Madero                                   |                     |
| 5  | Instituto Tecnológico de Celaya                                       |                     |
| 6  | Instituto Tecnológico de Chihuahua                                    |                     |
| 7  | Instituto Tecnológico de Durango                                      |                     |
| 8  | Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de La Región Carbonífera |                     |
| 9  | Instituto Tecnológico de La Laguna                                    |                     |
| 10 | Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas                              |                     |
| 11 | Instituto Tecnológico de Los Mochis                                   |                     |
| 12 | Instituto Tecnológico de Matamoros                                    |                     |
| 13 | Instituto Tecnológico de Mérida                                       |                     |



|    |                                                               |  |
|----|---------------------------------------------------------------|--|
| 14 | Instituto Tecnológico de Mexicali                             |  |
| 15 | Instituto Tecnológico de Minatitlán                           |  |
| 16 | Instituto Tecnológico de Oaxaca                               |  |
| 17 | Instituto Tecnológico de Orizaba                              |  |
| 18 | Instituto Tecnológico de Pachuca                              |  |
| 19 | Instituto Tecnológico de Parral                               |  |
| 20 | Instituto Tecnológico de Salina Cruz                          |  |
| 21 | Instituto Tecnológico de Tapachula                            |  |
| 22 | Instituto Tecnológico de Tepic                                |  |
| 23 | Instituto Tecnológico de Tijuana                              |  |
| 24 | Instituto Tecnológico de Toluca                               |  |
| 25 | Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez                     |  |
| 26 | Instituto Tecnológico de Veracruz                             |  |
| 27 | Instituto Tecnológico de Villahermosa                         |  |
| 28 | Instituto Tecnológico de Zacatepec                            |  |
| 29 | Instituto Tecnológico Superior de Acayucán                    |  |
| 30 | Instituto Tecnológico Superior de Centla                      |  |
| 31 | Instituto Tecnológico Superior de Irapuato                    |  |
| 32 | Instituto Tecnológico Superior de Mante                       |  |
| 33 | Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco                      |  |
| 34 | Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta              |  |
| 35 | Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán            |  |
| 36 | Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco                |  |
| 37 | Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli      |  |
| 38 | Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec                |  |
| 39 | Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec               |  |
| 40 | Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán              |  |
| 41 | Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso |  |

**Tabla 14.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Lic. en Biología en la que se imparte la asignatura de ecología de aguas continentales

| No | Campus                                     | Carrera                 |
|----|--------------------------------------------|-------------------------|
| 1  | Instituto Tecnológico de Altamira          | <b>Lic. en Biología</b> |
| 2  | Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas |                         |
| 3  | Instituto Tecnológico de Boca de Río       |                         |
| 4  | Instituto Tecnológico de Cd. Altamirano    |                         |
| 5  | Instituto Tecnológico de Cd. Victoria      |                         |
| 6  | Instituto Tecnológico de Chetumal          |                         |



|    |                                                    |  |
|----|----------------------------------------------------|--|
| 7  | Instituto Tecnológico de China                     |  |
| 8  | Instituto Tecnológico de Conkal                    |  |
| 9  | Instituto Tecnológico de Huejutla                  |  |
| 10 | Instituto Tecnológico de La Cuenca del Papaloapan  |  |
| 11 | Instituto Tecnológico de Los Mochis                |  |
| 12 | Instituto Tecnológico de Tizimín                   |  |
| 13 | Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván             |  |
| 14 | Instituto Tecnológico de Valle de Oaxaca           |  |
| 15 | Instituto Tecnológico de Valle del Guadiana        |  |
| 16 | Instituto Tecnológico de Valle del Yaqui           |  |
| 17 | Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla      |  |
| 18 | Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan |  |



### 3. Descripción de Ejes Estratégicos, Objetivos, Metas, Acciones e Indicadores

La agenda estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento está conformada por 8 ejes estratégicos, de los cuales 7 son ejes temáticos y son coordinados por un plantel en particular (Ver Tabla 15). El eje No. 8 es transversal y participan todos los planteles que coordinan los ejes temáticos. Adicionalmente, es importante mencionar que en cada eje estratégico participarán profesores e investigadores de todos los planteles que conforman el TecNM.

**Tabla 2.** Ejes de la agenda estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento

| No. | Nombre del Eje Estratégico                 | Plantel que Coordina                                                                      |
|-----|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Captación de Agua                          | TecNM campus Villahermosa                                                                 |
| 2   | Cuidado del Agua                           | TecNM campus Toluca                                                                       |
| 3   | Métodos de tratamiento de agua potable     | TecNM campus Boca del Río                                                                 |
| 4   | Métodos de tratamiento de aguas residuales | TecNM campus Boca del Río                                                                 |
| 5   | Recuperación y reúso del agua              | TecNM campus Tijuana                                                                      |
| 6   | Monitoreo de la calidad del agua           | TecNM campus Aguascalientes                                                               |
| 7   | Tecnologías emergentes                     | TecNM Valle de Etla                                                                       |
| 8   | Educación y capacitación (eje transversal) | TecNM campus Aguascalientes, Boca del Río, Tijuana, Toluca, Valle de Etla y Villahermosa. |

La descripción de cada eje estratégico, los objetivos, las metas, las acciones e indicadores se describen en las siguientes secciones.





**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

## Eje Estratégico No. 1 Captación de Agua



**TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO**





### **3.1 Eje Estratégico No. 1: Captación de Agua**

El TecNM campus Villahermosa es el coordinador del eje estratégico de **captación de agua**. A continuación, se presenta una introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores de este eje.

#### **3.1.1 Introducción**

Hoy en día, el agua disponible para uso y consumo humano es de vital importancia, debido a ello, se están desarrollando soluciones y estrategias para poder tener acceso a este recurso.

La captación de aguas ayuda a disminuir el uso del agua superficial de los lagos y ríos, ya que esa agua captada se puede emplear en diversas actividades, lo cual ayuda a enfrentar la escasez del vital líquido que existe actualmente.

El Censo de Población y Vivienda 2010 registro datos que demuestran que casi el 74 % de las viviendas con agua entubada a nivel nacional, cuentan con el servicio de forma ininterrumpida. Esta situación indica que más del 25 % no puede acceder al agua de forma continua [1].

La escasez de agua impacta en muchas actividades de la vida diaria, las labores domésticas y la salud, así mismo hacerse del recurso requiere un gran trabajo. La ubicación de los asentamientos humanos dificulta la instalación de sistemas de abastecimiento de agua. Específicamente, entre los sistemas para abastecer agua a los asentamientos humanos encontramos: conexiones domiciliarias, fuentes públicas de agua, pozos y la recolección de agua de lluvia.

La recolección y captación de agua de lluvia se ha usado por distintas civilizaciones a lo largo de la historia de la humanidad con el objetivo de abastecer el agua para el consumo humano o para el uso agrícola [2]. En





este contexto, se debe resaltar que con los años se ha incrementado la necesidad de mejorar e incrementar las formas de captar y recolectar agua de diferentes fuentes, con el objeto de brindar acceso del vital líquido para las diferentes necesidades de la sociedad.

### **3.1.2 Antecedentes**

La captación del agua consiste en recolectar y almacenar agua de diferentes fuentes para un uso benéfico de la sociedad. Los tipos más comunes de captación de agua son: captación lateral, captación en lagos, lagunas y embalses, captación flotante, captación móvil, captación de manantiales, captación de alta montaña, captación de agua de mar y captación de aguas de lluvia. En este sentido, se puede resaltar que cerca de 1 500 000 millones de metros cúbicos de agua de lluvia son depositados al año en nuestro país. De esta cantidad de agua, cerca del 72 % se evapora y un poco más del 22 % se escurre en los cuerpos de agua como los ríos, arroyos, lagunas, etc. El resto se infiltra por el suelo y recarga los cuerpos de aguas subterráneos [3].

En el año 2012 se realizó un estudio sobre la viabilidad de la captación de agua de lluvia en la Ciudad de México, en el cual se concluye que en las zonas con buena precipitación es recomendable establecer sistemas de captación de agua, para ayudar a minimizar el uso de sistemas alternos de abastecimiento de agua como el apoyo con pipas. Ese sistema de captación disminuiría el consumo de recursos económicos y energéticos por el uso de dichas pipas [4].

Los datos del INEGI en 2016 indican que más de 25 mil casas en la Ciudad de México se abastecen de agua potable a partir de pipas, ya que carecen de agua potable entubada.



La problemática de escasez de agua y desarrollo de sistemas de captación no solo repercute a los asentamientos humanos, sino a centros de trabajo. Un ejemplo es la Academia Mexicana de Ciencias, ya que sus instalaciones principales en la Ciudad de México no cuentan con un sistema de agua potable y se abastece con pipas, todo ello para satisfacer las necesidades del personal que labora en dicha Institución [5].

Como podemos observar, es necesario desarrollar y establecer sistemas de captación de agua en diferentes zonas para poder llevar a cabo las actividades propias de los seres humanos.

### **3.1.3 Justificación**

Pese a la cantidad de agua que llueve y se deposita en los cuerpos de aguas con que cuenta el país, el recurso hídrico no se distribuye en una forma apropiada o adecuada. Debido a lo anterior muchos asentamientos humanos tienen escasez del vital líquido, por ello la necesidad de desarrollar diversos sistemas de suministro de agua, para que dichos asentamientos puedan subsistir y desarrollarse con el tiempo.

El desarrollo urbano desorganizado o mal planeado en diversos asentamientos humanos hace difícil la instalación y suministro del recurso agua potable, siendo los sistemas de captación de agua una necesidad para dichos lugares.

Aunque los sistemas de captación de agua presentan un reto, tanto técnico como económico por la instalación de la infraestructura y la modificación de estas en algunos casos, se requieren para poder obtener el recurso agua. No obstante, el factor económico limita el desarrollo sistemas de captación de agua. Sin embargo, con el apoyo de los docentes del TecNM, se podrá desarrollar infraestructura con materiales resistentes

y adecuados, y que sean económicamente viables. En este sentido, es importante resaltar que la transferencia de la tecnología en las zonas rurales o que tengan necesidad del recurso agua, es una oportunidad para el desarrollo de estas zonas y del país en general, ya que los factores sociales como los hábitos y costumbres pueden ser una ventaja para poder desarrollar sistemas de captación en los lugares más adecuados donde puedan detonar la economía y el desarrollo de la sociedad en general.

### 3.1.4 Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 1 Captación de Agua de la Agenda Estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento se citan en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Objetivos, metas, acciones, indicadores del eje estratégico No. 1 Captación de Agua

| Objetivos                                                      | Metas                                                                                   | Acciones                                                                                                                                                                        | Indicadores                                                                                        | Fecha compromiso                                             |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1. Disminuir el volumen de agua potable empleada en los campus | De aquí al 2030, lograr que los campus, tengan instalados sistemas de captación de agua | Realizar un estudio del volumen de agua potable empleada en los campus. Gestionar la autorización de los recursos financieros para la instalación de los sistemas de captación, | Proporción de sistemas de captación instalados en comparación de los sistemas captación requeridos | Etapa 1.<br>Diciembre 2028<br><br>Etapa 2.<br>Diciembre 2030 |



|                                                                                                 |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                       |                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                                                                                 |                                                                                                                              | tratamiento y suministro de agua en cada campus.<br>Dar seguimiento mensual al programa físico-financiero autorizado por cada campus para verificar los avances en la construcción y el ejercicio presupuestal.     |                                                                                                       |                                                              |
| 2. Disminuir el consumo de agua potable en los sistemas de saneamiento e higiene en los campus. | De aquí al 2030, lograr que los servicios de saneamiento e higiene de los campus usen 30 % de agua de sistemas de captación. | Elaborar un estudio sobre el consumo de agua en los sistemas de saneamiento e higiene. Asegurar que en el diseño y construcción del sistema de captación y suministro del agua se incluyan las necesidades para los | Proporción de servicios de saneamiento e higiene instalados en comparación de los sistemas requeridos | Etapa 1.<br>Diciembre 2028<br><br>Etapa 2.<br>Diciembre 2030 |



|                                                                             |                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                 |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                                                             |                                                                                                                                      | servicios de saneamiento, higiene y jardines de los campus.<br><br>Dar seguimiento a los programas físicos de avance de las obras para la infraestructura de suministro de agua de captación a los servicios de saneamiento, higiene y jardines del campus. |                                                                                                                                 |                                                              |
| 3.Garantizar un diseño para la buena calidad del agua captada en los campus | De aquí al 2030, diseñar un sistema de tratamiento de aguas que mejore la calidad de agua de los sistemas de captación de los campus | Elaborar un diagnóstico de la calidad del agua de captación con respecto a la legislación aplicable.<br><br>Implementar el sistema de tratamiento de para la captación de                                                                                   | Proporciona una base sólida en el funcionamiento del sistema y predecir el efecto que pueda suceder en la calidad de las aguas. | Etapa 1.<br>Diciembre 2028<br><br>Etapa 2.<br>Diciembre 2030 |



|                                                                                                      |                                                                                                                             |                                                                                                                                             |                                                                                                                               |                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                                                                                      |                                                                                                                             | aguas en los campus                                                                                                                         |                                                                                                                               |                                                              |
| 4. Ampliar el uso del agua captada en los campus                                                     | De aquí a 2030, aumentar el uso del agua captada en cada campus                                                             | Identificar áreas de oportunidad donde se pueda emplear el agua captada. Ampliar el sistema de distribución de agua captada en cada campus. | Reporte de consumo de agua potable en comparación con el agua captada de cada campus.                                         | Etapa 1.<br>Diciembre 2028<br><br>Etapa 2.<br>Diciembre 2030 |
| 5. Capacitar a los docentes, alumnos en el diseño y construcción en el sistema de captación de aguas | De aquí a 2030, implementar la capacitación del diseño y construcción de sistemas de captación de agua a docentes y alumnos | Implementar un programa de capacitación continua para los docentes y alumnos sobre los sistemas de captación de aguas                       | Asistir en la implementación del cumplimiento del programa de capacitación en los campus.                                     | Etapa 1.<br>Diciembre 2028<br><br>Etapa 2.<br>Diciembre 2030 |
| 6. Incorporar el tema de captación de aguas en las asignaturas pertinentes.                          | De aquí a 2030, implementar en las asignaturas de las carreras que estén dentro del perfil, el tema captación de aguas.     | Análisis de los programas educativos para establecer el tema de captación de aguas orientado al                                             | Informe de los programas educativos actualizados.<br><br>Implementación en el estudio de la captación de aguas proveniente de | Etapa 1.<br>Diciembre 2028<br><br>Etapa 2.<br>Diciembre 2030 |





|                                                                                           |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                            |                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                                                                           |                                                                                                                                   | perfil profesional<br>Realizar reunión a nivel regional y nacional para revisar los temarios de las carreras donde se pueda incorporar el tema de captación de aguas. | diferentes fuentes para su beneficio                                                                                       |                                                              |
| 7. Desarrollar sistemas de captación adecuados a las necesidades de cada comunidad rural. | De aquí a 2030, implementar la capacitación del diseño y construcción de sistemas de captación de agua a las comunidades rurales. | Diseñar un plan de capacitación para las personas de las comunidades rurales.                                                                                         | Volumen de la asistencia oficial para el desarrollo del conocimiento en materia de captación de aguas.                     | Etapa 1.<br>Diciembre 2028<br><br>Etapa 2.<br>Diciembre 2030 |
| 8. Disminuir el número de comunidades rurales con escasez de agua.                        | De aquí a 2030, implementar la transferencia de tecnología de captación de aguas a las comunidades rurales y la sociedad          | Incrementar los proyectos financiados con transferencia de tecnología. Orientar a los docentes para una correcta                                                      | Proporción de comunidades rurales que han establecido procedimientos operacionales para los sistemas de captación de aguas | Etapa 1.<br>Diciembre 2028<br><br>Etapa 2.<br>Diciembre 2030 |



|                                                                                                                |                                                                                                                           |                                                                                                                   |                                                                                                         |                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                |                                                                                                                           | transferencia<br>tecnológica                                                                                      |                                                                                                         |                                                              |
| 9.Desarrollar proyectos de captación entre los diferentes sectores productivos y las instituciones educativas. | De aquí a 2030, implementar a través del modelo dual proyectos de captación de aguas al sector público, privado y social. | Diseñar programas para el desarrollo de proyectos de captación de aguas a los sectores público, privado y social. | Grado de implementación de la gestión integrada de la captación en el sector público, privado y social. | Etapa 1.<br>Diciembre 2028<br><br>Etapa 2.<br>Diciembre 2030 |

### 3.1.5 Bibliografía

- [1] INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. México, Distrito Federal, México. Recuperado el 20 de julio de 2016, de [http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general\\_ver4/MDXQueryData.asp?#Regreso&c=](http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryData.asp?#Regreso&c=)
- [2] Ballén Suárez, J. A., Galarza García, M. Á., & Ortiz Mosquera, R. O. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia. João Pessoa: Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua.
- [3] CONAGUA. (2014). Atlas del Agua en México 2014. México D.F.: Comisión Nacional del Agua.
- [4] HESRAT Asociados S.A. de C.V. (Diciembre de 2012). Factibilidad de la captación de agua de lluvia como política pública para la Ciudad de México. México D.F.



- [5] Sámano Romero, Gerardo. (2017). Diseño de un sistema de captación de agua de lluvia en la Academia Mexicana de Ciencias. Tesina de Especialidad. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Ciudad de México, México.



**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

## **Eje Estratégico No. 2** **Cuidado del Agua**





### **3.2 Eje Estratégico No. 2: Cuidado del Agua**

El TecNM campus Toluca es el coordinador del eje estratégico de **cuidado del agua**. A continuación, se presenta una introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores de este eje.

#### **3.2.1 Introducción**

Los consejos que se recomiendan para el cuidado del agua se difunden en diferentes medios de comunicación y bajo el estilo de diferentes organizaciones, autoridades o instituciones educativas. Estos consejos no son desconocidos para casi para nadie, el problema ha sido, y es, la dificultad para llevarlo a la práctica.

Para facilitar la práctica de las acciones encaminadas al cuidado del agua, se han dividido en grupos específicos que enfatizan el cuidado particular de cada uso de agua y también facilitar la formación de un hábito de cuidado. Las primeras recomendaciones se enfocan al hogar por ser el lugar donde más tiempo pasa cada usuario y en donde se realizan las actividades de limpieza tanto personal como del hogar mismo, a las que se suman algunos usos en jardinería, riego de plantas y sobre todo en lavandería. Las fugas se presentan tanto en casa como en lugares de trabajo y son estas fugas las responsables de las mayores pérdidas de agua por año en las grandes ciudades, en esto radica la importancia de reportar o atender una fuga cuando esta sea detectada por el usuario.

El momento para llevar a cabo las acciones que se recomiendan para el cuidado del agua es ahora, la creciente población mundial requiere cada vez volúmenes más grandes de agua, proveerla se ha vuelto una tarea cada vez más difícil de realizar por el agotamiento continuo de las fuentes de agua dulce disponibles [1]. Al igual que sabemos las acciones para el



cuidado del agua, también es de nuestro conocimiento que el 75 % de nuestro planeta es agua y de ella, más del 97 % es agua salada, así que solo contamos con un 3 % de agua total del planeta para consumo y una buena parte de ella se encuentra en icebergs y glaciares, así que el porcentaje de agua a la que tenemos acceso es mínimo y disminuye cada año al aumentar cada año el volumen de agua contaminada. En esto radica la importancia del cuidado del agua. Las acciones que implican el cuidado del agua son fáciles y sencillas, pero como ya se escribió antes, su principal dificultad es llevarlas a cabo, no obstante, no aplicarlas está comprometiendo de manera importante la disponibilidad del agua, ya no hay tiempo de espera para comenzar con las acciones que mitiguen el impacto en el uso y consumo de agua, que es el líquido que permite la vida de todas las especies animales y vegetales [2].

### **3.2.2 Antecedentes**

En 1968 el gobierno sueco recomendó al Consejo Económico y Social de la Organización Mundial de las Naciones Unidas (ONU) que incluyera en tópico nunca tratado por dicha organización en su agenda de trabajo: el estado del medio ambiente y del hábitat. Este llamado de atención y las crecientes manifestaciones mundiales sobre el deterioro ambiental llevaron a que la ONU organizara en 1972 la primera reunión intergubernamental sobre este tema: la Conferencia de Estocolmo. Una de las recomendaciones emanadas de la Conferencia de Estocolmo es la necesidad de establecer un programa internacional de educación sobre el medio ambiente, de carácter interdisciplinario y que abarcara la educación formal y no formal. Se partía de la premisa de que el ambiente es un sistema con componentes físicos, químicos, biológicos, sociales y económicos en interacción permanente.





Luego del Seminario de Belgrado (1975), la UNESCO propuso en la conferencia Internacional de Nairobi (1976) la creación del Programa Internacional de Educación Ambiental (PIEA), liderado por la UNESCO y el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Cuidado del Ambiente). Este programa enfatiza la conceptualización del medio ambiente como la interacción entre el medio natural, social y cultural, en el marco de las diversas alternativas de desarrollo y trazó directrices generales sobre cómo trabajar este tema a nivel internacional.

Por otro lado, hace apenas 13 años, la ONU reconoce el agua y el saneamiento como un derecho humano fundamental. Miles de millones de personas en todo el mundo todavía viven sin agua potable y saneamiento gestionados de forma segura. El suministro de agua y la pobreza están estrechamente relacionados. Sin agua, no hay desarrollo; sin desarrollo, es imposible erradicar la pobreza. Tras 46 años sin celebrarse, la ONU convocó a una nueva Conferencia del Agua en Nueva York del 22 al 24 de marzo del 2023 [4], en donde se revisaron tanto las acciones marcadas en la Década de Acción por el Agua (2018-2028), así como las acordadas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. Allí se reunieron los representantes de los 193 Estados Miembro para anunciar compromisos, planes, acciones y mejores prácticas. Aunado a los compromisos gubernamentales es necesario desarrollar una mayor conciencia ambiental de la sociedad a partir de la educación ambiental. Pese a la gran riqueza biocultural de México, la cultura de la prevención, protección, manejo y uso sustentable de los ecosistemas naturales y su biodiversidad es aún insuficiente. Existe en algunos sectores de la sociedad mexicana un gran desconocimiento acerca de la importancia y el valor de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas naturales y la biodiversidad. Según la Encuesta Nacional de Percepciones y Actitudes hacia el Medio Ambiente, realizada por la UNAM en 2012, el 50% de los





encuestados afirmó estar algo interesado en los temas ambientales y tan sólo el 57% consideró que la responsabilidad del cuidado del medio ambiente corresponde a todos. Lo anterior muestra que a pesar de los grandes esfuerzos realizados para fomentar la conciencia ambiental y una preocupación y consideración de la interdependencia económica, social, política y ambiental, la meta está lejos [6]. La educación ambiental debe generar nuevas formas de relacionamiento con el agua, así como la construcción de una escala de valores que incluya la tolerancia, el respeto por la diferencia, la convivencia pacífica y la participación, entre otros valores democráticos. Por consiguiente, implica una formación en la responsabilidad, íntimamente ligada a la ética ciudadana. Esto le permitiría a las personas y a las comunidades estar mejor informadas y formadas (para el saber, el saber hacer y el saber ser), para actuar de manera ética, responsable, crítica, reflexiva y con capacidad para seguir aprendiendo, así como también ayudaría a difundir y a construir nuevos conocimientos para introducir los cambios deseados en las conductas, valores y estilos de vida.

La cultura del agua debe promover objetivos de aprendizaje, tanto de conocimientos, como de habilidades y actitudes fundamentales para impulsar un juicio crítico, el desarrollo de competencias y una conciencia ambiental de ahorro y uso eficiente del agua. Por esto, es importante que la educación ambiental contribuya a generar actitudes positivas en la vida cotidiana y profesional. Así mismo, la educación en el marco de la gestión del agua completa el ciclo formación-reflexión-acción, puesto que la comprensión de los problemas es el primer paso para concienciar y promover actitudes de cambio en los destinatarios de los procesos educativos, independientemente del ámbito de actuación en el que acontezca. Si comprendemos que las problemáticas ambientales, son generadas por la relación que los seres humanos establecemos con la



naturaleza y que esas relaciones responden históricamente a las consideraciones simbólicas que culturalmente han configurado nuestro pensamiento, entendemos que en las formas culturales de nuestra sociedad está la solución a estas problemáticas.

Desde estas reflexiones han surgido investigaciones como la de Zambrano (2019) titulada "Educando en derechos humanos y sociales: el cuidado del medio ambiente a través de las TIC" la cual buscó evidenciar si el desarrollo e implementación de una estrategia pedagógica mediada por las TIC permite a estudiantes de educación básica desarrollar actitudes y valores que favorezcan el cumplimiento y puesta en práctica de los derechos humanos y sociales tendientes al cuidado y protección del medio ambiente, asimismo, fortalecer las competencias comunicativas para que los educandos generen espacios de comunicación asertiva basados en el amor propio, el respeto por los seres de la naturaleza, elementos del medio ambiente y por ende darles la oportunidad de que lleguen a ser promotores del cuidado de nuestro planeta y los recursos naturales que cada día se ven más amenazados por las malas acciones que realizan algunas personas.

El proceso investigativo estuvo enfocado en determinar si la integración y uso de las TIC como mediación en el proceso enseñanza – aprendizaje de derechos sociales como el cuidado del medio ambiente, permiten que los estudiantes de educación básica primaria conozcan, apropien y apliquen de manera asertiva los principios de estos derechos en su entorno social, familiar y escolar.



### 3.2.3 Justificación

El desarrollo del ser humano requiere de agua, siendo uno de los desafíos más importantes atender de forma segura la necesidad de agua potable, así como la de los servicios de saneamiento, lo que es vital para reducir el número de enfermedades y mejorar la salud, lo cual fue reconocido en el 2010 por la Asamblea General de la Naciones Unidas como "el derecho de todos los seres humanos a tener acceso a una cantidad de agua suficiente para el uso doméstico y personal (entre 50 y 100 litros de agua por persona y día), segura, aceptable y asequible (el costo del agua no debería superar el 3% de los ingresos del hogar), y accesible físicamente (la fuente debe estar a menos de 1.000 metros del hogar y su recogida no debería superar los 30 minutos)".

En México, tenemos 757 cuencas hidrológicas de las cuales 649 están disponibles para los usos consuntivos del agua, sin embargo, 105 se encuentran en una situación de sobreexplotación, lo que ha traído como consecuencia que 8 de las 13 regiones hidrológicas del país sufran de estrés hídrico y más del 70% de los ríos, lagos y presas presenten algún grado de contaminación, en consecuencia, más mexicanos se encuentran en condiciones de escasez de agua y saneamiento. Se sabe que 3 de cada 10 personas no tiene servicios de agua potable seguros y 6 de cada 10 carecen de acceso a instalaciones de saneamiento gestionadas de forma segura; según las estadísticas de agua en México reportadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 9 millones de mexicanos no contaban con agua potable y 1.5 millones de personas no tenían servicio de agua entubada [7].

Es por eso, que el cuidado del agua debe ser una estrategia primordial para el desarrollo sostenible que garantice la seguridad alimentaria y permita crear ecosistemas que lleven a una gran biodiversidad que refuercen la

seguridad hídrica, tomando como acciones la protección y restablecimiento del equilibrio de los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

### 3.2.4 Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 2 **cuidado del agua** de la Agenda Estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento se citan en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Objetivos, metas, acciones, indicadores del eje estratégico No. 2 Cuidado del Agua

| Objetivos                                                                                              | Metas                                                                                                                        | Acciones                                                                                                                                                                           | Indicadores                                                  | Fecha compromiso |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|
| 1. Conformar una red de investigadores de diferentes instituciones involucrados en el estudio del agua | Contar con un grupo de al menos 10 Investigadores en los que se encuentren las regiones norte, centro y sur de nuestro país. | 1. Detección del uso y consumo del agua en las regiones norte, centro y sur del país<br>2. Detección de las líneas de generación y aplicación de conocimiento en materia del agua. | 1. Red de especialistas en el tema de agua                   | Junio 2023       |
| 2. Elaborar un diagnóstico que identifique malas prácticas en los usos                                 | Identificar las malas prácticas en                                                                                           | Elaboración de una rúbrica general que describa el diagnóstico real                                                                                                                | Resultados de la rúbrica que incluya un análisis estadístico | Diciembre 2023   |



|                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                             |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| consuntivos y recreativos del agua                                                                                                                                                                                    | el uso del agua.                                                                                                                                 | del uso del agua en el país para identificar las malas prácticas que conducen un consumo excesivo del agua.                                                                               | que identifique las malas prácticas a atender a la mayor celeridad posible.                                                 |                |
| 3. Elaborar una propuesta con acciones concretas que conduzcan a un cuidado de aguas naturales y domésticas                                                                                                           | Documento con propuestas que impulsen el cuidado del agua.                                                                                       | 1. Conformar una serie de acciones aprobadas por el grupo de expertos encaminadas al cuidado del agua.                                                                                    | Documento con acciones.                                                                                                     | Junio 2024     |
| 4. Integrar a la red del agua de investigadores de área social para la revisión, inclusión y aprobación de las acciones a seguir en el cuidado del agua que incluyan usos y costumbres de las tres regiones del país. | Integración de investigador es del área social a la red de trabajo.<br><br>Acuerdo del método de difusión del documento con las acciones para el | 1. Conformar un grupo interdisciplinario para la aprobación de acciones para el cuidado del agua.<br><br>2. Inclusión de las costumbres de las tres regiones del país en las acciones del | Grupo interdisciplinario.<br><br>Método de difusión establecido.<br><br>Estrategia de evaluación de las acciones implementa | Diciembre 2024 |



|                                                                                                 |                  |                                                                       |                          |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------|--|
| 5. Elaborar de un documento que difunda las acciones acordadas por el grupo interdisciplinario. | cuidado del agua | cuidado del agua.<br>3. Ejecución del método de difusión de acciones. | das en cuidado del agua, |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------|--|

### 3.2.5 Bibliografía

- [1] Gómez-Duarte, O. G. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. Revista Facultad de Medicina, 66(1), 7–8.  
<https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>
- [2] Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 35(2), 236–247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- [3] Ministerio de obras públicas, Gobierno de Argentina:  
<https://www.argentina.gob.ar/noticias/algunas-recomendaciones-para-cuidar-el-agua>, accesado 13 de julio de 2020
- [4] ONU (2018) Decenio Internacional para la Acción "Agua para el Desarrollo Sostenible", 2018-2028  
<https://www.un.org/es/events/waterdecade/#:~:text=Con%20el%20fin%20de%20acelerar,Agua%2C%20y%20termina%20esa%20misma>
- [5] ONU (2023) Conferencia de la ONU sobre el Agua 2023 del 22 al 24 de marzo de 2023, Nueva York  
<https://sdgs.un.org/es/conferences/water2023>
- [6] PROMARNAT (2020) Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
<https://www.gob.mx/profepa/acciones-y-programas/programa-sectorial-de-medio-ambiente-y-recursos-naturales-promarnat-2020-2024>



- [7] Estadísticas del Agua en México, edición 2014 CONAGUA, [https://www.google.com/search?q=conagua+estadisticas+del+agua+en+mexico&rlz=1C5CHFA\\_enMX791MX791&oq=Conagua%2C+estadisticas+del&aqs=chrome.1.69i57j0i512j0i22i30l4.7315j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=conagua+estadisticas+del+agua+en+mexico&rlz=1C5CHFA_enMX791MX791&oq=Conagua%2C+estadisticas+del&aqs=chrome.1.69i57j0i512j0i22i30l4.7315j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8)





**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

## **Eje Estratégico No. 3** **Métodos de tratamiento de agua potable**



**TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE BOCA DEL RÍO**



### **3.3 Eje Estratégico No. 3: Métodos de tratamiento de agua potable**

El TecNM campus Boca del Río es el coordinador del eje estratégico de **métodos de tratamiento de agua potable**. A continuación, se presenta una introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores del este eje.

#### **3.3.1 Introducción**

El agua potable se denomina "bebible" en el sentido de que puede ser utilizada por humanos y animales sin riesgo de enfermedades. Este término se refiere al agua que ha sido tratada para el consumo humano de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por las autoridades Nacionales e Internacionales [1]. El proceso de convertir el agua común en agua potable se llama potabilización. Por lo general, implica la eliminación de compuestos volátiles, seguida de la precipitación de las impurezas con un coagulante, filtración y desinfección con cloro u ozono. El abastecimiento de agua potable es un tema que ha ocupado al hombre desde la antigüedad. En algunas zonas se han construido cisternas para recoger el agua de lluvia. Estos depósitos suelen ser subterráneos, por lo que el agua siempre está fría y carece de luz, lo que favorece el crecimiento de algas [2].

El agua desempeña un papel vital en la salud pública, el crecimiento económico y la sostenibilidad del medio ambiente, pero solo alrededor del 0.01 % del agua de la Tierra es potable, cantidad que se reduce año tras año debido a la contaminación, por lo que se estima que 884 millones de personas en el mundo no tienen acceso a agua potable [3]. Para el año 2030 se espera que el uso del agua aumente en un 40 % gracias a una combinación de factores como el cambio climático, la acción humana y el



crecimiento demográfico, aunque hoy en día ya es excesivo en algunas ciudades. Por ejemplo, el consumo promedio de agua al día en la Ciudad de México es 366 litros diarios por persona (ONU, 2022).

En este sentido, cabe señalar que muchos países alrededor del mundo utilizan las guías para la calidad del agua humana publicadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para establecer estándares nacionales para el agua potable. Por ejemplo, en México, existe el Programa Nacional Hídrico 2020-2024 por la Comisión Nacional del Agua, que establece los procesos de formulación, aprobación y ejecución de la política hídrica. La agenda del Agua 2030 que postula una estrategia a largo plazo, cuyos avances deberán ser revisados anualmente, define la naturaleza y magnitud de los desafíos a superar y de las soluciones a desplegarse al sistema nacional de gestión del agua de una adecuada orientación estratégica a largo plazo [4].

Además, se cuenta con las Normas Oficiales Mexicanas en materia de agua para uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-2021), que establece los límites permisibles de la calidad del agua. La (NOM-179-SSA1-2020), que establece el control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua.

Los tratamientos para potabilizar el agua [2], se pueden clasificar de acuerdo con: a) Los componentes o impurezas a eliminar, b) Parámetros de calidad y c) Grados de tratamiento de agua. De esa forma la clasificación se visualizar en la Tabla 18.



**Tabla 18.** Posibles procesos unitarios que se pueden llevar a cabo en función de los contaminantes presentes

| Tipo de contaminante                                                    | Operación Unitaria                     |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Sólidos gruesos                                                         | Cribado, tamizado                      |
| Partículas coloidales                                                   | Coagulación-floculación, sedimentación |
| Sólidos en suspensión                                                   | Filtración                             |
| Materia orgánica                                                        | Afino con carbón activo                |
| Gérmenes patógenos                                                      | Desinfección                           |
| Sólidos disueltos (Cl <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> ) | Ósmosis Inversa                        |

Fuente: Calidad y tratamiento de agua, 2022. American Water Works Association [5]

Las aguas superficiales susceptibles de ser destinadas al consumo humano quedan clasificadas, según el grado de tratamiento que deben incluir para su potabilización, en los tres grupos siguientes:

- TIPO A1: Tratamiento físico simple y desinfección
- TIPO A2: Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección.
- TIPO A3: Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección.

### 3.3.2 Antecedentes

En nuestro territorio mexicano existen 11 122 km de costas, 15 000 km<sup>2</sup> de lagunas costeras y 29 000 km<sup>2</sup> de cuerpos de agua interiores que forman una gran variedad de ecosistemas acuáticos, los que a su vez constituyen hábitats de gran importancia para miles de especies. La mayor parte de los recursos superficiales se localizan en los ríos, seguidos en importancia por presas, acuíferos, lagos y lagunas. Se reconocen 653 acuíferos, 51 ríos principales por los que fluye el 87 % del escurrimiento superficial y cuyas cuencas cubren el 65 % de la superficie del país; cerca de 70 lagos con extensiones entre 1 000 y más de 10 000 ha. Los ríos y arroyos constituyen una red hidrográfica de aproximadamente 633 mil km de longitud. México





cuenta con 142 humedales de importancia internacional, con una superficie mayor a 8.6 millones de hectáreas; entre los que se incluyen deltas, ríos, arroyos, lagos, lagunas, pantanos, oasis, cenotes, marismas, manantiales, manglares y rías. Algunos de estos sitios han sido declarados Patrimonio Mundial por la UNESCO [4]. El 69 % del escurrimiento natural de agua deriva de las cuencas de los ríos Balsas, Santiago, Verde, Ometepe, Fuerte, Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Pánuco, Tecolutla, Bravo y Tonalá; cuya superficie corresponde al 38% del país.

Específicamente, estudios recientes reportan que la presencia de los contaminantes emergentes a la entrada y salida de plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que no es posible su completa eliminación debido a que se desconoce su toxicidad [6], ya que no están sujetos a evaluación ambiental antes de ser puestos en el mercado y a pesar de ser seguros para el consumo humano, no queda totalmente definido su impacto sobre el medio ambiente, especialmente en la contaminación del agua [7, 8].

Por otra parte, en México, la situación del vital líquido vislumbra un panorama que indica que cerca de 12 millones de personas carecen de acceso al agua potable. 102 de los 653 acuíferos de la nación se encuentran sobreexplotados y el 46% del vital líquido se pierde por fugas en las redes de abastecimiento. Además, el 80 % de los cuerpos de agua del país presenta algún tipo de contaminación por descargas industriales. Sólo uno de cada 100 litros de agua que caen por concepto de lluvia es captado para su utilización en distintas actividades. Debido a la pobre calidad del agua en la mayoría de las cuencas, México es el país número uno en el mundo en consumo de agua embotellada. Y, por ejemplo, a pesar de que en Oaxaca 33 % de la población no tiene acceso al agua en sus hogares, el gobierno federal decidió reducir en un 80 % el presupuesto de la Comisión Nacional del Agua para esa cuenca en 2016 [9].



### 3.3.2 Justificación

Según la ONU (2022) 84 millones de personas en el mundo no tienen acceso a agua potable segura, 2.6 mil millones de personas carecen de acceso a saneamiento básico, es decir el 40 % de la población mundial. Estos problemas pueden ser estimados en un costo de USD 141 mil millones al año en todo el mundo, y una tercera parte de estos casos ocurren en países en desarrollo, donde cerca de 45 millones de metros cúbicos se desperdician diariamente en las redes de distribución. La cantidad de agua desperdiciada podría abastecer a cerca de 200 millones de personas. Por ejemplo, en el Valle de México, aproximadamente la mitad del agua se desperdicia. Además, cada día, alrededor de 30 millones de metros cúbicos no se facturan por causa de robo, medición inadecuada y corrupción [10].

En el mundo, hacer frente al cambio climático, al aumento de la escasez de agua, al crecimiento de la población, a los cambios demográficos y a la urbanización supone ya un desafío para los sistemas de abastecimiento de agua. Más de 2300 millones de personas viven en países con escasez de agua potable, situación que probablemente empeorará en algunas regiones como resultado del cambio climático y el crecimiento de la población. La reutilización de las aguas residuales para recuperar agua, nutrientes o energía se está convirtiendo en una estrategia importante. Los países utilizan cada vez más aguas residuales para fines de irrigación; en el caso de los países en desarrollo, esta práctica se realiza en el 7 % de las tierras de regadío. Aunque esta práctica supone riesgos para la salud pública, la gestión segura de las aguas residuales puede aportar múltiples beneficios, como el aumento de la producción de alimentos [11].



Las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano y para riego seguirán evolucionando, y cada vez se utilizarán más aguas subterráneas y aguas de fuentes alternativas, como las aguas residuales. Además, el cambio climático conllevará mayores fluctuaciones en la cantidad de agua de lluvia recogida y la gestión de todos los recursos hídricos tendrá que mejorarse para garantizar el abastecimiento y la calidad [11].

En México, existen diferentes estándares (NMX) que indican los procedimientos que se deben seguir para la determinar los principales parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua. No obstante, solo los laboratorios que se encuentran acreditados bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2018 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración), cumplen con sus especificaciones. En este contexto, cabe señalar que la mayoría de los laboratorios acreditados en México son laboratorios privados y solo uno está acreditado por el TecNM como laboratorio de análisis de agua. Por lo tanto, existen muchas oportunidades para todos los laboratorios de las diferentes instalaciones del TecNM que quieran acreditarse y quieran brindar servicios confiables de análisis de calidad de agua que puedan dar el cumplimiento de las normas de calidad de agua vigentes en México, lo que será importante para asegurar la calidad del agua que se obtenga de los métodos de tratamiento que se realizan en las regiones hídricas y de impacto de los campus de TecNM.

#### **3.3.4 Objetivos, metas, acciones e indicadores**

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 3 Métodos de tratamiento de agua potable de la agenda estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento, se citan en la Tabla 19.



**Tabla 19.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso del eje estratégico No. 3 Métodos de tratamiento de agua potable.

| Objetivos                                                                                                                                                                                       | Metas                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Acciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Indicadores                                                                                                                                                                                                                                                                     | Fecha compromiso                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1. Conformar una red de especialistas académicos y de investigación del TecNM en el manejo y tratamiento con métodos prácticos y de innovación del agua potable de acuerdo a su región hídrica. | Base de datos y evidencia fotográfica de Sistema de saneamiento de cada región hídrica con la participación activa de los campus del TecNM<br><br>Número de plantas potabilizadoras, método de potabilización de agua, nivel de manejo integral sustentable del recurso en cada región hídrica. | Participar en actividades de gestión, revisión bibliográfica, plataformas WEB y trabajo de campo para conocer las capacidades de infraestructura física y humana en cada región hídrica por los diferentes campus del TecNM<br><br>Capacitación del personal en técnicas de vanguardia para la potabilización de agua en un marco integral de | Índice de la Infraestructura para el saneamiento del agua potable de cada región hídrica.<br><br>Nivel de Capacitación tecnológica para el manejo integral sustentable de métodos de potabilización de los diferentes niveles gubernamentales, y sociales en la región hídrica. | Diciembre 2024<br><br>Con base a plan de trabajo y recursos. |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                   |                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                             | sustentabilidad y manejo del recurso hídrico.                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                   |                     |
| 2. Fortalecer técnica y científicamente los diversos campus del TecNM con respecto al manejo e infraestructura sanitaria, equipamiento y personal especializado en <i>Métodos de tratamiento de agua potable</i> , para apoyar las actividades de su región hídrica de impacto. | Obtener un diagnóstico de las necesidades de infraestructura y manejo del recurso hídrico en <i>Métodos de tratamiento de agua potable</i> en la región de impacto de los campus del TecNM. | Aplicación de una encuesta para determinar la infraestructura de saneamiento y de los sistemas de potabilización de agua potable específicos para fortalecer las tecnologías y el conocimiento científico del personal especializado del TecNM en los métodos innovadores de potabilización del agua. | Resultados de la encuesta técnico-científica e identificación de las fortalezas para el manejo y métodos de tratamiento del agua potable en la región de impacto. | 30 de junio de 2023 |



|                                                                                                                                  |                                                            |                                                                                                                       |                                    |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------|
| 3. Desplegar de un diplomado o de especialidad relacionado con el manejo y saneamiento en la potabilización del recurso hídrico. | Diplomado a impartirse en los diferentes campus del TecNM. | Conformar una base de datos de expertos en temas de agua. Conjuntar un grupo de trabajo para la revisión del temario. | Diplomado o especialidad impartida | Enero 2024 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------|

### 3.3.5 Bibliografía

- [1] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua, 2021.  
Revisado, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0). (Acceso 23 de abril de 2023).
- [2] Hantke-Domas, M., & Jouravlev, A. (s. f.). Lineamientos de política pública para el sector de agua potable y saneamiento
- [3] Monsalve, E. V. (23 de Abril de 2023). ONU-Habitat. Obtenido de [https://onuhabitat.org.mx/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua?fb\\_comment\\_id=1919706488040991\\_2396617700349865](https://onuhabitat.org.mx/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua?fb_comment_id=1919706488040991_2396617700349865)
- [4] Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Comisión Nacional del Agua. PROGRAMA ESPECIAL DERIVADO DEL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2019-2024.
- [5] AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. (2002). Calidad y tratamiento del agua. 1era Edición. Editorial McGraw-Hill. España.
- [6] MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUA. (2007). Unidad Potabilización de Agua. Formaselect. España. Consultado en: [www.formaselect.com](http://www.formaselect.com)



- [7] OMS, (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda [Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first adendum]*. Revisado, <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>. (Acceso 23 de abril de 2023).
- [8] García-Gómez C, Gortáres-Moroyoqui P, Drogué P. Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción Emerging contaminants: effects and removal treatments. *Rev Química Viva*. 2011;10(2):96–105.
- [9] Agua, C. N. (2011). *Agenda del Agua 2030*. Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- [10] OMS (2023). Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- [11] Romero, M. (s.f.). *Tratamientos utilizados en potabilización de agua*. Guatemala: Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar.





**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

## **Eje Estratégico No. 4** **Métodos de tratamiento de aguas residuales**



**TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE BOCA DEL RÍO**



### **3.4 Eje Estratégico No. 4: Métodos de tratamiento de aguas residuales**

El TecNM campus Boca del Río también es el coordinador del eje estratégico de **métodos de tratamiento de aguas residuales**. La introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico se citan en la siguiente sección.

#### **3.4.1 Introducción**

En 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1], reporta:

- 45% de las aguas residuales domésticas generadas en el mundo se vertieron sin aplicar un tratamiento seguro.
- 54% de la población mundial (4200 millones de personas) utilizaba un servicio de saneamiento gestionado de forma segura.
- Más de 1700 millones de personas siguen sin tener acceso a servicios básicos de saneamiento, como inodoros o letrinas privados.
- De ellas, 494 millones todavía defecan al aire libre, por ejemplo, en alcantarillas, detrás de arbustos o en masas abiertas de agua.
- Se estima que al menos el 10% de la población mundial consume alimentos regados con aguas residuales.
- Un saneamiento deficiente reduce el bienestar humano y el desarrollo social y económico a causa de la ansiedad, el riesgo de padecer agresiones sexuales, la pérdida de oportunidades educativas y laborales, y otras consecuencias.
- Un saneamiento deficiente va asociado a la transmisión de enfermedades diarreicas como el cólera y la disentería, así como la fiebre tifoidea, las lombrices intestinales y la poliomielitis. También agrava el retraso del crecimiento y contribuye a la propagación de la resistencia a los antimicrobianos.





México tiene 126.7 millones de habitantes [2], que requieren según la OMS 2019 [3], 100 litros de agua al día por persona (5 o 6 cubetas) para satisfacer sus necesidades, tanto de consumo como de higiene. El artículo 4° de la Constitución Mexicana afirma que *"toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible"* [4]; sin embargo, el 47% de los mexicanos no tiene acceso constante al agua potable y su saneamiento.

Una vez que el agua es usada, su composición se ve alterada y se considera agua contaminada. Las aguas residuales son aquellas que varían su composición y son provenientes de las descargas de usos públicos urbanos, domésticos, industrial, comercial, de servicios, agrícolas, pecuarios, acuícolas, de plantas de tratamiento y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas [5].

A finales del año 2021 la CONAGUA [6], reporta el registro en el país de 2,872 plantas de tratamiento de agua residual en operación, con una capacidad total instalada de 198 603.55 L/s, y un caudal de tratamiento a 145 341.0 L/s, equivalentes al 67.2% del agua residual generada y colectada en los sistemas municipales de alcantarillado del país; lo que indica que algunas plantas no funcionan al cien por ciento de su capacidad y otras han sido abandonadas. La razón por la que esta tecnología convencional no tiene éxito en países en desarrollo, como México, son los altos costos de inversión en la construcción, operación y mantenimiento, ya que la mayoría de estas dependen del presupuesto gubernamental, por lo que estos sistemas no son sostenibles donde la capacidad económica del municipio no es suficiente [7].





Los principales sistemas de tratamientos de aguas residuales en México reportados por la CONAGUA [8], son: Lodos activados en 52.9 %; Sistema Dual 17.19 %; Lagunas de estabilización 10.4 %; Lagunas aireadas 5.22 %; Filtros Biológicos 3.88 %; Reactor anaerobio de flujo ascendente 0.89 %; Sistema primario 0.03 % y otros sistemas 6.18 %; en este último se ubican los Humedales artificiales o contruidos entre otros.

### **3.4.1.1 Marco normativo**

En México el tratamiento de aguas considera el siguiente marco normativo:

- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Publicada el 11 de marzo 2022 [9]
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicada el 3 de junio de 1998 [10].
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios públicos. Publicada el 21 de septiembre de 1998 [11].
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2001, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final. Publicada el 15 de agosto de 2003 [12].



### 3.4.1.2 Desafíos

La Agenda 2030, en su Objetivo 6. Agua Limpia y Saneamiento; pretende garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. De aquí a 2030 se establecen las siguientes metas [13]:

- Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
- Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial
- Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
- Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
- Ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y



programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización

- Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

Considerando la información citada anteriormente, los retos del Tecnológico Nacional de México con sus 254 planteles en todo el país, son fomentar la implementación de tecnologías y métodos de tratamiento de aguas residuales de bajo costo de construcción, implementación y mantenimiento. Estos tratamientos deben ser amigables con el medio ambiente, ya que además de depurar las aguas residuales, deberán ofrecer servicios ecosistémicos que ahorren energía y que fomenten el reusó de agua. Esta problemática puede atenderse por regiones, donde existen iniciativas y casos de éxito en el tratamiento de aguas residuales, porque se requiere conocer los sistemas que cada instituto maneja y de no tenerlos implementarlos como ejemplo de cuidado del medio ambiente.

### **3.4.2 Antecedentes**

Las aguas residuales son aquellas provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias, acuícolas o de cualquier otra actividad que, por el uso de que han sido objeto, contienen materia orgánica y otras sustancias químicas, físicas o biológicas que alteren su calidad original. Por lo tanto, desde que hombre comenzó su desarrollo en el planeta comenzó a generar aguas residuales y la problemática creció por la falta de un adecuado manejo y gestión. Ejemplo de ello: en el



neolítico, en 8500 a.C., iniciaron los procesos productivos y comerciales, creando núcleos de población creciente, que comenzaron a generar los desechos sanitarios. La primera instalación de saneamiento fue el pozo ciego o pozo negro en Babilonia en el año 4000 a.C., con un sistema de tubería de arcilla y por baldeo hacia los pozos. En la ciudad de Mohenjo-Daro, en el valle del Indo (en el actual Pakistán), aparecieron los primeros edificios con letrinas conectadas a alcantarillas en las calles. Los ciudadanos baldeaban con agua sus letrinas y las alcantarillas recogían el agua residual y la llevaban al pozo ciego o al río Indo. El problema había crecido en complejidad y magnitud, y empezamos a contaminar sistemáticamente los cursos de agua. En la Grecia antigua, ante la ausencia de ríos caudalosos, surgió una primera aplicación de las aguas negras a la fertilización agrícola. En algunas ciudades las alcantarillas llevaban las aguas negras a las afueras de la ciudad hacia un vertedero desde el que se transportaban por conductos a los campos de cultivo [14].

Por otro lado, el tratamiento de aguas residuales es un proceso que limpia y permite su reincorporación a los mantos acuíferos o a los sistemas de agua potable. La falta de tratamiento tiene importantes implicaciones ambientales, económicas y sociales, como son la destrucción de los mantos acuíferos y de la flora y fauna de zonas aledañas. Además, genera focos de transmisión de enfermedades y malos olores. Existen diferentes tipos de tratamientos que se pueden clasificar por la cantidad y tipo de residuos contenidos en aguas residuales. Por ejemplo: 1) Tratamiento Primario: asentamiento de sólidos (Procesos de Sedimentación; Decantación; Lagunas de estabilización; 2) Tratamiento Secundario: biológico de la materia orgánica disuelta (Lodos activados; Lagunas aireadas; Filtros biológicos y Reactores anaerobios de flujos ascendente (RAFA)) y 3) Tratamiento Terciario: microfiltración y desinfección (Desinfección, Filtración química) [15].



Existe otra clasificación de sistema de tratamiento de aguas residuales naturales, que buscan la depuración de las aguas, como son los Tratamientos en Terrenos (Infiltración lenta; Infiltración rápida y flujo superficial), otros con los Tratamientos en Sistemas acuáticos (Humedales; Lagunajes y Cultivos Acuáticos) [16]. De estos sistemas particularmente los Humedales se han utilizado ampliamente como ecotecnologías amigables con el ambiente, creando el concepto de Humedales artificiales o construidos.

Todos estos métodos y sistemas de tratamiento de aguas residuales buscan la disminución o eliminación de los contaminantes y contribuir a la solución de esta problemática.

La UNESCO [17] propone un ciclo de gestión mejorada de las aguas residuales para atender las tres principales consecuencias de liberar aguas sin un tratamiento adecuado, las cuales son: Efectos nocivos en la salud humana; Impactos negativos en el ambiente y Repercusiones adversas en actividades económicas.

#### 3.4.2.1 Ciclo de gestión mejorada (UNESCO)

- **Prevención o reducción de contaminación de la fuente.** Reducir la cantidad de contaminantes o prohibirlos, a través de la legislación, ya que es más fácil y barato legislar su uso que removerlos de las aguas residuales. Es importante incorporar un sistema de monitoreo de las aguas residuales presentes en el sistema, en tiempo real, que permita plantear objetivos que concuerden con la realidad.
- **Recolección y tratamiento de aguas residuales.** La tendencia mundial va hacia los sistemas descentralizados, que permiten trabajar con pequeños grupos o zonas. Ahorran energía y agua ya



que solo cuestan de 20% a 50% del total de una planta tratadora centralizada y su gasto de operación y mantenimiento es también entre 5 % y 25 % más bajo.

- **Usar las aguas residuales como una fuente alternativa de agua.** Reusar el agua residual beneficia a los ecosistemas, reduce la extracción de agua dulce, rellena los acuíferos agotados y disminuye los costos de llevar agua dulce a las zonas de agricultura y ganadería.
- **Recuperación de subproductos útiles.** Es posible extraer energía de los subproductos del tratamiento de aguas residuales, con lo cual se pueden sustituir parcialmente los gastos energéticos de la planta.

### 3.4.3 Justificación

A nivel mundial, México es el segundo país, sólo después de China, que utiliza más "aguas crudas" (sin tratar) para riego. Éstas acarrear grandes cantidades de organismos patógenos, metales pesados y residuos de productos de aseo personal que generan problemas de salud, así como de antibióticos, que contribuyen a aumentar la resistencia de las bacterias. En términos generales, las aguas sin tratamiento pueden provocar enfermedades humanas como cólera, diarreas, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis. Además, contienen derivados de combustible y nuevos contaminantes que aún no están contemplados en la normativa mexicana que regula los límites y tipos de contaminantes en las plantas de tratamiento. Por ejemplo, derivados de disolventes industriales, plásticos y plaguicidas, que inciden de manera importante en el desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas como el cáncer. La inversión en infraestructura de agua y saneamiento tiene efectos positivos evidentes en la reducción de la incidencia de enfermedades que afectan a la Salud Pública y a la preservación de los ecosistemas donde actualmente son vertidas estas aguas sin tratamiento. Además, un adecuado



tratamiento de las aguas residuales permitiría incorporar nuevamente el agua a los mantos subterráneos, los cuales sostienen alrededor de 62% del uso público, 52% del industrial y 34% del agrícola e industrial. Por lo tanto, existe una gran área de oportunidad para todos los Institutos Tecnológicos que conforman el TecNM; para implementar su programa de Reactivación, Rediseño y Creación e Implementación de Métodos de tratamiento de aguas residuales, en cada de uno de sus institutos y de las localidades y áreas que impactan. De esta manera se estará promoviendo la educación del cuidado y aprovechamiento del agua y cumpliendo con la Agenda 2030 y la UNESCO.

#### 3.4.4 Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 4 métodos de tratamiento de aguas residuales de la agenda estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento, se citan en la Tabla 20.

**Tabla 20.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso del eje estratégico No. 4 Método de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales para todos.

| Objetivos                                                                                      | Metas                                                                    | Acciones                                                                                                                             | Indicadores                                                                                                     | Fecha compromiso                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Conformar un Programa de Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales y otras | Contar con un programa nacional de tecnológicos que impulsen el Programa | Realizar un diagnóstico nacional en los 254 institutos del TecNM para conocer el tipo de tratamiento de aguas residuales que tienen. | 6. Personal dedicado al tema.<br>7. Publicaciones científicas.<br>8. Publicaciones de difusión.<br>9. Proyectos | Enero 2025<br>(tentativamente con base al plan de trabajo y de los recursos) |



|                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| tecnologías alternas con los investigadores y profesores académicos.                                                                    | de Humedales Artificiales y otras tecnologías para todos en su región de impacto.                                                                                   | Detección de capacidades científicas, tecnológicas y de innovación en los diferentes campus del TecNM.                                                           | 10. Modelos de utilidad.                                                                                                                                |            |
| 2. Conjuntar a los especialistas del TecNM en los Métodos de tratamiento de aguas residuales para impulsar ecotecnologías sustentables. | Congreso Nacional de Tratamiento de aguas residuales con énfasis a los Humedales Artificiales o Construidos otras tecnologías alternas que se realicen en el TecNM. | 1. Hacer una convocatoria nacional, con las diferentes temáticas.<br>2. Organizar presentaciones orales y carteles.<br>3. Organizar mesas de discusión y trabajo | 1. Número de asistentes.<br>2. Número de participantes.<br>3. Número de ponencias<br>4. Número de poster<br>5. Número de mesas<br>6. Número de acuerdos | Enero 2024 |
| 3. Diseñar un diplomado relacionado con la implementación de ecotecnologías Humedales artificiales o construidos                        | Diplomado a impartirse en los diferentes campus del TecNM.                                                                                                          | 2. Conformar una base de datos de expertos en temas tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales.<br>3. Conjuntar un grupo de trabajo              | 1. Diploma do impartido<br>2. Profesores capacitados                                                                                                    | Enero 2024 |



|                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                           |                                                                         |                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| como una alternativa sustentable para el tratamiento de aguas residuales                                                                                                                                                     |                                                                                                                                       | para la revisión del temario.<br>4. Impartición de acuerdo a cada región de impacto.                                                                                                                      |                                                                         |                     |
| 4.Implementar Humedales Artificiales tipo jardines con plantas ornamentales por ejemplo como sistemas eficientes para resolver la problemática del tratamiento de aguas residuales y ser ejemplo para cada lugar en México i | Un humedal artificial, con diseño arquitectónico que se integré al paisaje como un jardín en cada instituto, o en su zona de impacto. | 1. Taller de implementación de humedales artificiales.<br>2. Diseño de cada humedal.<br>3. Tramite de financiamiento interno o externo.<br>4. Construcción y puesta en marca<br>5. Registro ante CONAGUA. | 1. Proyecto de humedal por instituto o comunidad.<br>2. Humedal activo. | Enero- agosto 2024. |
| 5.Incidir en el programa institucional de gestión de ambiental de cada institución en el manejo de sus aguas residuales a través de Humedales                                                                                | Registro ante la CONAGUA, de los sistemas de tratamiento de aguas residuales por instituto, por ejemplo: Humedales                    | Capacitación para la gestión administrativa, para el registro ante CONAGUA de los sistemas de humedales artificiales.                                                                                     | Registro                                                                | Diciembre 24        |



|                                  |                                                                |  |  |  |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|--|--|--|
| artificiales y otras tecnologías | artificiales como sistemas de tratamiento de aguas residuales. |  |  |  |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|--|--|--|

### 3.4.5 Bibliografía

- [1] Organización Mundial de la Salud (OMS) 2020. Saneamiento. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2021. Censo de Población y vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- [3] Organización Mundial de la Salud (OMS) 2019. Agua para consumo humano. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- [4] *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* [México], 5 febrero 1917, disponible en esta dirección: <https://www.refworld.org/es/docid/57f795a52b.html> [Accesado el 24 Abril 2023]
- [5] Comisión Nacional del Agua. (2018). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. Comisión Nacional del Agua.
- [6] Comisión Nacional del Agua. (2021). <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento&n=nacional>



- [7] Anda Sánchez, J. (2017). Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y ambiente*, 14), 119-143.
- [8] Comisión Nacional del Agua. (2018a). *Estadísticas del agua en México, edición 2018*. Comisión Nacional del agua.
- [9] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, 2021. Revisado, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [10] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, 1998. Revisado, [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [11] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, 1998. Revisado, [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4893449&fecha=21/09/1998#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4893449&fecha=21/09/1998#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [12] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2001, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final.



[https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003#gsc.tab=0). (Acceso 15 de agosto de 2003).

- [13] Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2018. Evolución de la inversión en América Latina y el Caribe: hechos estilizados, determinantes y desafíos de política. (CEPAL), <https://www.cepal.org/es/publicaciones/43964-estudio-economico-america-latina-caribe-2018-evolucion-la-inversion-america>
- [14] We AREWater Fondation.2017. Aguas negras, el rastro de nuestra historia. [https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia\\_281141#:~:text=La%20primera%20instalaci%C3%B3n%20de%20saneamiento,dela%20imperio%20y%20zonas%20rurales](https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia_281141#:~:text=La%20primera%20instalaci%C3%B3n%20de%20saneamiento,dela%20imperio%20y%20zonas%20rurales).
- [15] Reynolds K., 2002. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema. Agua Latinoamérica, septiembre/Octubre, 4p.
- [16] Organización Mundial de la Salud, 2016. Planificación de la seguridad del saneamiento: manual para el uso y la disposición seguros de aguas residuales, aguas grises y excretas. ISBN 978924349248 (Clasificación NLM: WA675).
- [17] UNESCO, 2020. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. <https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020#download>





**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

## **Eje Estratégico No. 5** **Recuperación y reúso del agua**



**TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO**



**ITT**  
TIJUANA, BAJA CALIFORNIA



### **3.5 Eje Estratégico No. 5: Recuperación y reúso del agua**

El TecNM campus Tijuana es el coordinador del eje estratégico **recuperación y reúso del agua**. A continuación, se presenta una introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores de este eje.

#### **3.5.1 Introducción**

En México, como en la mayor parte del mundo las instituciones de educación superior están considerando al agua, no solo como un tema de educación ambiental; sino como una necesidad imperante, ya que el servicio de agua potable, en muchas de ellas, no está garantizado. El Tecnológico Nacional de México ha dado un paso adelante en la búsqueda de coincidencias y contribuciones de parte de su comunidad para solventar los problemas de agua y para concientizar a sus estudiantes de la necesidad que hay de cambiar el paradigma del ciclo del agua. La actividad humana impacta fuertemente el ciclo del agua ya que en el afán de tener una vida más práctica y en la que el tiempo del día se pueda invertir en tareas intelectuales o de entretenimiento, solo se usa y se le impide continuar con su ciclo natural. El uso indiscriminado del agua y su disposición como agua residual rompen totalmente el ciclo natural del agua evitando la regeneración de las fuentes naturales. Es por eso que el avance tecnológico ya no puede descartar el cuidado del agua. Toda aquella persona que sea consciente de que el agua es un recurso indispensable que hay que cuidar para poder disponer de él cuando se requiera, debe convencerse de que después de usar el agua hay que tratarla, recuperarla y volverla a usar. Este ciclo antropogénico del agua representa la nueva forma de cuidar y mejorar la gestión del agua para poderla garantizar a más personas.



El ciclo del agua requiere que el género homo sapiens tome a cargo la labor ayudar a su recuperación. Hablar de recuperación de agua es impedir que el agua de lluvia se mezcle con el agua de drenaje, hablar de recuperación de agua es no tirar indiscriminadamente el agua utilizada a la calle (en el mejor de los casos al drenaje). Hablar de recuperación de agua es crear conciencia en la población mundial para que se reformulen los paradigmas del uso del agua. Hablar de recuperación de agua es enseñar a todas las niñas y niños, jóvenes y señoritas a apreciar el agua limpia que sale de una llave. Hablar de recuperación de agua es perfilar la innovación y la tecnología hacia cómo armonizar con el ciclo natural del agua en el planeta Tierra, ya que en ningún otro planeta que se tenga conocimiento hasta la fecha, existe este preciado líquido que es fuente no solo de limpieza y sanidad, sino de la propia vida.

Como parte de la Agenda 2023 para el agua limpia y saneamiento del Tecnológico Nacional de México, la recuperación y el reúso del agua es el eje que pretende contribuir a la conservación del agua en el planeta Tierra, dándose a la tarea de crear e innovar en todas las tareas relacionadas con el uso del agua, para no solo contar con el agua como un recurso disponible, sino para garantizar su conservación. En el eje de Recuperación y Reúso de agua se presentarán los antecedentes internacionales y nacionales relativos a la recuperación y el reúso del agua, para posteriormente justificar la temática como un importante eje de la Agenda TecNM, presentar los objetivos, metas y acciones, y finalmente, dar las perspectivas que promete el trabajo en conjunto de los Institutos Tecnológicos, a nivel nacional.





### 3.5.2 Antecedentes

Una de las clasificaciones más simples del agua utilizada en diferentes labores humanas, es la siguiente: gris, negra e industrial. El agua gris se le denomina a toda el agua proveniente de labores de limpieza (lavamanos, lavadora, lavado de trastes, lavado común de pisos, lavado de autos, regadera, agua de tina y agua de albercas, entre otras), esta agua suele tener algo de poco de polvo, grasa y jabón, su disposición es comúnmente al drenaje municipal [1]. El agua negra procede del uso del W.C. y se produce principalmente en las urbanizaciones, ya que las casas habitación, lugares de reunión y entretenimiento se construyen para que esta agua se incorpore también al drenaje municipal. En cuanto al agua de uso industrial, ésta tiene múltiples composiciones, ya que los procesos de producción son muy variados. Sin embargo, de manera general si se pueden identificar que contienen contaminantes como los metales pesados y las sustancias disueltas. La disposición de las aguas industriales, en el mejor de los casos, se realiza a bienes nacionales o al drenaje municipal después de haber sido tratadas para lograr que su composición y caudal cumplan con las normas mexicanas NOM001-SEMARNAT-2021 y NOM-002-SEMARNAT-1996.

Es así que al final del camino, en el drenaje municipal van mezcladas las aguas grises, aguas negras y agua industrial tratadas. En las grandes urbes, el agua de drenaje se conduce hasta plantas de tratamiento de agua residual que se diseñan para eliminar compuestos orgánicos, provenientes de aguas grises y negras principalmente, asumiendo que las aguas de origen industrial ya han sido tratadas y no contienen ninguno de los contaminantes regulados en la normatividad ambiental. Si no se hiciera esto la acumulación de agua residual causaría daños graves a la población y a los sitios en donde quede almacenada o sea dispuesta.



Ante esta realidad, se puede identificar que la mayor parte del agua procedente de las labores domésticas y de procesos industriales se genera en las grandes ciudades y que el servicio de tratamiento de agua pretende retornar el agua a una calidad al menos similar a la de la fuente de donde se tomó para potabilizarla. De esta manera, desde mediados del siglo XX, en que se completaría el ciclo del agua en el que el ser humano la usa; sin embargo, no fue hasta que principios de 1980, en el Distrito de Irvine, California, Estados Unidos [2], que se estandarizó el uso de tubos de color morado para conducir el agua tratada para distribuirla a jardines, construcción y usos industriales que pueden utilizarla en procesos. A partir de esta propuesta, fue aceptado internacionalmente el color morado para distinguir la conducción de agua recuperada de las plantas de tratamiento de agua que la producen. En México, el agua del tubo morado es ya un producto comercial según lo han informado los organismos operadores en Monterrey y San Luis Potosí, poniendo el ejemplo para todas las ciudades que cuentan con plantas que producen agua de reúso que cumple la NOM-003-SEMARNAT-1997. A la fecha, ciudades como León, Guanajuato, y El Salto, Jalisco [3], han instalado ya redes de distribución de agua, inclusive innovando en los fraccionamientos, en donde las casas tendrán tubería azul para el agua potable y tubería morada para el agua recuperada que se podrá utilizar para regar y realizar labores de limpieza externa. Otra ciudad que está buscando unirse al programa de red morada para distribuir y comercializar el agua recuperada, es Tijuana. Simultáneamente al "proyecto morado" se inició el reúso de agua para cultivo de viñedos, que consistió en instalar una hectárea de uva *cabernet sauvignon*, en una de sus plantas de tratamiento de agua. Uniendo esfuerzos, profesores del Instituto Tecnológico de Tijuana, autoridades de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana y propietario de una vinícola en el Valle de



Guadalupe pusieron a prueba el riego del viñedo experimental con agua recuperada (agua morada). En dicho viñedo se cultiva desde hace 12 años y se produce vino "La Morita" que cumple con la misma calidad de los vinos cultivados en el Valle de Guadalupe. Este es un ejemplo de adaptación del agua recuperada al reúso de agua, pues si bien la mezcla de aguas que componen el agua residual es una mezcla compleja, se ha logrado demostrar que el agua recuperada es un producto y se puede comercializar al mismo tiempo que disminuir la demanda de agua potable por un sector de la población. Con esto se puede extender el servicio a un mayor número de personas.

Por otra parte, se abre la posibilidad de no mezclar las corrientes de agua gris y agua tratada industrial con el agua negra y buscar su reúso; sin embargo, esta estrategia requiere de evaluaciones técnicas y tecnológicas para hacer un cambio de paradigmas progresivo y paulatino que no perjudique a la población, sino que la beneficie.

### **3.5.3 Justificación**

Así como existen problemáticas comunes en los campus del TecNM, también es importante reconocer que las zonas geográficas tienen diferencias radicales en cuanto a clima a infraestructura para el tratamiento de agua. En cuanto a las primeras, sucede que en los campus que están ubicados en la parte baja de laderas y cerros, el agua de lluvia se mezcla con drenajes de zonas habitacionales, lo que impide la recuperación de agua de lluvia. Por otra parte, la suficiencia del agua para los servicios de los campus está seriamente comprometida. Es así que en todos los campus donde existe el problema de lluvias torrenciales y zonas habitacionales que no cuentan con drenaje o en donde el drenaje se fractura, se requiere el tratamiento y recuperación del agua para poder



reutilizarla. Otra problemática es la desembocadura de agua contaminada hacia canales que conducen a ríos y arroyos, problema que acaba por destruir fauna y flora de los lugares por donde pasa el río y por supuesto la pérdida de fuentes naturales de agua. De manera unánime, los representantes de los campus que participaron en el eje temático de Recuperación u Reúso de agua coincidieron en lo siguiente:

- Vinculación entre los campus del TecNM para fortalecer el conocimiento relativo a las tecnologías de recuperación y reúso de agua que puedan ayudar a recuperar agua y a remediar la contaminación de ríos y arroyos.
- Vinculación entre los campus del TecNM y las empresas locales para prestar servicios de asesoría y de análisis de agua para mejorar las labores principalmente agrícolas y ganaderas.
- Búsqueda de recursos financieros para poder llevar a cabo proyectos de recuperación y reúso de agua.
- Mejoramiento de la educación ambiental y de uso de agua para toda la comunidad TecNM.

Todo lo anterior requiere de una organización para diagnosticar, ordenar y compartir el conocimiento que poseen las comunidades de los diferentes campus. Además, por la alta demanda de agua potable tanto en viviendas, agricultura, ganadería y procesos industriales, es evidente que se vislumbra una escasez originada por el aumento de población. Esta situación invita a todos los profesores y alumnos del TecNM a tomar conciencia y en la medida de sus posibilidades contribuir a conservar el ciclo natural del agua armonizando el ciclo humano del agua.



### 3.5.4 Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 5 recuperación y reúso del agua de la agenda estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento, se citan en la Tabla 21.

**Tabla 21.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso del eje estratégico No. 5 recuperación y reúso del agua

| Objetivos                                                                                                                         | Metas                                                                                                                                                                                         | Acciones                                                                                                                                                                                                            | Indicadores                                                                            | Fecha compromiso |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1. Realizar una evaluación del estado del arte que tiene el TecNM en el tema de Recuperación y Reúso de Agua.                     | Catálogo de fortalezas del TecNM en el eje de Recuperación y Reúso de Agua                                                                                                                    | Clasificar las respuestas obtenidas a través del cuestionario diagnóstico                                                                                                                                           | Porcentaje de profesores y proyectos dedicados al eje de Recuperación y Reúso de Agua  | Agosto 2023      |
| 2. Iniciar una base de datos, sobre la Recuperación y el Reúso del agua, en los campus del TecNM, que se actualice en tiempo real | Documento digital y software de consulta sobre el tema y el lugar en donde se encuentra el campus del TecNM, a fin de que empresas que requieran el servicio puedan consultar con expertos en | Elaborar análisis de respuestas dadas por los maestros que realicen investigación relativa al eje de Recuperación cuando para dar inicio a la selección y definición de rubros de clasificación y consulta digital. | Registro de colaboraciones interinstitucionales a raíz del inicio de la base de datos. | Diciembre 2023   |



|                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                           |                                                                                            |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|                                                                                                                                                                                            | la<br>Recuperación<br>y Reúso de<br>Agua                                                                                                                                                |                                                                                                                                           |                                                                                            |                |
| 3. Incluir en el temario del curso de Desarrollo Sustentable los conceptos básicos de Recuperación y Reúso de Agua, así como la importancia de cuidar el agua y mejorar los hábitos de uso | Que los egresados del TecNM tengan la capacitación del cuidado del agua y su uso y reúso eficiente, haciendo valer su tiempo y dedicación a través del curso de Desarrollo Sustentable. | Revisar y actualizar el temario del curso de Desarrollo Sustentable para que incluya los temas de cuidado, recuperación y reúso del agua. | Evaluación del impacto del nuevo curso de Desarrollo Sustentable                           | Abril 2024     |
| 4. Incluir el módulo de Recuperación y Reúso de agua en el Diplomado que se planea crear en el TecNM                                                                                       | Contribuir a la formación de especialistas en el tema de Recuperación y Reúso de Agua                                                                                                   | Armar el temario del módulo de Recuperación y Reúso de agua incluyendo casos prácticos                                                    | Eficiencia terminal del diplomado-<br><br>Resultado de las encuestas de evaluación docente | Diciembre 2023 |
| 5. Crear una convocatoria para que los investigadores del TecNM diseñen                                                                                                                    | Concurso por fondos de investigación para desarrollar                                                                                                                                   | Redactar las bases y términos de referencia de la convocatoria.                                                                           | Número de personas participando en un proyecto/número de proyectos presentados.            | Julio 2023     |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                              |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| prototipos innovadores para mejorar la calidad del agua recuperada tanto en las plantas industriales, como en las plantas de acondicionamiento de agua residual, a fin de hacerla apta y confiable para regar hortalizas y cultivos de productos alimenticios, labores de limpieza de baños y pisos. | ideas y nuevos prototipos para mejorar la calidad del agua recuperada.                                                                            | Apoyar mediante fondos de investigación a los mejores proyectos presentados en la convocatoria                                                                               | Número de proyectos/Número de Institutos Tecnológicos                                                                        |                |
| 6. Evaluar la calidad del agua recuperada de plantas de tratamiento de agua residual ubicadas en los campus o más cercana a cada campus del TecNM, con el fin de definir el tipo de reúso que se les puede dar                                                                                       | Contar con datos que puedan servir de apoyo a los campus que requieran para iniciar su dinámica de trabajo en el tema del reúso del agua tratada. | Realizar las pruebas de calidad de agua a las muestras provenientes de PTAR locales<br><br>Comunicar sus resultados a través de un sistema de adquisición de datos en línea. | Número de institutos tecnológicos que cuentan con un registro de calidad de agua tratada en sus campus o en plantas cercanas | Diciembre 2023 |
| 7. Conjuntar un grupo de expertos del TecNM que                                                                                                                                                                                                                                                      | Que todos los campus del TecNM se                                                                                                                 | Agendar sesiones de trabajo con el                                                                                                                                           | Número de asesorías prestadas por el                                                                                         | Diciembre 2023 |



|                                                                                                                 |                                                                                                 |                                               |                             |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|--|
| pueda asesorar a los campus del TecNM para armar su plan de trabajo referente a la Recuperación y Reúso de Agua | sumen a la Recuperación y Reúso de Agua para dar ejemplo a otras instituciones y a la población | grupo de expertos para dar asesorías en línea | grupo de expertos del TecNM |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|--|

### 3.5.5 Bibliografía

- [1] <http://sapam.gob.mx/site/aguas-grises-como-mecanismos-de-reduccion-del-consumo-personal-del-agua/#:~:text=La%20reutilizaci%C3%B3n%20de%20aguas%20grises,se%20usan%20para%20la%20jardiner%C3%ADa.>
- [2] <https://www.irwd.com/liquid-news/the-true-tale-of-how-irwd-set-a-standard-for-recycled-water>
- [3] <https://www.jalisco.gob.mx/es/prensa/noticias/156492>



**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

## **Eje Estratégico No. 6** **Monitoreo de la Calidad del Agua**



**TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO**





### **3.6 Eje Estratégico No. 6: Monitoreo de la calidad del agua**

El TecNM campus Aguascalientes es el coordinador del eje estratégico de **monitoreo de la calidad del agua**. La introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico se citan en la siguiente sección.

#### **3.6.1 Introducción**

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua [1-2]. La calidad del agua presenta variaciones espaciales y temporales, debido a factores internos y externos. Por lo tanto, la calidad del agua superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de las diversas actividades de los seres humanos. Específicamente, la descarga de compuestos químicos tóxicos, la sobreexplotación de acuíferos, el transporte de contaminantes atmosféricos de largo alcance y la contaminación de los cuerpos de agua con sustancias que promueven el crecimiento de algas (eutrofización), son algunas de las principales causas de la degradación de la calidad del agua [3].

La descripción de la calidad del agua puede realizarse midiendo variables físicas, químicas y biológicas o utilizando un índice de la calidad del agua (ICA) [1, 3-4]. Sin embargo, la calidad del agua es una característica que no se puede definir fácilmente, ya que afecta a todos los componentes de un ecosistema y el agua adecuada y deseable para el uso de un organismo puede ser completamente inadecuada para otro. En este sentido, es relevante mencionar que muchos países en el mundo usan las guías para





la calidad del agua de consumo humano publicadas por la Organización Mundial de la salud (OMS), con la finalidad de establecer estándares nacionales de agua potable [5]. Por ejemplo, en México, existe la Norma Oficial Mexicana para el agua de uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-2021), que establece los límites permisibles de la calidad del agua [6]. Además, México también cuenta con Normas Oficiales como la NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargar de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación [7], la NOM-002-SEMARNAT-1996 que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal [8] y la NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público [9]. No obstante, a la fecha, solo existe un laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación como laboratorio de ensayo en la rama de agua, el cuál emite resultados confiables de la calidad del agua de acuerdo con estándares mexicanos (NMX). En este sentido, es importante resaltar que hay un área de oportunidad importante para todos los laboratorios de los diversos campus del TecNM que deseen acreditar sus laboratorios con la finalidad de determinar la calidad del agua potable y residual, en los diversos estados de la República Mexicana.

### **3.6.2 Antecedentes**

Desde el año 1958 la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha publicado estándares internacionales de agua potable, que posteriormente fueron denominados "*Guías para la calidad del agua potable*", las cuales buscan mejorar la calidad del agua potable y la salud humana, al ser usadas como



base para la regulación de los estándares de agua potable en los países alrededor del mundo. En este sentido, es importante mencionar que, de acuerdo con la última guía de la OMS (cuarta Edición), las Normas sobre la calidad del agua para uso y consumo humano pueden diferir, en naturaleza y forma, entre los países y regiones [5]. Por lo tanto, no existe un método único que pueda aplicarse de forma universal y en la aplicación de normas es fundamental tener en cuenta las leyes vigentes relativas al agua, a la salud y al gobierno local. Adicionalmente, para desarrollar un marco reglamentario, es fundamental que cada país examine sus necesidades y capacidades. En este contexto, es relevante mencionar que el territorio de México es de 1964 millones de kilómetros cuadrados ( $\text{km}^2$ ), de los cuales 1959 millones corresponden a la superficie continental y el resto a las islas. Por su ubicación geográfica, las dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones inferiores a 500 mm, mientras que un tercio (el sureste) es húmedo, con precipitaciones anuales superiores a 2000 mm por año [10]. En este contexto, el porcentaje de agua usada para el consumo humano en relación con el agua renovable es un indicador del grado de estrés hídrico en un país, en una cuenca o en una región [10]. Específicamente, estudios recientes reportan que la zonas central, norte y noroeste de México experimentan un alto estrés hídrico y esta situación propicia una sobreexplotación de los mantos acuíferos y, por ende, existe un deterioro de la calidad del agua con presencia de diferentes contaminantes como metales pesados, fluoruros, fosfatos, etc. Por ejemplo, algunas investigaciones han reportado concentraciones altas de fluoruros, arsénico, mercurio, cromo, hierro, manganeso y plomo, en el agua subterránea de los estados de Aguascalientes y Zacatecas [11]. En otra investigación, se estudió el sistema de agua subterránea de Atemajac-Toluquilla (Guadalajara), donde se observó la presencia de litio,



manganeso, bario y magnesio, destacando el manganeso con una concentración de 0.33 mg/L, la cual excede el límite de concentración que establece la norma de agua para uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-2021) [12]. También varios trabajos a lo largo de los años han demostrado que el agua del principal acuífero de la comarca lagunera se encuentra contaminado con especies como fluoruros, arsénico, sulfatos y nitratos [13-14]; donde las concentraciones de dichas especies exceden el límite de concentración establecido por la normatividad Mexicana (NOM-127-SSA1-2021). Además, la presencia inusual de cromo fue detectada en las aguas subterráneas del Valle de León (México), donde específicamente se identificaron dos fuentes de contaminación antropogénicas y una fuente natural, debido a la presencia de rocas ultra-básicas que afloran en la Sierra de Guanajuato [15]. Finalmente, es importante mencionar que existen muchos otros artículos científicos que reportan la contaminación con arsénico y fluoruros del agua para beber en Estados como Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas [16-17].

Tomando en cuenta los antecedentes descritos anteriormente, surge la necesidad de monitorear la calidad del agua para beber de la población Mexicana, para evitar problemas de salud pública. Además, con la finalidad de reutilizar el agua residual tratada para disminuir el estrés hídrico, es importante también monitorear la calidad del agua residual con la finalidad de que cumpla con la Normatividad Mexicana vigente.

### **3.6.3 Justificación**

El 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el derecho humano al agua y al saneamiento. Específicamente, la observación general No. 15 del Comité de Derechos Económicos,



Sociales y Culturales de las Naciones Unidas (Comité DESC) señala que el agua es un recurso natural limitado y un bien público fundamental para la vida y la salud [18]. No obstante, en la actualidad, miles de millones de personas no disponen de agua de calidad suficiente para uso y consumo humano [19]. En este sentido, es relevante mencionar que para determinar la calidad del agua es necesario medir los principales parámetros físicos (color, turbidez, temperatura, sólidos en suspensión, espuma y radiactividad), químicos (compuestos orgánicos e inorgánicos), fisicoquímicos (sabor y olor) y biológicos (virus, protozoarios, bacterias y helmintos, y/o presencia de nutrientes que causan eutrofización) del vital líquido [20]. Específicamente, en México, existen diferentes estándares (NMX) que indican los procedimientos que se deben seguir para la determinar los principales parámetros físicos, químicos y biológicos del agua. No obstante, solo los laboratorios que se encuentran acreditados bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2018 (*Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*), siguen al pie de la letra los procedimientos de los estándares (NMX). En este contexto, se debe resaltar que la mayoría de los laboratorios acreditados en México son particulares y solo existe un laboratorio acreditado del TecNM ante la Entidad Mexicana de Acreditación como laboratorio de ensayo en la rama de agua (*Laboratorio de Investigación-Análisis de Aguas Industriales del Instituto Tecnológico de Aguascalientes*). Por lo tanto, existe una gran área de oportunidad para todos los laboratorios de los diversos campus del TecNM que deseen acreditarse y que quieran brindar un servicio de análisis de calidad del agua confiable que pueda impactar en el cumplimiento de la Normatividad Mexicana vigente en materia de agua.

### 3.6.4 Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 6 monitoreo de la calidad del agua de la agenda estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento, se citan en la Tabla 22.

**Tabla 22.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso del eje estratégico No. 6 monitoreo de la calidad del agua

| Objetivos                                                                                                                      | Metas                                                                                             | Acciones                                                                                                                                                                                                          | Indicadores                                                          | Fecha compromiso    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. Conformar una red de laboratorios de ensayo acreditados bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2018 en la rama de agua en el TecNM | Contar con una red de al menos 3 laboratorios en las regiones norte, centro y sur de nuestro país | 1. Detección de capacidades de infraestructura física y humana en los laboratorios de agua de los diferentes campus del TecNM<br><br>2. Capacitación del personal en términos de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2018. | Laboratorios acreditados<br><br>Personal capacitado                  | Diciembre 2025      |
| 3. Determinar las fortalezas técnico-científicas de los diversos campus del TecNM con                                          | Obtener un diagnóstico de los posibles laboratorios que se pudieran                               | Aplicación de una encuesta para determinar que laboratorios estarían en posibilidad de acreditarse en                                                                                                             | Resultados de la encuesta técnico-científica e identificación de los | 30 de junio de 2023 |



|                                                                                                   |                                                           |                                                                                                                                                                         |                                                  |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------|
| respecto a infraestructura, equipamiento y personal especializado en temas de agua.               | acreditar como laboratorios de ensayo en la rama de agua. | parámetros específicos para fortalecer los laboratorios del TecNM en el análisis de la calidad del agua                                                                 | posibles laboratorios susceptibles a acreditarse |            |
| 4. Despliegue de un diplomado relacionado con la calidad del agua                                 | Diplomado a impartirse en los diferentes campus del TecNM | 1. Conformar una base de datos de expertos en temas de agua<br>2. Conjuntar un grupo de trabajo para la revisión del temario.                                           | Diplomado impartido                              | Enero 2024 |
| 3. Elaboración de un módulo de especialidad que integre el tema de calidad del agua y saneamiento | Módulo de especialidad                                    | 1. Conformar una base de datos de expertos en temas de agua<br>2. Análisis del entorno en los diversos campus del TecNM donde pudiera ser implementada la especialidad. | Módulo de especialidad diseñado                  | Enero 2024 |

### 3.6.5 Bibliografía

- [1] Sierra-Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del Agua, evaluación y Diagnóstico*, Bogotá Colombia: Ediciones de la U.
- [2] Mata, A. y Quevedo, F. (2005). *Diccionario Didáctico de Ecología*, San José Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.





- [3] Bartram, J. and Ballance R. (1996). *Water Quality Monitoring, A practical guide to the desing and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. Reino Unido: Taylor and Francis.
- [4] Han, X., Liu, X., Gao, D., Ma, B., Gao, X., & Cheng, M. (2022). Costs and benefits of the development methods of drinking water quality index: A systematic review. In *Ecological Indicators* (Vol. 144). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109501>
- [5] OMS, (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda [Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first adendum]*. Revisado, <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>. (Acceso 17 de abril de 2023).
- [6] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua, 2021. Revisado, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [7] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, 2021. Revisado, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [8] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, 1998. Revisado, [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [9] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, 1998. Revisado, [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4893449&fecha=21/09/1998#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4893449&fecha=21/09/1998#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).



- [10] Morán-Valencia, M., Flegl, M., & Güemes-Castorena, D. (2023). A state-level analysis of the water system management efficiency in Mexico: Two-stage DEA approach. *Water Resources and Industry*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2022.100200>
- [11] González, F. J. A., López, E. M. R., Saldaña, Ma. C. M., Barrera, A. L. G., Juárez, F. J., & Sánchez, J. L. R. (2012). *Water Quality in the State of Aguascalientes and its Effects on the Population's Health* (pp. 217–229). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-05432-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-05432-7_16)
- [12] Hernández-Antonio, A., Mahlknecht, J., Mora, A., Torres-Martínez, J. A., & Ramírez-Orozco, A. (2017). Geochemistry and Hydrothermal Contamination of the Atemajac-toluquilla Groundwater System (Guadalajara, Mexico). *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 822–825. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2017.01.051>
- [13] Mahlknecht, J., Aguilar-Barajas, I., Farias, P., Knappett, P. S. K., Torres-Martínez, J. A., Hoogesteger, J., Lara, R. H., Ramírez-Mendoza, R. A., & Mora, A. (2023). Hydrochemical controls on arsenic contamination and its health risks in the Comarca Lagunera region (Mexico): Implications of the scientific evidence for public health policy. *Science of the Total Environment*, 857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159347>
- [14] Nava-Reyna, E., & Medrano-Macías, J. (2022). Arsenic occurrence in the environment: Current situation of the Comarca Lagunera in northern Mexico and bioremediation approaches. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100379>
- [15] Robles-Camacho, J., & Armienta, M. A. (2000). Natural chromium contamination of groundwater at León Valley, México. *Journal of Geochemical Exploration*, 68. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(99\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(99)00083-7)
- [16] Alarcón-Herrera, M. T., Martín-Alarcon, D. A., Gutiérrez, M., Reynoso-Cuevas, L., Martín-Domínguez, A., Olmos-Márquez, M. A., & Bundschuh, J. (2020). Co-occurrence, possible origin, and health-risk assessment of arsenic and fluoride in drinking water sources in Mexico: Geographical data visualization. *Science of the Total Environment*, 698. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134168>
- [17] Jiménez-Córdova, M. I., Sánchez-Peña, L. C., Barrera-Hernández, Á., González-Horta, C., Barbier, O. C., & del Razo, L. M. (2019). Fluoride



- exposure is associated with altered metabolism of arsenic in an adult Mexican population. *Science of the Total Environment*, 684, 621–628. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.356>
- [18] Tejado Gallegos, M., & Olmos Pérez, A. (2014). El derecho humano al agua potable y saneamiento.
- [19] Bond, N. R., Burrows, R. M., Kennard, M. J., & Bunn, S. E. (2018). Water scarcity as a driver of multiple stressor effects. In *Multiple Stressors in River Ecosystems: Status, Impacts and Prospects for the Future* (pp. 111–129). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811713-2.00006-6>
- [20] Englande, A. J., Krenkel, P., & Shamas, J. (2015). Wastewater Treatment & Water Reclamation☆. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09508-7>



**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"



## **Eje Estratégico No. 7** **Tecnologías emergentes**



**TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DEL VALLE DE ETLA**







### **3.7 Eje Estratégico No. 7: Tecnologías Emergentes**

El TecNM campus Valle de Etla es el coordinador del eje estratégico de **tecnologías emergentes**. La introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico se citan en la siguiente sección.

#### **3.7.1 Introducción**

Si algún día nos visitara Spock de Star Trek a nuestra civilización, probablemente pensaría que el ser humano es una especie de contrastes: más de 3,900 millones de personas en todo el mundo ya poseen un smartphone, mientras que unos 2,400 millones aún no tienen acceso a agua potable en sus hogares. Pero a pesar de esta paradoja, las tecnologías emergentes y un recurso tan indispensable como lo es el agua no están tan alejados; de hecho, el Gobierno Federal a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología ha creado el Programa Nacional Estratégico de Agua [1], donde uno de los objetivos es proponer soluciones novedosas al problema del agua y así garantizar que todo el pueblo mexicano tenga acceso a este líquido vital. En este sentido, las tecnologías emergentes como Inteligencia Artificial, Blockchain, Big Data, Internet de las Cosas, Nanotecnología, entre otras, están cobrando gran importancia para proponer soluciones novedosas para garantizar la soberanía hídrica [2, 3]. La importancia de estas tecnologías radica en que pueden ser aplicados en todas las áreas relacionadas con el agua. Por ejemplo, se pueden emplear para monitorear la calidad del agua, para el tratamiento de aguas residuales y agua potable, y para la captación de agua [4-6]. También, pueden ser aplicadas para toma de decisiones y para el análisis de la disponibilidad de este recurso en la superficie terrestre. Por lo tanto, la implementación de estas tecnologías en México es fundamental para



garantizar la calidad y cantidad de agua requerida para la población mexicana.

A nivel nacional, existen numerosos avances científicos y tecnológicos sobre el uso de las tecnologías emergentes para garantizar que todo el pueblo mexicano tenga acceso a este líquido vital. En esta misma dirección, en el Tecnológico Nacional de México (TecNM), existen diferentes grupos de investigación enfocados en el uso o mejora de las tecnologías emergentes para abordar los diferentes problemas asociados al agua. Por lo tanto, este eje estratégico busca articular las fortalezas de los diferentes campus del TecNM para generar conocimiento y tecnología de frontera sobre las diferentes problemáticas relacionadas con el agua, y al mismo tiempo formar recursos humanos altamente calificados sobre tecnologías emergentes aplicados al agua.

### **3.7.2 Antecedentes**

Las tecnologías emergentes son de gran interés para las diferentes áreas del conocimiento como salud, soberanía alimentaria, agua, educación, vivienda, energía, cambio climático, seguridad humana, entre otros. En el caso del agua, estas tecnologías han sido ampliamente estudiadas y aplicadas para garantizar que este líquido vital llegue a todos los hogares. A continuación, se describen de forma general algunas aplicaciones de estas tecnologías para abordar los problemas relacionados con el agua y así asegurar la soberanía hídrica.

1.- La Inteligencia Artificial: Esta tecnología utiliza el aprendizaje profundo por redes neuronales parecidas a las del cerebro [7], la cual tiene diversas aplicaciones para abordar los problemas relacionados con el agua como el monitoreo de la calidad de agua y distribución de este recurso en la superficie terrestre. Por ejemplo, la inteligencia artificial se está utilizado





para analizar imágenes y detectar la presencia de ciertos elementos tóxicos o contaminantes en el agua [8].

2.- Blockchain: El Blockchain se puede definir como una estructura matemática para almacenar datos de una manera que es casi imposible de falsificar. Esta tecnología puede ser aplicada a diversos problemas del agua como el manejo de sistemas y datos hídricos [9, 10]. Como ejemplo de la aplicación de Blockchain al agua, se puede mencionar que se ha utilizado para la gestión del agua y para abordar la sostenibilidad ambiental. [11].

3.- Internet de las Cosas y Big Data: El análisis de big data es un nuevo término técnico para la recopilación de grandes cantidades de datos relevantes a partir de sensores inteligentes implementados para rastrear el estado físico, el uso y la calidad de un determinado sistema. En la gestión del agua, se ha documentado el uso de medidores inteligentes para informar sobre su calidad, temperatura, pH, etc., del agua [12-15].

4.- Nanotecnología: Con nanotecnología se pueden obtenerse nuevos nanomateriales o nanodispositivos con mejores propiedades y característica mejoradas [16-18]. La nanotecnología puede ser aplicado para monitorear la calidad del agua, tratar aguas residuales, purificar agua potable, captar agua, detectar y adsorber metales pesados y tóxicos del agua, entre otras [19]. Un ejemplo muy conocido en el uso de la nanotecnología aplicado para el tratamiento de aguas de residuales mediante fotocátalisis, aquí se han propuesto números semiconductores nanoestructurados que permitan llevar a cabo el proceso fotocatalítico de forma eficiente y así garantizar el tratamiento o purificación del agua [20].

### 3.7.3 Justificación

El agua es un elemento esencial para la existencia de vida en nuestro planeta. Todos los seres vivos, somos en mayor parte agua y necesitamos consumirla de forma continua para vivir. Es por ello, que la humanidad ha almacenado y distribuido agua prácticamente desde sus orígenes y esto no cambiara hasta el fin de nuestra existencia. Desde las primeras técnicas de almacenamiento, limpieza y distribución hasta las infraestructuras y tecnologías actuales para el tratamiento de aguas, reciclado de aguas y depuración de aguas ha transcurrido una larga historia, ahora con los cambios climáticos, contaminación y la sobrepoblación se busca efficientizar y generar nuevos sistemas de recolección, almacenamiento y purificación del agua. Por lo tanto, con el desarrollo de las nuevas tecnologías emergentes se podrá garantizar agua limpia para todos.

### 3.7.4 Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 7 tecnologías emergentes de la agenda estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento, se citan en la Tabla 23.

**Tabla 23.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso del eje estratégico No. 7 "Tecnologías emergentes"

| Objetivos                                                             | Metas                                                                     | Acciones                                                                         | Indicadores                                                         | Fecha compromiso |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1. Identificar los recursos humanos con los que cuenta el TecNM sobre | Contar con un catálogo de los investigadores dedicados a la generación de | Aplicación de una encuesta para identificar a los investigadores dedicados a las | Número de investigadores dedicados al desarrollo de las tecnologías | Agosto 2023      |



|                                                                                                                              |                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                      |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| tecnologías emergentes aplicados al agua                                                                                     | conocimiento de frontera sobre tecnologías emergentes aplicados al agua                                                                                         | tecnologías emergentes para el agua                                                                                                                            | emergentes para el agua                                                                                                              |             |
| 2. Identificar los laboratorios y equipamientos disponibles en el TecNM para desarrollar tecnologías emergentes para el agua | Obtener información sobre los laboratorios y equipamientos con que cuentan los diferentes campus del TecNM para desarrollar tecnologías emergentes para el agua | Aplicación de una encuesta para obtener los laboratorios y equipamientos disponibles en el TecNM para el desarrollo de las tecnologías emergentes para el agua | Obtención del número de laboratorio y los equipamientos con que cuenta el TecNM para desarrollar tecnologías emergentes para el agua | Agosto 2023 |
| 3. Crear un diplomado sobre agua limpia y saneamiento en conjunto con los otros siete ejes estratégicos                      | Diplomado a impartirse en los diferentes campus del TecNM y para el público en general                                                                          | Desarrollar el contenido temático del diplomado con los expertos del TecNM en temas del agua                                                                   | Diplomado impartido                                                                                                                  | Enero 2024  |
| 4. Implementar la Línea de Generación y                                                                                      | Los programas de posgrado afines al agua                                                                                                                        | 1. Conformar una base de datos de los                                                                                                                          | Línea de Generación y Aplicación del                                                                                                 | Enero 2024  |



|                                                                                                                                  |                                                                                                                              |                                                                                                                                      |                                                             |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------|
| Aplicación del Conocimiento en tecnologías emergentes para el agua en los programas de maestría y doctorado afines.              | tengan una Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento en tecnologías emergentes del agua                              | programas de posgrado afines al agua<br>2. Desarrollar el contenido temático de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento | Conocimiento en tecnologías emergentes para el agua         |             |
| 5. Implementar una unidad de monitoreo tecnológico y bases de datos para conocer la distribución del recurso hídrico en el país. | Contar con una unidad de monitoreo y base de datos en tiempo real sobre para la distribución del recurso hídrico en el país. | Analizar la base de datos para conocer la distribución de agua en el país.                                                           | Base de datos de la distribución del agua en la en el país. | Agosto 2024 |

### 3.7.5 Bibliografía

- [1] "Agua – Conacyt." <https://conacyt.mx/pronaces/pronaces-agua/> (accessed Apr. 23, 2023).
- [2] Manoj, M., Dhilip Kumar, V., Arif, M., Bulai, E. R., Bulai, P., & Geman, O. (2022). State of the art techniques for water quality monitoring systems for fish ponds using iot and underwater sensors: A review. *Sensors*, 22, 2088.



- [3] Ahmed, U., Mumtaz, R., Anwar, H., Mumtaz, S., & Qamar, A. M. (2020). Water quality monitoring: from conventional to emerging technologies. *Water Supply*, 20, 28-45.
- [4] Bolisetty, S., Peydayesh, M., & Mezzenga, R. (2019). Sustainable technologies for water purification from heavy metals: review and analysis. *Chemical Society Reviews*, 48(2), 463-487
- [5] Banna, M. H., Imran, S., Francisque, A., Najjaran, H., Sadiq, R., Rodriguez, M., & Hoorfar, M. (2014). Online drinking water quality monitoring: review on available and emerging technologies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44, 1370-1421.
- [6] Hasanbeigi, A., & Price, L. (2015). A technical review of emerging technologies for energy and water efficiency and pollution reduction in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 95, 30-44.
- [7] Hunt, E. B. (2014). *Artificial intelligence*. Academic Press.
- [8] Alam, G., Ihsanullah, I., Naushad, M., & Sillanpää, M. (2022). Applications of artificial intelligence in water treatment for optimization and automation of adsorption processes: Recent advances and prospects. *Chemical Engineering Journal*, 427, 130011.
- [9] Dogo, E. M., Salami, A. F., Nwulu, N. I., & Aigbavboa, C. O. (2019). Blockchain and internet of things-based technologies for intelligent water management system. *Artificial intelligence in IoT*, 129-150.
- [10] Xia, W., Chen, X., & Song, C. (2022). A framework of blockchain technology in intelligent water management. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 753.
- [11] Sriyono, E. (2020). Digitizing water management: Toward the innovative use of blockchain technologies to address sustainability. *Cogent Engineering*, 7, 1769366.



- [12] Wong, Y. J., Nakayama, R., Shimizu, Y., Kamiya, A., Shen, S., Rashid, I. Z. M., & Sulaiman, N. M. N. (2021). Toward industrial revolution 4.0: Development, validation, and application of 3D-printed IoT-based water quality monitoring system. *Journal of Cleaner Production*, 324, 129230.
- [13] Zeng, H., Dhiman, G., Sharma, A., Sharma, A., & Tselykh, A. (2023). An IoT and Blockchain-based approach for the smart water management system in agriculture. *Expert Systems*, 40, e12892.
- [14] Jan, F., Min-Allah, N., & Düşteğör, D. (2021). IoT based smart water quality monitoring: Recent techniques, trends and challenges for domestic applications. *Water*, 13, 1729.
- [15] Nie, X., Fan, T., Wang, B., Li, Z., Shankar, A., & Manickam, A. (2020). Big data analytics and IoT in operation safety management in under water management. *Computer Communications*, 154, 188-196.
- [16] Evans, J., & Chichester, U. K. (2009). Five big ideas for nanotechnology. *Nature Medicine*, 15, 348.
- [17] Glotzer, S. C. (2012). Shape matters. *Nature*, 481, 450-452.
- [18] Mobasser, S., & Firoozi, A. A. (2016). Review of nanotechnology applications in science and engineering. *J Civil Eng Urban*, 6, 84-93.
- [19] Ajith, M. P., Aswathi, M., Priyadarshini, E., & Rajamani, P. (2021). Recent innovations of nanotechnology in water treatment: A comprehensive review. *Bioresource Technology*, 342, 126000.
- [20] Ahmed, S. N., & Haider, W. (2018). Heterogeneous photocatalysis and its potential applications in water and wastewater treatment: a review. *Nanotechnology*, 29(34), 342001.





**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

**Eje Estratégico (Transversal) No. 8**  
**Educación y Capacitación**



**TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE BOCA DEL RÍO**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE BAJA CALIFORNIA**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE TOLUCA**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DEL VALLE DE ETLA**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE VILLAHERMOSA**





### **3.8 Eje Estratégico No. 8 (Transversal): Educación y Capacitación**

El eje estratégico No. 8 (**Educación y capacitación**) es coordinado por todos los campus que participan en la coordinación de los 7 ejes estratégicos temáticos. A continuación, se describe una breve introducción del eje de educación y capacitación, los antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores de este eje.

#### **3.8.1 Introducción**

Desde siempre el ser humano ha interactuado con el medio ambiente y en esta interacción lo ha modificado y provocado problemas ambientales. Hoy en día, la severidad de problemas ambientales, en especial los vinculados con temas hídricos, nos obligan a trabajar para su atención y solución.

Lo anterior implica desarrollar soluciones innovadoras para reencauzar nuestra relación con el planeta. Al hablar de soluciones ambientales no sólo nos referimos a la tecnología, sino al reforzamiento de los valores de la sociedad. La educación ambiental es una herramienta fundamental para lograrlo; es más que sólo información sobre el ambiente. Entraña un mayor involucramiento en la resolución de problemas y tomar medidas para mejorar el medio ambiente por parte de los diferentes sectores de la población, con base en decisiones informadas y responsables [1].

El agua es un elemento clave de la naturaleza para el desarrollo y evolución de la humanidad, por lo que es fundamental para el sostenimiento de la vida en nuestro planeta. Por ello, es de suma importancia comprender lo esencial de este vital líquido, lo que implica tenerlo en cantidad y calidad



suficientes para las generaciones actuales y futuras, garantizando un uso sostenible.

La Cultura del Agua es un conjunto de valores, actitudes, costumbres y hábitos que son transmitidos a un individuo o una sociedad para crear una consciencia responsable sobre el uso racional, la importancia del agua para el desarrollo de todo ser vivo, la disponibilidad del recurso en su entorno y las acciones necesarias para obtenerla, distribuirla, desalojarla, limpiarla y reutilizarla [1]. Esta cultura lleva consigo el compromiso de valorar y preservar el recurso, utilizándolo con responsabilidad en todas las actividades, en un esquema de desarrollo sustentable. Estas acciones buscan sensibilizar a la población y motivarla para tomar actitudes que fomenten el uso responsable del recurso y crear consciencia sobre su importancia. Por otro lado, se ha venido fortaleciendo el mensaje de que todos (ciudadanía, gobierno y en general todos los sectores) debemos asumir nuestra responsabilidad en el cuidado y la preservación del agua, de forma permanente.

### **3.8.2 Antecedentes**

A partir de la década de los noventa del siglo pasado, derivado del alto índice de enfermedades gastrointestinales asociadas al consumo de agua no potable en México, la Comisión Nacional del Agua a través de la Coordinación General de Comunicación y Cultura del Agua, implementó acciones en materia de cultura del agua y de educación formal y no formal, con diversos objetivos y aproximaciones. La intención es impulsar un cambio positivo y proactivo en la participación individual y social en torno al uso sustentable del agua, para no afectar a las siguientes generaciones. Dichas acciones buscan tener un carácter permanente, no obstante limitantes presupuestales y programáticas impiden tener esa presencia





constante e integral que se requiere a través de todos los agentes transformadores de la cultura [1].

La educación hídrica en jóvenes busca integrar al agua como un componente importante en los planes y programas de estudios de la educación superior [2]. El eje de educación y capacitación de la agenda estratégica de TecNM agua limpia y saneamiento contempla que durante la implementación de estas actividades se trabaje de forma especial con organizaciones asociadas con la misión de mejorar la educación hídrica en los planteles. Las importantes acciones comprendidas en esta área focal están relacionadas con el desarrollo de herramientas mejoradas para la enseñanza de los aspectos relacionados con el agua dentro de los planes y programas educativos. De igual manera, el eje aborda el desarrollo o mejora de las capacidades de los maestros y educadores no formales para una mejor comprensión de los temas relacionados con el agua a nivel local, regional y global, así como un compromiso con la ética del agua. De ahí la necesidad de dedicar esfuerzos hacia el desarrollo de sus capacidades para comunicarse tanto con sus alumnos como con la comunidad y ser guías en los temas y acciones relacionados con el agua.

### **3.8.3 Justificación**

En el último siglo, la demanda de agua a nivel mundial ha aumentado debido a la alta tasa de crecimiento demográfico, la rápida urbanización, el desarrollo económico y las modalidades cambiantes de consumo. Además, esta demanda se intensifica con el cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos que cada vez son originados con más frecuencia como sequías e inundaciones [3].



La participación de las y los jóvenes en la protección de los ecosistemas acuáticos puede y debe ser clave en dos sentidos. En primer lugar, porque en el futuro próximo serán las personas a cargo de la gestión de los territorios en donde se encuentran estos ecosistemas, por una cuestión simple de relevo generacional; en segundo lugar, por su relevante papel en el activismo medioambiental que persigue la protección y cuidado de los ecosistemas. La gestión sostenible de los recursos hídricos será viable si a la par de los conocimientos técnicos y los de las culturas a las que pertenecen las y los jóvenes, los procesos educativos incorporan el enfoque de desarrollo sostenible desde la educación básica, haciendo de este un estilo de vida que incorpore los derechos humanos, el valor de la diversidad cultural y el cuidado del planeta.

De la mano de la educación para el desarrollo sostenible, se puede avanzar en la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, el agua entre ellos, fomentando con ello, que las y los jóvenes participen efectivamente en la conservación y restablecimiento de los ecosistemas que proveen de este recurso.

La oportunidad que las y los jóvenes tienen para ser protagonistas efectivos en la implementación de la Agenda estratégica del TecNM, puede verse a través de una serie de eslabonamientos en donde la provisión de bienes básicos como el agua limpia y el saneamiento adecuado, además de factores estratégicos como la educación para el desarrollo sostenible, pueden posicionar a las juventudes en el centro de las estrategias de sostenibilidad ambiental, social y económica [4].

### 3.8.4 Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico (Transversal) No. 8 educación y capacitación de la agenda estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento, se citan en la Tabla 24.

**Tabla 24.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso del eje estratégico (Transversal) No. 8 Educación y capacitación

| Objetivos                                                                                                                                                                                               | Metas                                                                             | Acciones                                                                                                                                                                       | Indicadores            | Fecha compromiso |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------|
| 1. Apoyar el desarrollo de capacidades de educación hídrica a nivel superior.                                                                                                                           | Contar con diplomado en materia de agua limpia y saneamiento.                     | Análisis de los temas a desarrollar.<br>Estructuración del diplomado en materia de agua limpia y saneamiento.                                                                  | Diplomado impartido    | Agosto 2023      |
| 2. Promover y apoyar estrategias y acciones orientadas al continuo desarrollo profesional de científicos, ingenieros, administradores y responsables de la elaboración de políticas en materia de agua. | Elaboración de un módulo de especialidad en materia de agua limpia y saneamiento. | Análisis de las propuestas de programas de estudio para la especialidad.<br>Análisis del entorno en términos de la posible implementación de la especialidad en los planteles. | Módulo de especialidad | Enero 2024       |





### 3.8.5 Bibliografía

- [1] Gobierno de México (24 de abril de 2023).  
<https://www.gob.mx/semarnat/educacionambiental/es/articulos/educacion-ambiental-y-cultura-del-agua?idiom=es>
- [2] UNESCO (22 de abril de 2023).  
<https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/educacion/ninos-jovenes>
- [3] Pacto Mundial (22 de abril de 2023).  
<https://www.pactomundial.org/ods/6-agua-limpia-y-saneamiento/#:~:text=El%20ODS%206%20pretende%20lograr,de%20sus%20productos%20y%20servicios...>
- [4] IMJUVE (2018), *Agenda para las juventudes de México hacia el 2030. Alcances de la agenda de desarrollo sostenible. Documento técnico*, México.



## 4. Resultados Preliminares

### 4.1 Instalación formal de la Agenda

Los resultados obtenidos hasta el momento permiten puntualizar que la Agenda Estratégica del TecNM Agua Limpia y Saneamiento quedo oficialmente instalada el 15 de marzo de 2023, la cual fue encabezada por la Secretaría de Planeación, Evaluación y Desarrollo Institucional del TecNM y con la participación de los siguientes campus:

- ✓ Instituto Tecnológico de Aguascalientes
- ✓ Instituto Tecnológico de Boca del Río
- ✓ Instituto Tecnológico de Tijuana
- ✓ Instituto Tecnológico de Toluca
- ✓ Instituto Tecnológico de Valle de Etla
- ✓ Instituto Tecnológico de Villahermosa

Así mismo, fueron definidos los 8 ejes estratégicos de la agenda, los cuales incluyen 7 ejes temáticos y 1 eje transversal. Los nombres de cada eje se citan a continuación:

- 1. Eje 1: Captación de Agua**, responsable TecNM campus Villahermosa
- 2. Eje 2: Cuidado del Agua**, responsable TecNM campus Toluca
- 3. Eje 3: Métodos de tratamiento de agua potable**, responsable TecNM campus Boca del Río
- 4. Eje 4: Métodos de tratamiento de aguas residuales**, responsable TecNM campus Boca del Río
- 5. Eje 5: Recuperación y reúso del agua**, responsable TecNM campus Tijuana
- 6. Eje 6: Monitoreo de la calidad del agua**, responsable TecNM campus Aguascalientes



**7. Eje 7: Tecnologías emergentes**, responsable TecNM campus Valle de Etla

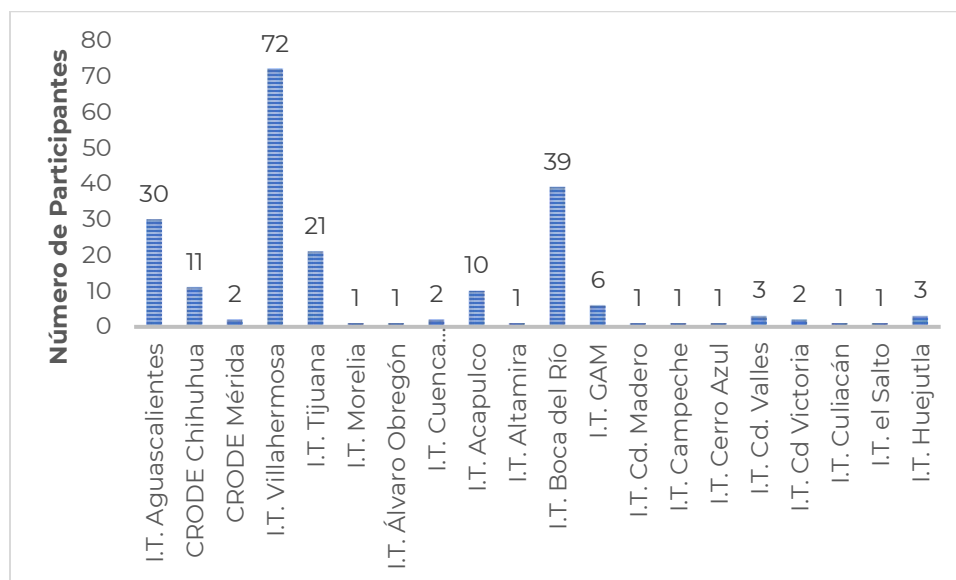
**8. Eje 8: Educación y Capacitación** (eje transversal), responsable todos los campus involucrados

#### 4.2 Detección de fortalezas técnico-científicas y humanas del TecNM en materia de agua

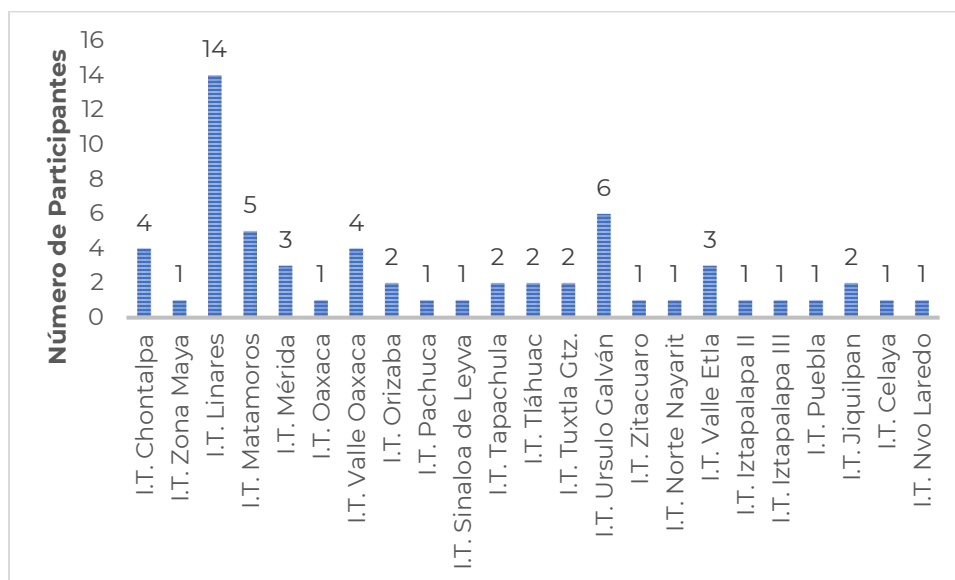
La detección de las fortalezas técnico-científicas y humanas del TecNM en materia del agua, fueron visualizadas en una primera etapa con la aplicación de un cuestionario con la opción de formularios de Google cuya liga fue la siguiente:

[https://docs.google.com/forms/d/188O4jKVxPrPPxSL913LnY5WVfiMKbrJ\\_DfDltG9qruA/edit](https://docs.google.com/forms/d/188O4jKVxPrPPxSL913LnY5WVfiMKbrJ_DfDltG9qruA/edit)

Los resultados de esta primera etapa permiten visualizar que el formulario fue contestado por 269 docentes y/o investigadores de los 43 campus mostrados en la Fig. 2 y Fig. 3.



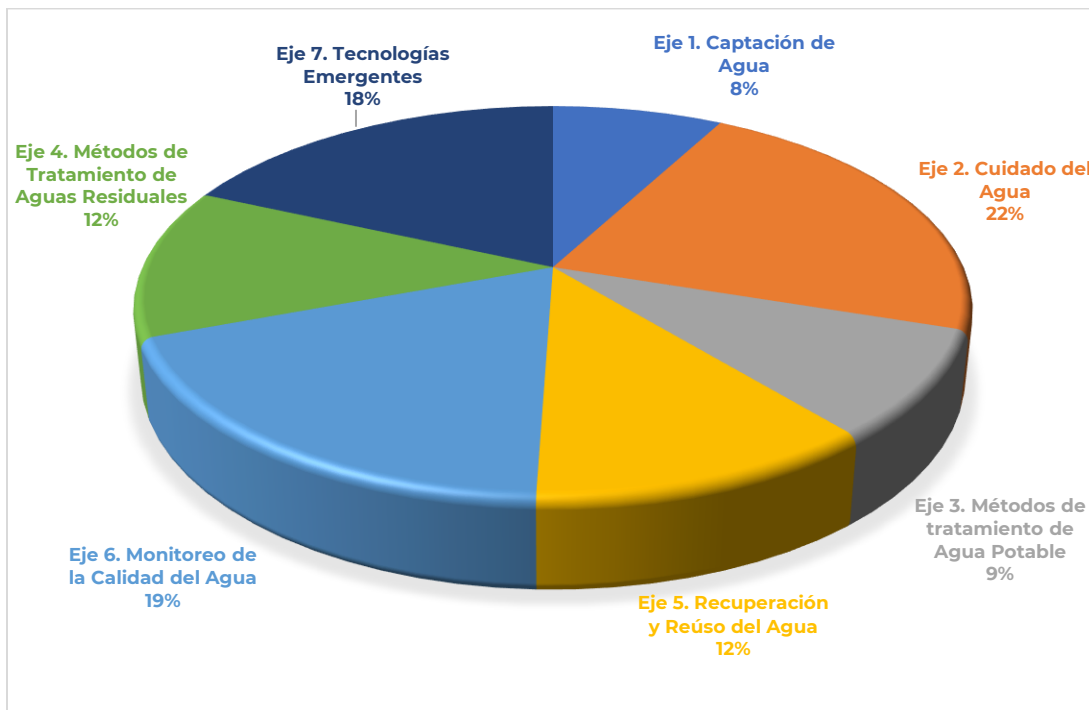
**Fig. 2** Campus del TecNM que contestaron la encuesta



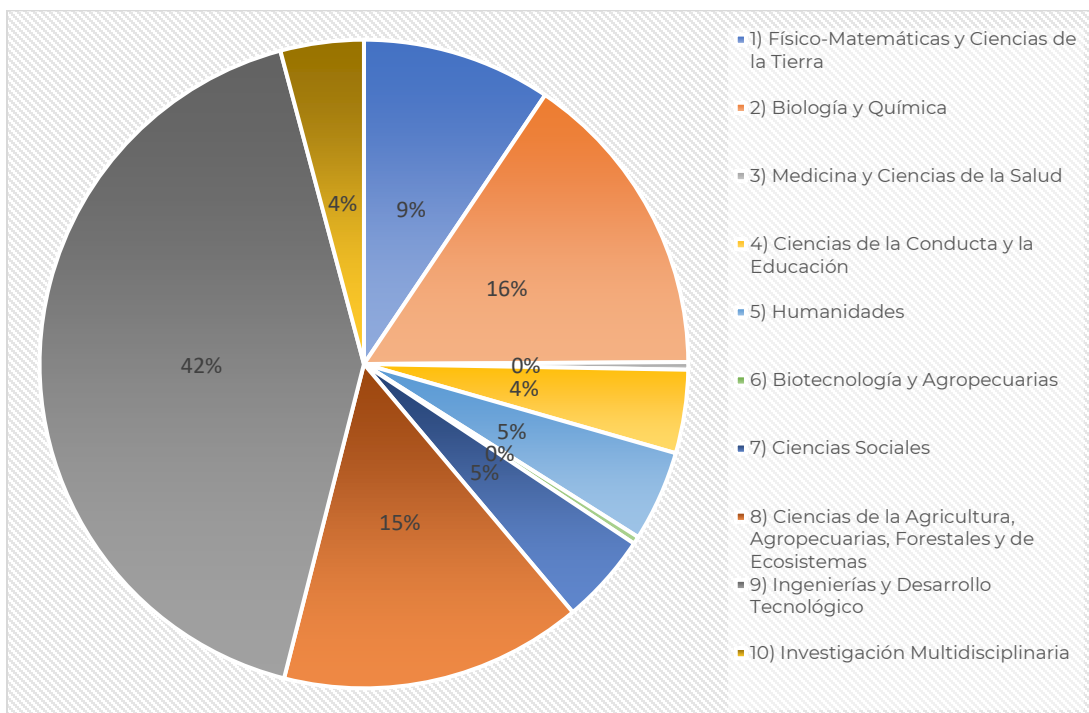
**Fig. 3** Campus del TecNM que contestaron la encuesta (*Continuación*)

Adicionalmente, se pudo observar que los docentes y/o investigadores participan activamente en algunos de los ejes estratégicos contemplados en la agenda de TecNM agua limpia y saneamiento. En la Fig. 4 se puede notar que la mayoría del personal desarrolla alguna actividad docente y/o de investigación relacionada con el eje estratégico No. 2 *cuidado del agua* (22 %), eje No. 6 *monitoreo de la calidad del agua* (19 %) y eje No. 7 *tecnologías emergentes* (18 %). Así mismo, se identificó que la mayoría del personal trabaja en el área de conocimiento de Ingenierías y Desarrollo Tecnológico (Ver Fig. 5).

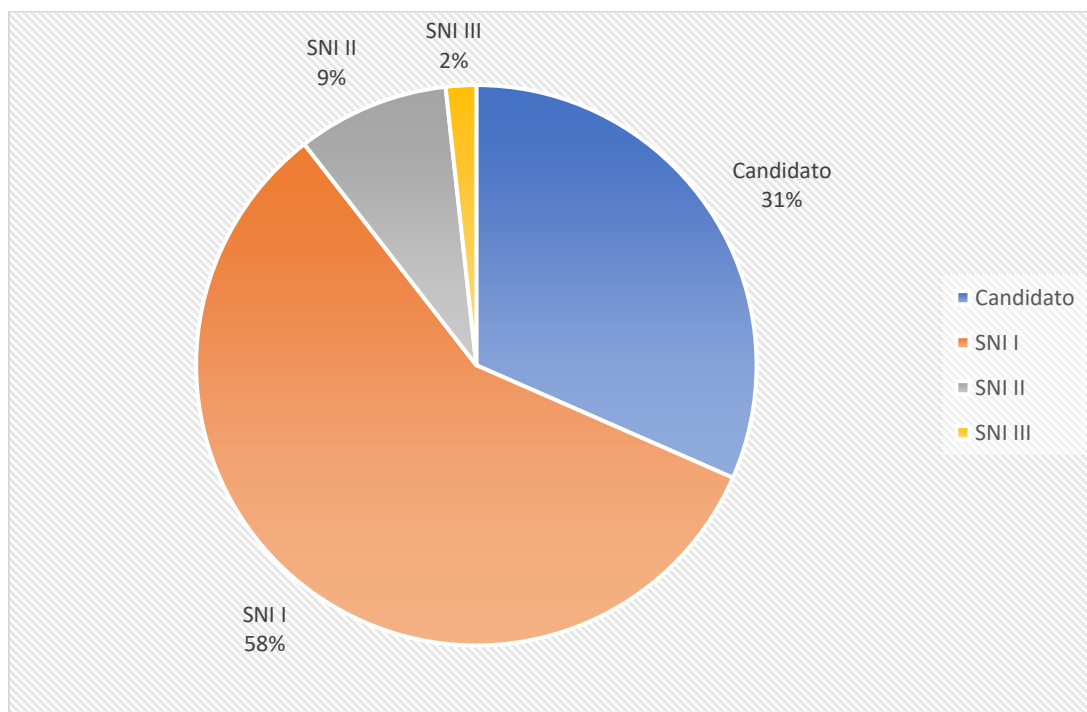
Por otro lado, se puede destacar que el 27 % del personal que contestó la encuesta cuenta con perfil PRODEP y el 21 % tiene el reconocimiento del Sistema Nacional de Investigadores (SIN). La distribución del nivel del SNI se muestra en la Fig. 6.



**Fig. 4** Participación de los docentes y/o investigadores en los ejes estratégicos de la Agenda del TecNM Agua limpia y Saneamiento



**Fig. 5** Áreas del conocimiento en las que participan los docentes y/o investigadores



**Fig. 6** Nivel del Sistema Nacional de Investigadores del personal que contestó la encuesta

Finalmente, es relevante mencionar que la mayoría de los docentes e investigadores desarrollan actividades y/o proyectos de investigación relacionados con las categorías citadas en la Tabla 25. Se puede observar que la mayoría de los temas están relacionados con la categoría de monitoreo de la calidad del agua, la educación en materia del cuidado del agua, el tratamiento de aguas residuales y desarrollo de materiales.





**Tabla 25.** Actividades y/o proyectos relacionados con el tema del agua de los participantes que contestaron la encuesta

| No. | Categoría                         | Número de Proyectos |
|-----|-----------------------------------|---------------------|
| 1   | Captación de agua                 | 13                  |
| 2   | Cultura del agua                  | 10                  |
| 3   | Desarrollo de materiales          | 21                  |
| 4   | Educación                         | 28                  |
| 5   | Energía                           | 2                   |
| 6   | Energía y agua                    | 3                   |
| 7   | Equipos y Desarrollo Tecnológico  | 20                  |
| 8   | Fugas de agua                     | 2                   |
| 9   | Modelación de la calidad del agua | 3                   |
| 10  | Monitoreo de la calidad del agua  | 48                  |
| 11  | Proyectos multidisciplinarios     | 1                   |
| 12  | Reúso de agua residual            | 14                  |
| 13  | Tecnologías emergentes            | 1                   |
| 14  | Tratamiento de agua potable       | 8                   |
| 15  | Tratamiento de aguas residuales   | 23                  |
| 16  | Uso eficiente del agua            | 15                  |

#### **4.3 Propuesta de temario para el Diplomado relacionado con el tema del agua**

Se desarrollo una propuesta del temario para el Diplomado relacionado con los diferentes ejes estratégicos de la agenda del TecNM agua limpia y saneamiento. La propuesta del temario se encuentra actualmente en revisión, derivado de las observaciones realizadas en el primer foro de la agenda estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento realizada el día 28 de abril de 2023.



## 5. Conclusiones

Las conclusiones generales por eje estratégico y las generadas durante la reunión del primer foro de la agenda se citan a continuación.

### 5.1 Conclusiones Generales

Las conclusiones generales por eje estratégico se describen a continuación:

#### Eje No. 1 Captación de agua

El desarrollo y la implementación de la Agenda Estratégica del TecNM "Agua limpia y saneamiento" en todos los Instituto Tecnológicos Federales y Descentralizados, requiere del compromiso de cada una de las autorizadas ya que se necesitan recursos variados como son el económico, de personal, infraestructura y la disposición de cada una de las partes. El eje estratégico 1 "Captación de agua", permitirá demostrar la capacidad técnica de cada Campus y del TecNM en general, ya que en algunos Campus se cuenta con sistemas de Captación de agua que se desarrollaron a partir de Tesis de licenciatura o maestría, o de proyectos de residencia profesional. Con la debida capacitación se podrá mejorar en dicho eje y desarrollar los compromisos establecidos en el mismo. Con el apoyo del eje 6 "Monitoreo de la Calidad del Agua" se podrán diseñar sistemas de Captación de Agua que cumplan con la Normatividad Nacional en calidad de agua, para uso humano ya sea uso directo e indirecto.

#### Eje No. 2 Cuidado del agua

La conformación de un plan educativo encaminado al cuidado del agua desde las diferentes áreas del conocimiento es una acción urgente para



atender los problemas de escasez y distribución de este líquido vital que se enfrenta a una disminución progresiva y, por lo tanto, a la falta de acceso libre, seguro y equitativo a lo que tiene derecho la sociedad. En este sentido el eje estratégico de cuidado del agua permitirá conformar una red interdisciplinaria de especialistas que generen un plan educativo para las tres regiones del país que contemple y respete las costumbres sociales y garantice el cuidado del agua desde la sociedad, todo ello coordinado desde el Tecnológico Nacional de México. El grupo interdisciplinario tendrá la posibilidad de proponer proyectos de investigación que involucren el área social de la mano con el humanismo.

### **Eje No. 3 Métodos de tratamiento de agua potable**

La implementación de una agenda estratégica en el TecNM para el tratamiento de agua potable es fundamental para garantizar la calidad del agua y la salud de la población. En el eje 3, Métodos de tratamiento de agua potable, se deben considerar diferentes aspectos clave, tales como:

- Identificar los métodos de tratamiento de agua potable más adecuados según la calidad del agua disponible y las necesidades de la población.
- Promover la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías de tratamiento de agua potable más eficientes y sostenibles.
- Capacitar a los profesionales y técnicos encargados del tratamiento de agua potable en los métodos más actualizados y eficientes.
- Establecer alianzas con instituciones, organizaciones y empresas relacionadas con el tratamiento de agua potable para compartir conocimientos y recursos.



- Realizar campañas de concientización sobre la importancia del tratamiento de agua potable y su impacto en la salud y el medio ambiente.
- Garantizar el acceso a agua limpia y asequible, para lo que será necesario invertir en infraestructura e instalaciones sanitarias, tecnología de tratamiento y eficiencia del agua y la gestión racional del agua dulce. Enfoques que será importante abordar en diplomados o especialidades que se oferten.

#### **Eje No. 4 Métodos de tratamiento de aguas residuales**

La creación de la agenda estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento, nace como una necesidad urgente de atender temas prioritarios en materia de agua, como lo es el alto estrés hídrico que sufren algunos estados de la República Mexicana y la mala calidad del agua potable debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos. En este sentido, el eje estratégico de *Métodos de tratamiento de aguas residuales* permitirá implementar su programa de Reactivación, Rediseño y Creación e Implementación del tratamiento de aguas residuales, por la ecotecnología de humedales artificiales en cada uno de los institutos y de las localidades y áreas que impactan. Apoyando la Agenda 2030 con el objetivo 6, Agua Limpia y Saneamiento; pretende garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

#### **Eje No. 5 Recuperación y reúso del agua**

La iniciativa de crear una Agenda en el tema del Agua en el TecNM permitió formar grupos de trabajo a nivel nacional para sumar esfuerzos y ser ejemplo para la población de cómo mejorar el uso del agua y adoptar



la Recuperación y el Reúso como parte de la vida diaria. En esa medida, el TecNM podrá evolucionar y educar a su comunidad, en particular a la más vulnerable que carece del agua y sufre las consecuencias de una mala gestión hídrica.

### **Eje No. 6 Monitoreo de la calidad del agua**

El eje estratégico de *monitoreo de la calidad del agua* permitirá formar y fortalecer especialista en materia de análisis de calidad del agua empleando procedimientos establecidos en estándares Mexicanos (NMX). Dichos especialistas podrán desarrollar proyectos de investigación relacionados con la calidad del agua potable y/o residual o podrán participar en la acreditación de otros laboratorios bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2018 (*Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*).

### **Eje No. 7 Tecnologías emergentes**

Con la implementación de la Agenda Estratégica del TecNM "Agua limpia y saneamiento" en los campus del TecNM se va a contribuir a solucionar los diferentes problemas relacionados con el agua. En especial con el eje estratégico 7 "Tecnologías emergentes", se va a generar conocimiento y tecnología de frontera para proponer soluciones eficientes y novedosas a los diferentes problemas que presenta el agua. También, se va a contribuir a la formación de recursos humanos altamente especializados en tecnologías emergentes aplicados al agua.



## **Eje No. 8 (transversal) Educación y Capacitación**

La creación de la agenda estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento, nace como una necesidad urgente de atender temas prioritarios en materia de agua, como lo es el alto estrés hídrico que sufren algunos estados de la República Mexicana y la mala calidad del agua potable debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos. En este sentido, el eje estratégico transversal de *educación y capacitación* permitirá formar y fortalecer especialista en materia hídrica capaces de tomar decisiones enfocadas al uso sustentable, eficiente y racional del agua

### **5.2 Conclusiones derivadas de la reunión del primer foro de la agenda**

Las principales conclusiones a las que se llegaron en la reunión del Primer Foro de la Agenda Estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento realizado el pasado 28 de abril de 2023 se describen a continuación:

- ✓ Se requiere una capacitación para el personal docente en la temática de captación del agua y marco legal. Así mismo, es necesario que el personal conozca en qué casos se puede emplear el agua obtenida en cada tipo de sistema de captación, ya que las necesidades de cada zona son muy específicas.
- ✓ Es importante el diseño y desarrollo de un Diplomado y módulo de especialidad que aborden las temáticas consideradas en los ejes estratégicos de la Agenda estratégica de TecNM Agua limpia y Saneamiento.
- ✓ Es necesaria una especialización del personal docente en el tema balance hídrico y es conveniente incluir los temas de cultura del





agua, valor del agua y estudio de cuencas en el temario del eje estratégico No 2 (cuidado del agua). También, es recomendable incluir en el temario del eje 6 (monitoreo de la calidad del agua), el origen, transporte, daños y métodos de cuantificación de contaminantes del agua.

- ✓ Es conveniente realizar un diagnóstico en los campus del TecNM para conocer si cuentan con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) u otro sistema, con la finalidad de difundir información relacionada con los métodos de tratamiento de agua potable y residual. Además, es importante conocer y difundir los casos de éxito de tratamiento de agua en el TecNM.
- ✓ Es recomendable proponer tecnologías que contemplen la eliminación de la huella de carbono y conocer el ciclo de vida de los materiales usados en sistemas de filtración.
- ✓ Se puede vislumbrar que la capacitación de los alumnos en temas relacionados con el agua se debe realizar desde el curso de *desarrollo sustentable* y se sugiere que todos los directores y subdirectores avalen esta iniciativa para que sea una realidad.
- ✓ Es necesaria la recuperación de ríos y arroyos y se requiere apoyo financiero para concretar los proyectos.
- ✓ Se requiere gestionar apoyos económicos para fortalecer los laboratorios existentes que hacen análisis de agua potable y residual, con la finalidad de acreditarse en un futuro como laboratorio de ensayo en la rama de agua.
- ✓ Es deseable crear un Consejo de Innovación y Transferencia de Tecnología del Agua, que permita desarrollar estrategias para establecer políticas del cuidado del recurso hídrico. Además, la vinculación con el sector empresarial es indispensable para que los



proyectos realizados en los institutos tengan aplicación y ayuden a la comunidad.

- ✓ Es conveniente crear una unidad de monitoreo tecnológico y bases de datos para que a nivel nacional se identifique la distribución del recurso hídrico.