

División de Ciencias y Artes para el Diseño
Maestría en Ciencias y Artes para el Diseño
Área 03 - Sustentabilidad Ambiental

METODOLOGÍA PARA MANEJO INTEGRAL DEL AGUA PLUVIAL EN APANTZINGO, PUEBLA.

Idónea Comunicación de Resultados que para obtener el grado de Maestría presenta:

Arq. Lyl Cortés Ramírez de Arellano

Tutor: Dr. Alberto Cedeño Valdiviezo

Ciudad de México a 18 de noviembre del 2022

RESUMEN

La presente investigación consiste en el desarrollo de una propuesta metodológica para el manejo integral del agua pluvial en comunidades indígenas. La búsqueda del planteamiento metodológico es contribuir a la resolución de la problemática de irregularidad de agua en comunidades que, en condiciones sociales y geográficas vulnerables, sufren localmente las consecuencias de lo que globalmente ocurre con alteraciones climáticas.

La propuesta metodológica comprende tres momentos: el primero de ellos es el planteamiento de la metodología, el segundo se basa en el diagnóstico de la situación socio-ambiental de la comunidad a partir de una caracterización medioambiental y sociocultural. Finalmente, la aplicación de la metodología en la unidad de análisis.

Se establece como unidad de análisis ambiental a la subcuenca del Río Apulco y se aplica la metodología en la comunidad indígena de Apantzingo; comunidad ubicada en la Sierra Norte de Puebla, en la zona media de la subcuenca.

En la aplicación de la metodología, se realizan propuestas de líneas generales de diseño para un manejo integral del agua pluvial y se basan en componentes de la permacultura: disciplina que apuesta por una cultura permanente de manejo de recursos para sostener a la humanidad y mantener una relación armoniosa con la naturaleza.

Palabras clave: Agua pluvial, comunidad indígena, permacultura.

AGRADECIMIENTOS

Cuando el tiempo y las ideas se transforman en sueños realizados; hay responsables, cómplices de camino. Aquí los nombro:

La figura del Dr. Alberto Cedeño Valdiviezo ha sido fundamental para este trabajo. Toda mi admiración y respeto por compartir su aprendizaje, por su paciencia y guía.

A mi cómplice de vida y de madrugadas: Timo.

Por ser incondicional y estar siempre en las coordenadas cuando la necesito: mi mamá.

A mis siempre presentes y verdaderos soportes: mis hermanos Ale y Danny.

A quien, con su cariño, todo lo resuelve: Tita.

Por su peculiar forma de apoyarme y de motivar un pensamiento creativo y analítico: Al Dr. Ricardo Pino Hidalgo. A cada uno de los profesores que desarrollaron y cuidaron este trayecto académico, muchas gracias por compartirse.

Especialmente a el Lic. Nicolás Marreros Lobato: Nico, quien fungió como enlace del CESDER y nos brindó el apoyo y las facilidades para acceder a la comunidad de Apantzingo.

Y a los responsables de hacer divertido el camino y de construir juntos una especie de célula de apoyo: mi amiga Diana y mi amigo Eduardo.

Resumen	2
Introducción	5
1 – Marco teórico: Acercamientos breves y complejos en el marco de la globalización ambiental	13
2. Marco conceptual: El agua y las comunidades mexicanas indígenas	24
3. Marco metodológico	35
Planteamiento de líneas generales de diseño para el manejo integral del agua pluvial.....	40
4. Situación socio-ambiental de la zona de estudio: Apantzingo, Puebla.	53
Caracterización medioambiental de Apantzingo	56
Caracterización sociocultural de Apantzingo	59
Caracterización del manejo del agua en la comunidad.....	62
5. Metodología aplicada	68
Aplicación de las líneas generales de diseño para el manejo integral del agua pluvial en Apantzingo.....	85
Conclusiones.....	95
Limitaciones generales y consideraciones futuras	99
Referencias	100
Anexos.....	103
Anexo 1 – Instrumentos de recolección	103
Anexo 2 - Análisis de bioindicadores.....	104
Anexo 3 – Cálculos técnicos	108
Anexo 4 – Archivo fotográfico de la visita de campo.....	109

Introducción

Contaminación, cambio climático, escasez de agua, pobreza, hambruna, deterioro ambiental. Estamos familiarizados con la mayoría de estos conceptos debido a que aparecen en nuestra cotidianeidad. Pero ¿realmente tenemos conciencia de las consecuencias de estos fenómenos en la humanidad? El planeta entero requiere condiciones para permanecer en equilibrio.

La evidencia científica muestra que el impacto de los humanos sobre la naturaleza está forzando el funcionamiento de los ecosistemas fuera de condiciones de seguridad para la humanidad (Rockström et al., 2009). Es momento de adquirir los recursos suficientes para nuestras necesidades humanas, sin rebasar los límites que la naturaleza pueda proveer. La falta de conciencia ambiental nos ha llevado, entre otras cosas, a la sobreexplotación de fuentes primarias de agua y la contaminación de los mantos acuíferos. Cuando esas fuentes de abastecimiento colapsan, se cambia a otra y se inicia el mismo ciclo de explotación que deja una huella ecológica cada vez más grande. En México existen datos que respaldan la falta de conciencia medioambiental. Entre 1961 y 2006 su huella ecológica aumentó cinco veces (Amen, et al., 2011) reflejo de la urgente necesidad de cambiar nuestra percepción respecto a las prácticas que tenemos para satisfacer nuestras necesidades humanas.

Debemos tener presente que uno de los elementos con más deterioro y desequilibrio dentro de nuestro planeta es el agua. La superficie de la Tierra, los seres humanos y todos los seres vivos constan de aproximadamente 70% de agua. Aquí surge la importancia del cuidado del agua tanto para uso y consumo humano, como el del balance hídrico del planeta. Son elementos dependientes; sin balance hídrico terminaríamos sin tener acceso al agua potable, y sin acceso al agua potable, la vida no existiría.

En el 2010, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) declaró como uno de los derechos humanos el acceso al agua potable y limpia, y a un saneamiento básico. El Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas, destaca que el derecho humano al agua es indispensable para llevar una vida en dignidad humana y la realización de derechos humanos. A pesar de eso, en el mundo hay 663 millones de personas que carecen de agua potable y 2300 millones de personas que carecen de saneamiento mejorado (Centro virtual de Información del Agua, 2017).

Por otra parte, el derecho humano al agua y el saneamiento forma parte de la Constitución Política Mexicana desde el 8 de febrero de 2012 (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. [FCEA] 2021) El cual menciona lo siguiente:

Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines [Párrafo sexto del artículo 4° de la Constitución].

La realidad es que no se ha garantizado ese derecho ya que el rezago respecto al acceso del recurso es amplio. En México 5 millones de habitantes carecen de agua potable y 18.7 millones de habitantes no cuentan con saneamiento mejorado (FCEA 2021). Asimismo, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) menciona que 10.4 millones de habitantes no cuentan con alcantarillado.

Entre los muchos municipios mexicanos que carecen de suficiente agua, dentro de México, en el estado de Puebla, se encuentra el municipio de Zautla; ubicado en la sierra norte del estado, misma que alberga 50 localidades, entre las que se encuentran: Apantzingo, Contla, San Miguel Tenextatiloyan, Santiago Zautla, Xopanaco, entre otras. Se inició una amenaza en la región de la sierra norte con proyectos de empresas nacionales y transnacionales que únicamente buscan beneficiarse con los recursos del sitio para la explotación minera y petrolera. Con respaldo del gobierno federal, se están construyendo presas hidroeléctricas y se busca establecer varias “ciudades rurales sustentables”, lo que resulta ser en un sentido retórico, un oxímoron que contrapone el comportamiento de dos contextos que funcionan con procesos diferentes. Son proyectos que traen consigo consecuencias negativas a causa de la explotación de recursos como son el agua y el suelo; lo que provoca un desequilibrio en los ciclos naturales del sitio.

El municipio de Zautla alberga diversas comunidades indígenas, entre ellas: Apantzingo. Comunidad con 84 habitantes (INEGI, 2020) y altos índices de marginación. Apantzingo es una comunidad que se dedica al cultivo de temporal y la alfarería; razón por

la cual el recurso hídrico es indispensable para su pleno desarrollo. La comunidad ha sido impactada con el ingreso de sistemas de abastecimiento que no son aptos para la geomorfología del sitio y variaciones pluviométricas a causa del cambio climático, razón por la cual presenta un problema de acceso al agua tanto de abastecimiento por tubería, como pluvial. Se establece como *unidad de análisis* ambiental a la subcuenca del Río Apulco; subcuenca donde se encuentra la comunidad Apantzingo.

El agua en Apantzingo, como en otras comunidades indígenas no representa únicamente un elemento físico; para la comunidad, el agua es la unión de luchas para la productividad de sus alimentos, agradecimiento a la madre tierra, la unión, festividades, algo sagrado en zonas de mucha sequía (CESDER, 2020:2). En Apantzingo obtienen agua de un registro a un *manantial*, se distribuye el agua a un registro llamado *caja de agua* y la conexión a las viviendas desde este registro se hace por mangueras. El acceso es irregular, insuficiente e interrumpido. Se establece que una alternativa para el acceso regular al agua en Apantzingo es la creación de áreas de retención de agua al aire libre que permitan aprovechar el agua pluvial y restablecer el balance hídrico de la comunidad.

En el año 2016 se realizó una visita a la comunidad como parte de una práctica académica. En esa ocasión se pudieron observar características y problemáticas de la comunidad. Fue

un primer acercamiento que sirve como *antecedente* ya que se obtuvieron datos sociales, culturales y ambientales. Las comunidades rurales siguen los pasos de un constructo urbano de cultura socio política dominante



Figura 1. *Apantzingo*. Elaboración Propia con fotografía satelital de GoogleEarthPRO, 2021

al copiar esquemas tecnológicos y sociales que no corresponden con la naturaleza innata del sitio. Uno de los esquemas que se replica es el abastecimiento de agua mediante red de tuberías y ramales dirigidos a las viviendas. Zautla ha introducido esos esquemas en comunidades como Apantzingo con redes que no satisfacen los requerimientos de agua, implican un egreso económico para conectarse a la red y generan un impacto ambiental en los ríos donde se vierten los desechos, además de ser una de las principales estrategias políticas para reforzar la presencia entre los habitantes de una comunidad como símbolo falso de progreso. En la figura 1 se aprecian las características geomorfológicas de la comunidad. Con una transparencia blanca, se establece la delimitación de la poligonal de Apantzingo. En GoogleEarth se localizaron las viviendas de la comunidad con un pin amarillo (figura 2).



Figura 2. *Apantzingo*. Elaboración Propia con fotografía satelital de GoogleEarthPRO, 2021

La línea roja muestra la distancia entre una y otra vivienda, con distancias que van de los 20 hasta 200 metros. Con una línea amarilla se señala la distancia de la comunidad a una supuesta fuente de agua identificada en GoogleEarthPRO. La distancia a la fuente de agua es de 240 metros pero el otro problema que se identifica es que no se encuentra dentro de la delimitación de la localidad, lo que puede representar un conflicto entre localidades si se desea extraer agua de ahí.

Con la visita realizada en el año 2016 se abrió la visión respecto a la problemática. Posteriormente, se indagó más en el fenómeno y de esa manera se estable que **La problemática** del agua en la comunidad comprende cuatro puntos: 1) El abastecimiento de agua por tubería y manguera. Las mangueras se llenan de sarro o se perforan, lo que restringe el caudal. La dispersión de viviendas, geomorfología accidentada y lejanía con la cabecera municipal no permiten el abastecimiento regular por tubería. 2) Falta de agua para riego. Se realiza riego de temporal ya que el agua del *jagüey* y la *caja de agua* son sólo para uso doméstico, establecido como acuerdo comunitario. La irregularidad en los ciclos hídricos no permite una buena lectura de lluvias por parte de los habitantes, que anteriormente lo hacían de acuerdo con la regularidad que conocían de las estaciones. 3) Manejo ineficiente en la captación de agua pluvial. Se dejan tambos, cubetas y cisterna a cielo abierto para su recolección. Con ambos métodos el agua está contaminada y no se tiene aprovechamiento máximo en la recolección. 4) Falta de depósitos de almacenamiento a nivel vivienda y nivel comunidad. En la vivienda se almacena el agua en pilas y en la comunidad en el *jagüey*, el cual no está disponible para toda la comunidad y es insuficiente su capacidad, lo que repercute en la escasez del recurso para uso doméstico y agrario. Como resultado de las características de la comunidad y el manejo inadecuado del abastecimiento y almacenamiento de agua, Apantzingo continúa sin sistemas adecuadas de captación, ni tratamiento de agua pluvial, lo que en algún momento desencadenará la escasez del recurso en los cuerpos acuíferos del sitio; razón por la cual se analizará la problemática para abordarla con un enfoque sistémico y proponer la metodología que permita diseñar el manejo integral del agua pluvial y enfrentar la problemática de acceso al agua en comunidades rurales como Apantzingo.

La **justificación** de la investigación se rige bajo la idea de que diseñar las líneas generales para el manejo integral del agua pluvial en las comunidades indígenas, permite satisfacer necesidades domésticas y agrícolas relacionadas al agua aún en meses con escasas lluvias y atender las necesidades de la comunidad tiene un amplio sentido social ya que su derecho de acceso al agua no está garantizado por el Estado; así como el hecho de que realizar una propuesta metodológica y aplicarla a una comunidad, se vuelve una aproximación que se adapta a condiciones específicas, lo que abre la posibilidad de observar los resultados y aplicar la metodología en comunidades aledañas con características y problemáticas

similares. La manifestación de preocupación social y medioambiental se une a la justificación y sirve como base para una posible aplicación que conduzca a la resolución de condiciones hídricas inadecuadas en comunidades indígenas. Investigar una comunidad como Apantzingo, que es una comunidad receptiva, resiliente, abierta y consciente a los cambios y la responsabilidad ambiental, abre el abanico de posibilidades en asentamientos humanos de la zona, que se encuentren en condiciones similares,

Se establece como *objetivo general* de investigación “Proponer la metodología para diseñar un sistema integral del manejo de agua pluvial en la comunidad de Apantzingo”. Para cumplir dicho objetivo, se realiza una búsqueda de componentes de diseño para establecer líneas generales a seguir, los componentes de diseño provienen principalmente de la permacultura. La *permacultura* es: “El diseño consciente de paisajes que imitan los paisajes y las relaciones de la naturaleza, mientras suministran alimento, fibras y energía abundantes para satisfacer las necesidades locales; las personas, sus edificios y el modo en que se organizan a sí mismos son fundamentales en permacultura” (Holmgren, 2002). En esta investigación se utiliza como base conceptual ya que en la permacultura es indispensable el buen manejo de los recursos, principalmente del agua, pues esto nos permite además de tener acceso al recurso, un adecuado uso para la agricultura y suelos estables.

Se abordan *preguntas de investigación* que surgen de la reflexión de la problemática de la comunidad: ¿Cuáles elementos medioambientales y socioculturales condicionan a la comunidad de Apantzingo para el aprovechamiento del agua pluvial? ¿Cuál es la mejor manera de proceder para el diseño de un sistema integral para el manejo del agua pluvial que permita el aprovechamiento del recurso en comunidades indígenas? ¿Qué líneas generales de diseño de permacultura, consideramos convenientes proponer, para implementar el sistema en comunidades indígenas como Apantzingo?

Las preguntas tienen relación con los *objetivos específicos*; los cuales se plantean de la siguiente manera: 1.- Llevar a cabo un diagnóstico medioambiental y sociocultural de la comunidad Apantzingo, que permita tener un amplio conocimiento de la comunidad y sustentar la propuesta para el aprovechamiento del agua de lluvia. 2.- Realizar una propuesta metodológica para diseñar un sistema integral para el manejo del agua con base en principios de la permacultura, que permita aprovechar el recurso pluvial en las comunidades indígenas.

3.- Aplicar la metodología en la comunidad de Apantzingo y proponer líneas generales de diseño, que permitan la implementación de este tipo de sistemas en comunidades indígenas.

Se plantea como *hipótesis de trabajo* que explica que al plantear buenas soluciones de diseño para un Sistema Integral de aprovechamiento de agua pluvial en comunidades indígenas como Apantzingo, se podrá reutilizar el agua de lluvia a fin de solucionar así la problemática de falta de agua para necesidades domésticas y productivas.

En el apartado uno: *“Marco teórico”* se establece la base teórica y la discusión que gira en torno a las posturas ambientalistas adoptadas para la investigación. El siguiente apartado: *“Marco conceptual”* se hace una vinculación conceptual entre el agua y las comunidades indígenas y se comienza a referir a la comunidad de Apantzingo. Finalmente, en el capítulo se analizan conceptos recuperados de la permacultura como una posible vía de adaptación para comunidades indígenas con carencia del recurso. Los conceptos de permacultura abarcan desde lo social, hasta el manejo de agua con nociones de diseño planteadas por la disciplina. También se introduce el concepto de permacultura, se describe a la disciplina que funge como uno de los conceptos ejes de la investigación. Se definen sus principios éticos y de diseño y se profundiza en los principios aplicados en este estudio.

El tercer apartado: *“Marco metodológico”* se desarrolla la secuencia que consiste en la descripción de la metodología y su trascendencia para tratar problemas con la misma índole social y ambiental en comunidades indígenas que se encuentran en un contexto de escasez de agua; y que, al analizar la secuencia y las particularidades pertinentes, permite que sea aplicada a otras realidades posteriormente. La metodología consiste en la identificación de la problemática, el análisis teórico conceptual respecto a ella y continúa con el diagnóstico de la zona de estudio.

En el apartado cuatro: *“Zona de estudio”* se refleja el diagnóstico realizado en la comunidad que permite describirla a través de una caracterización sociocultural y otra medioambiental, para dar a conocer la situación socio-ambiental actual de la zona de estudio. El quinto apartado: *“Aplicación de la metodología”* se remiten los resultados obtenidos de manera más concreta como parte de la aplicación de la metodología se encuentran las *“Líneas generales de diseño”* que se proponen para el manejo del agua y se aplican a la comunidad de Apantzingo. La Idónea Comunicación de Resultados culmina con las

conclusiones generales de la investigación y las limitaciones generales y recomendaciones para futuras líneas de investigación.

1. Marco teórico: Acercamientos breves y complejos en el marco de la globalización ambiental

En este capítulo se explicará la base teórica que da soporte a la investigación. Se desarrolló una postura en relación con los nuevos paradigmas en la ciencia y se explora en dos de ellos: El primer cambio de paradigma transforma la visión reduccionista de la ciencia a una visión y postura compleja que se conoce como la Teoría de los Sistemas Complejos y que es útil para comprender al sistema vivo llamado Tierra y los recortes de realidad que se deseen hacer de ella. El segundo paradigma tiene un sentido medioambiental y es el cambio de paradigma de una visión antropocéntrica por una ecocéntrica.

Se analizó a la globalización como posible eje rector del deterioro medioambiental y se estudiaron las posturas de las escuelas ecológicas. Esta investigación se dirige por el camino de la ecología profunda como posibilidad para tener mayor consciencia ecológica y la integración de los seres humanos con los procesos de la naturaleza lo que conlleva un profundo cambio cultural y social.

La ciencia durante mucho tiempo se ha considerado como fuente verdadera de conocimiento y entendimiento de la vida en el mundo occidental. Pero ¿Qué sucede con los nuevos conocimientos que se apartan de los conocimientos científicos aceptados? Históricamente, desde el siglo XVII la ciencia es constituida y los seres humanos hemos funcionado bajo el esquema de una ciencia con tendencia a reducir, fragmentando de esa manera el conocimiento. Los paradigmas, según Thomas Kuhn, son logros científicos universalmente aceptados que durante algún tiempo suministran modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica (Kuhn, 1962). Pero no por ser universalmente aceptados representa que sean una verdad universal. Existen diversas posturas frente al conocimiento que en ocasiones salen de la línea de la ciencia normal. La ciencia normal significa la investigación basada firmemente en logros científicos pasados, logros que una comunidad científica particular reconoce durante algún tiempo como el fundamento de su práctica ulterior (Kuhn, 1968).

Los paradigmas, menciona Kuhn en su obra *La estructura de las revoluciones científicas*, son logros que comparten dos características: sus realizaciones carecían hasta tal punto de precedentes, que eran capaces de atraer a un grupo duradero de partidarios... y a la vez eran lo bastante abiertas para dejarle al grupo de profesionales de la ciencia así definido todo tipo de problemas por resolver (Kuhn, 1968) los logros que comparten estas dos

características son para Kuhn paradigmas y el término está estrechamente relacionado con ciencia normal. La ciencia normal o tradicional cuenta con métodos y científicos que la siguen y refuerzan con sus experimentos, pero probablemente la ciencia normal ha condenado al campo científico a ver el mundo de la misma forma y al dejar tantos problemas por resolver aunados al mismo problema inicial, frena la amplitud que deberíamos tener en la investigación, condenándola así a ser una ciencia reduccionista.

Existen transformaciones revolucionarias que permiten cambiar el enfoque de análisis, enfoque que linealmente ha seguido un paradigma. Las revoluciones en la ciencia, como en otros ámbitos, son causadas por el disgusto de la comunidad científica de seguir bajo esquemas que dejan vacíos de conocimiento en su discurso lo que conlleva a un rechazo de la ciencia tradicional y a partir del rechazo, inicia la investigación desde otra postura, bajo enfoques nuevos que se van imponiendo, al mismo tiempo que reúne comunidad científica que coincide con la nueva postura. Finalmente, eso culmina en la formación de una nueva visión de la ciencia. Así entonces, se hace un cambio de la ciencia tradicional a una nueva ciencia que mira los fenómenos con una nueva mirada y permite a la ciencia observar con una nueva lente para generar conocimiento nuevo y diferente.

Los cambios de paradigma representan un giro cultural; por lo que hacer un cambio de paradigma, pertenecer al cambio de paradigma, es un acto revolucionario, es un acto que nos conduce a la amplitud humana.

Dentro de la *Teoría de Sistemas*, un sistema representa algo que no se puede describir en términos de elementos aislados, si no que las relaciones entre los mismos lo conforman. Ludwing Von Bertalanffy denominó el término “Teoría General de Sistemas”. Para él, la Teoría General de Sistemas debería constituirse en un mecanismo de integración entre las ciencias naturales y sociales y ser al mismo tiempo un instrumento básico para la formación y preparación de científicos (Cathalifaud, et al. 1998:3). La teoría surge como respuesta a la ciencia reduccionista tradicional y permite la noción de totalidad. Esta totalidad trajo un cambio de paradigma en la ciencia con una postura integradora de las partes de los objetos de transformación y no segregadora del mismo.

A partir del cambio de paradigma en la ciencia, se dio una transformación científica. Este cambio de percepción es descrito por Capra en su obra *La trama de la vida*, como una nueva comprensión científica de la vida en todos los niveles de los sistemas vivientes:

organismos, sistemas sociales y ecosistemas (Capra, 1998). Así se inicia el nuevo paradigma que tiene una perspectiva sistémica, donde todo está interconectado y es la nueva vía para la investigación en todos sus estratos.

Estudiar aisladamente los fenómenos nos conduce al reduccionismo que no comparte la idea de que todo pertenece a un sistema que inevitablemente está interconectado a todas sus partes. En la ciencia del siglo XX la perspectiva holística ha sido conocida como <<sistémica>> y el modo de pensar que comporta como <<pensamiento sistémico>> (Capra, 1998). En este sentido, en el del pensamiento sistémico, todo tiene una organización y comprensión de sus componentes básicos. De esta manera se tiene una extensa visión sobre los fenómenos ya que se comprenden tanto sus componentes individuales como la organización en conjunto.

Bajo el marco de los sistemas, se encuentra La Teoría General de Sistemas, que Capra refiere debería ser un medio importante para controlar y potenciar la transferencia de principios entre campos, no siendo ya necesario duplicar o triplicar el descubrimiento del mismo principio en distintos campos aislados entre sí (Capra, 1998). El desarrollo de conocimiento paralelo entre diferentes campos nos conduce también al desarrollo multidisciplinario que permite un progreso paralelo y no uno subdividido. En términos de sistemas vivos, se comprende como totalidades o bien, como redes.

La postura sistémica de Rolf Behncke C. nos dice que lo que hacen las propiedades de los componentes es solo especificar el espacio particular en que tal sistema existirá, pero las propiedades de los componentes no determinan por sí solas la organización de un sistema ni tampoco las propiedades del sistema en conjunto (Maturana et al., 2009). Si se traslada el pensamiento sistémico al entorno social, nos conduce a enfrentarnos a la realidad de que somos como humanos una parte del sistema y no somos la parte más importante como hemos creído bajo el esquema antropocéntrico. Al hacer una observación introspectiva en el componente fundamental de carácter social, es decir; los humanos, nos enfrentamos con un conflicto aún mayor y es que la causa interna que existe para la destrucción externa daña al propio sistema al que pertenecemos. La incompreensión de los seres humanos entre sí, amenaza con la destrucción sistémica, no solo de la vida humana en el planeta, si no mucho antes aún, de la vida interna, de la confianza básica de unos en otros, que es fundamental del vivir social (Maturana et al., 2009).

Si, sistémicamente, abordamos este pensamiento, nos daremos cuenta que al ser parte de una red, inequívocamente la intervención de un elemento incide en otro. Es decir, la intervención -negativa o positiva- en el medio ambiente va a incidir en el contexto social, y viceversa. El enfoque sistémico se desarrolló aún más con conceptos como la autoorganización y la descentralización que menciona en sus textos Mitchel Resnick. Y con textos de autores como Edgar Morín, Rolando García que se resumen en la llamada: ***Teoría de los Sistemas Complejos***.

Uno de los paradigmas en la ciencia es el que Morin reconoce como paradigma de la simplificación el cual se basa en principios de disyunción y reducción. A diferencia de la complejidad, que Morin describe como: el tejido de eventos, acciones, interacciones, retroacciones, determinaciones, azares, que constituyen nuestro mundo fenoménico (Morin,1990:32), la simplificación evade muchos aspectos de la realidad que son parte de la complejidad de un sistema. En algunas áreas de estudio se observa y analiza un objeto de transformación de manera tan específica, que se olvida que coexiste con su entorno y es esta pérdida de la interrelación del objeto con su contexto, la que hace que muchas veces la ciencia sea simplificadora y, por lo tanto, reduccionista.

Tras la postura de transformación en el pensamiento, propuesta por Morin, Rolando García indagó en la complejidad y describe al *sistema complejo* como una *representación* de un *recorte* de esa realidad, conceptualizado como una *totalidad organizada* (de ahí la denominación de *sistema*), en el cual los elementos no son “separables” y, por lo tanto, no pueden ser estudiados aisladamente (García, 2006:21). La postura de García frente a la investigación científica establece una relación entre el objeto de estudio y la disciplina a partir de la que se aborda; encasillarnos en una disciplina nos imposibilita a considerar de manera más amplia los aspectos que inciden en el objeto de estudio. Es por eso que la interdisciplina ayuda a la persona que desarrolla la investigación a integrar enfoques de diversas disciplinas y hacer recortes de la realidad que integren las partes del sistema sin descartar partes importantes que ayudan en su organización.

La organización de algunos sistemas se rige por un concepto denominado autoorganización. La autoorganización, según Resnick: en todos estos sistemas, los patrones no están determinados por alguna autoridad centralizada sino por interacciones locales entre componentes descentralizados (Resnick, 2001:26). Rolando García habla de los sistemas

abiertos y auto-organizados que son sometidos a modificaciones que oscilan dentro de ciertos límites; si la estructura del sistema se mantiene sin alteraciones se dice que el sistema se encuentra en estado estacionario. Si el sistema no lo soporta, se altera su estructura. Bajo estas condiciones el sistema se reorganiza hasta adoptar una nueva estructura...el sistema vuelve a ser estacionario, pero con una estructura diferente a la anterior (García, 2006: 62). Algo similar ocurre con la Tierra, sistema vivo que tiene capacidad de autoregulación, según la Teoría de Gaia de James Lovelock. La teoría de Gaia establece que La Tierra cuenta con un sistema de autorregulación que está fallando por un problema de sobrecalentamiento, resultado de la contaminación ambiental, y existen dos escenarios posibles en términos de sistemas: El primero sería que el sistema de autorregulación de Gaia continúe en su estado estacionario aún con las fluctuaciones que presenta; por otra parte, nos encontramos con la posibilidad de que la estructura del sistema colapse y se reorganice para tomar una nueva estructura como sistema vivo. El problema es que no conocemos ninguna de las consecuencias para los seres vivos de la Tierra en cualquiera de las dos posibilidades, pero una reestructuración se puede suponer traerá consecuencias desfavorables para alguno de los subsistemas de Gaia.

Según García, el estudio de un ecosistema natural que ha sufrido la acción del ser humano (...) supone concebir el objeto de estudio como un sistema complejo (García, 2006:39).. Al considerar al medioambiente como un sistema en el que seres vivos y seres sociales coexistimos bajo una interrelación intensa, podemos abordarlo como un sistema complejo y no necesariamente debe haber sufrido la acción del ser humano para entenderlo como sistema complejo.

Los sistemas complejos se pueden definir, observar sus componentes, y establecer procesos y niveles de análisis; los observables son datos de la experiencia ya interpretados y los hechos son relaciones entre observables (García, 2006:43). Los componentes de un sistema complejo son los límites, que no necesariamente significa dejar afuera componentes del sistema, simplemente se enfoca en realizar un recorte de la realidad para definir el sistema a estudiar. Es decir, convertimos el sistema complejo en un sistema con subsistemas y componentes que se interrelacionan.

Otros componentes de un sistema complejo son los elementos, también conocidos como subsistemas, es decir “unidades” también complejas (subsistemas) que interactúan

entre sí (...) la estructura del sistema está dada por el conjunto de relaciones, no por los elementos...para la determinación de los subsistemas de un sistema es de fundamental importancia definir escalas espaciales y temporales que están considerando (García, 2006:50). La definición de estas escalas será la que establezca los parámetros y las relaciones que se analizarán del sistema.

Un sistema abierto nos permite atender una problemática vista desde diversas disciplinas al tomar un recorte de la realidad y organizar sus procesos en diferentes niveles de los cuales podremos obtener una observación completa con la postura que adoptan todos sus estratos. Capra menciona en su libro *La trama de la Vida*: Cuanto más estudiamos los problemas de nuestro tiempo, más nos percatamos de que no pueden ser entendidos aisladamente. Se trata de problemas sistémicos, lo que significa que están interconectados y son interdependientes (Capra, 1998). Nos encontramos con que los Sistemas Complejos, convergen en la idea de que no podemos reducir un sistema a cada una de sus partes, si no que se deben abordar como una totalidad compuesta de subsistemas que lo componen y aislar sus partes supondría el riesgo de caer en la parcialidad del conocimiento.

Después de establecer el preámbulo científico-ambiental en el que nos encontramos, analizaremos desde la perspectiva de los fenómenos sociales lo que ocurre ambientalmente en este sentido y el *deterioro medioambiental* en el que nos encontramos. Muchas veces hemos escuchado el término de globalización y ya forma parte intrínseca de nuestra cultura y cotidianidad. Pero ¿Somos conscientes de lo que conlleva? Incluso podríamos atrevernos a cuestionar si aún al ser conscientes, ¿Nos importa lo que conlleva? De la mano de la globalización, nos encontramos con la mundialización; conceptos claves de la modernidad, modernidad entendida como esa serie de transformaciones que dió pie al mundo contemporáneo (Alfie, 2005).

Globalización y mundialización. A pesar de existir una amplia discusión entre las diferencias y similitudes de ambos términos, en esta investigación se aborda la conceptualización que propone Miriam Alfie en su libro: *Democracia y desafío medioambiental en México*. La globalización atiende al campo económico, la mundialización dará cuenta de las transformaciones socio-culturales (Alfie, 2005). Podemos entender que la mundialización nos conecta con otras culturas, otros modos sociales de existir y que

disminuye los límites que generan las etnias, religiones y fronteras. En el sentido económico, esa cohesión no tiene un lado tan positivo. Es el resultado de ideas predominantes, de actores clave, con enorme poder geo-económico e intereses geo-políticos, decisiones políticas y económicas que se toman en los centros del poder mundial y en las grandes instituciones financieras y comerciales (Alfie, 2005). Dicha cohesión resulta en la globalización, que ha generado que el poder mundial esté por encima de los intereses sociales y medioambientales y afecta profundamente a los ecosistemas del planeta. Miriam Alfie nos proporciona una idea de lo que es el deterioro ambiental y el desafío que conlleva al dejar claro que la globalización ha dejado consecuencias graves en el ámbito ambiental y por consiguiente, en el ámbito social.

El deterioro del medio ambiente trae consigo daños a los recursos como agua, aire y suelo. El medioambiente ha sido violentado con crecimiento poblacional desmedido, consumo de recursos y contaminación y calentamiento a causa de los gases expedidos de las fuentes energéticas que consumimos y que destruyen los ecosistemas. En ese sentido, la globalización es internacional, pero proporciona daños locales, daños en los recursos de determinados sitios que los colocan en situaciones de vulnerabilidad y sensibilidad. Existen diversas posturas que hacen referencia a las causas de los problemas ambientales y la solución que plantean: los discursos ambientales. Estos representan un desafío, un desafío a las corporaciones, a la industrialización, a la globalización y a toda la vorágine de deterioro ambiental que nos envuelve.

Dentro de los discursos ambientales, existen cuatro grupos y se dividen de la siguiente manera, según Miriam Alfie: Los supervivientes; radicales que confían en la redistribución del poder. Los reformistas; que se interesan en la resolución de problemas ambientales a través de políticas públicas. Los imaginativos; que eligen la vía del desarrollo sustentable y desean resolver el conflicto entre crecimiento económico y valores ambientales. Y finalmente, los radicales verdes; grupo que corresponde a los imaginativos y radicales y parte del rechazo a las estructuras básicas de la sociedad industrial (Alfie, 2005).

El radicalismo verde se divide en dos corrientes y aunque corresponden al mismo discurso, lo hacen desde una postura y sentido diferente. La primera de estas corrientes es el romanticismo verde que acoge a la ecología profunda, la otra corriente es la del racionalismo verde, de ahí sale la ecología social, y otras posturas como el ecofeminismo social. La

ecología social enarbola al ser humano como parte de la naturaleza...pretenden cambios a pequeña escala...promoviendo una imagen de seres humanos y naturaleza en armonía productiva (Alfie, 2005). La postura por la que se inclina ésta investigación es por la postura y visión de la ecología profunda.

Del Radicalismo Verde surgen escuelas ambientalistas con diversas posturas, una de ellas es La ecología profunda que corresponde al Romanticismo verde. La Ecología Profunda o *Deep Ecology* es un grupo radical que establece la fuente de los problemas ambientales en la ilimitada voluntad del poder del ser humano, que durante la modernidad, creyó que todo lo que decidía era lo mejor. Condenan al ser humano... por el deterioro ambiental que ha provocado (Alfie, 2005:189). En la ecología profunda no existe jerarquía por especie; es decir: no hay ninguna especie más importante que otra y se mantiene la postura biocéntrica con un enfoque espiritual de la naturaleza. La ecología profunda defiende ante todo a la naturaleza con el fin de preservarla. Es una de las posturas ambientalistas más radicales respecto a la visión antropocéntrica.

Capra señala en su libro *El Tao de la Física* que emplea el término ecológico con un sentido más amplio y profundo del que normalmente se le confiere. La consciencia ecológica en este sentido profundo reconoce la interdependencia fundamental de todos los fenómenos y la integración de los individuos y las sociedades en los procesos cíclicos de la naturaleza (Capra, :132) La concepción de Capra de una ecología profunda está fuertemente ligada a una consciencia espiritual. En el ámbito científico suele dejarse afuera lo espiritual ya que no es visible, tangible ni explícito. Rechazamos las posturas ajenas a las occidentales porque son tácitas, pero Capra logró como científico llegar a conclusiones que incluyen el misticismo oriental y que representan otro cambio de paradigma científico. Fritjof Capra señala que cuando se comprende el concepto de espíritu humano como el modo de consciencia en que el individuo se siente unido al cosmos como un todo, queda claro que la consciencia ecológica es espiritual en su esencia más profunda (Capra, 2007: 132).

A principios de los años 70, la ecología profunda fue una escuela de pensamiento que fundó Arnes Naess. Capra distingue una principal diferencia entre la ecología superficial y la ecología profunda. La principal característica de la ecología superficial es que tiene una visión antropocéntrica con una supremacía humana que desemboca en el daño a la naturaleza. En sentido contrario, la ecología profunda parte del principio biocéntrico como lo menciona

también Miriam Alfie, que establece que todos los seres vivos tienen el mismo valor, no hay distinción entre los humanos y otros seres. La ecología profunda reconoce el valor intrínseco de todos los seres vivos y ve a los humanos como una mera hebra de la trama de la vida (Capra, 1998).

La visión de un nuevo paradigma, acompañada de la teoría de los sistemas, hacen que la visión de la vida sea holística y nos permite comprender que no podemos pensar en un componente sin el otro. Es decir, el hecho de que como humanos pertenezcamos a un entorno natural, nos hace ser parte de este y por consiguiente, dependientes. Somos parte de todo lo que ocurre en la naturaleza y los fenómenos que ocurren en ella, pero la visión antropocéntrica que tenemos tan arraigada ha hecho que nos consideremos como un ente aislado y creemos que la naturaleza está a nuestra disposición para su explotación en beneficio de nuestros requerimientos. La idea además de errónea es completamente ególatra. Algunos científicos con concepciones teológicas se basaban en la providencia divina. Una suposición común era que los seres humanos, aunque no estaban muy por debajo de los ángeles más inferiores, se encontraban de hecho en el centro de la escala, y que los ángeles superiores estaban tan por encima de los humanos como éstos en relación con los organismos inferiores (Foster, 2008). Si consideramos que este fue uno de los discursos iniciales que acompañaba a la ciencia, podemos afrontar que el pensamiento colectivo de superioridad humana frente a la naturaleza o los seres y organismos que la integran se dio con el respaldo de ciertos miembros de la comunidad científica. Establecieron un paradigma de superioridad humana, pero llegó el cambio de paradigma que establece que no es así y la ecología profunda rechaza esa idea.

A pesar del rechazo de la ecología profunda a esta idea que se relaciona con la postura teológica, Capra habla de la percepción ecológica como una percepción espiritual o religiosa: “Cuando el concepto de espíritu es entendido como el modo de consciencia en el que el individuo experimenta un sentido de pertenencia y de conexión con el cosmos como un todo, queda claro que la percepción ecológica es espiritual en su más profunda esencia” (Capra, 1998). Es paradójico que tengamos que reconocer nuestra pertenencia a un sitio al que inevitablemente pertenecemos, pero si es diferente traerlo a la consciencia y hacernos responsables ante esa consciencia, del hecho de que pertenecer nos conduce a cuidar, a ser parte de y no creer que el cosmos, la tierra, el planeta o la vida física está para abastecernos.

Lovelock habla de cómo la tierra ha resistido cambios desfavorables, pero quizá ahora con más edad, la Tierra ya no pueda superar esos fallos. Lovelock menciona en su libro *La venganza de la tierra*, que, si no cuidamos de la Tierra, ella cuidará de sí misma haciendo que ya no seamos bienvenidos (Lovelock, 2006). Si comprendemos que la Tierra como sistema vivo funciona bajo los criterios que establece el pensamiento sistémico, podremos notar que para comprender a la tierra en cualquiera de sus ámbitos que nos interese, hace falta concebirla como un todo, no podemos incidir únicamente en el ámbito social o en el ámbito ambiental sin involucrarnos también, en menor o mayor medida en los ámbitos geológico o fisicoquímico, por mencionar algunos.

El principal problema para Gaia es el sobrecalentamiento al que está sometida a causa de nuestras prácticas humanas desmedidas, Lovelock menciona que existe un umbral -quizá de temperatura, o un nivel dado de dióxido de carbono en el aire- más allá del cual nada de lo que hagan las naciones del mundo servirá...ni podrá evitar que la tierra llegue irreversiblemente a un nuevo estado de calentamiento (Lovelock, 2006).

El calentamiento global, los gases de efecto invernadero y los demás síntomas que muestra la Tierra para hacernos ver que está enferma, que su sistema de autorregulación está fallando, serán cada vez más evidentes y solo tenemos dos escenarios factibles: El primero, es que el sistema de autorregulación de Gaia funcione y termine por tomar las medidas necesarias para su salud lo que podría traer consecuencias fatales para los seres que la habitamos. El segundo escenario, es que nosotros como seres humanos ganemos la batalla invasiva contra Gaia y evidentemente Gaia muera. Olvidamos que en esta segunda postura si Gaia muere, morimos todos los seres que somos parte de la red. Algunos toman la postura del desarrollo sostenible creyendo utópicamente que esto desaparecerá el calentamiento global, recuperaremos nuestra temperatura idónea y los glaciares volverán a su lugar. Además de utópico es ingenuo creer que por la vía del desarrollo sostenible lo lograremos; por supuesto que el desarrollo sostenible tiene sus lados positivos y posiblemente uno de ellos es que contribuye a la desaceleración del cambio climático, pero es solo parte de la solución.

Desafortunadamente el cambio debe ser, como parte de un cambio sistémico, un cambio cultural y global. Nos centramos tanto en las necesidades humanas, en los procesos tecnológicos, en nuestra capacidad cada vez más grande de consumo, que estamos en una

búsqueda constante de progreso tan grande que no creemos posible esa retirada de la que habla Lovelock. Si modificamos nuestras fuentes energéticas como menciona Lovelock, revolucionamos con el pensamiento científico reduccionista a través de un cambio de paradigma como establece Kuhn y adoptamos el pensamiento sistémico, posiblemente podamos aún estar a tiempo de llevar esa retirada sostenible con alternativas que beneficien a Gaia y al mismo tiempo a los seres que la habitamos. El esfuerzo es en conjunto con naciones, empresas y personas, pero si no tenemos la capacidad de involucrarnos en los estratos más poderosos, hagámoslo en el nuestro, en ese componente del sistema al que correspondemos y llevemos a cabo la retirada sostenible.

Preferimos que la Tierra siga en desequilibrio, en calentamiento, invadida y explotada siempre que los humanos salgamos beneficiados. Lo que necesitamos por encima de todo es recuperar el amor y la empatía por la naturaleza que perdimos cuando nos enamoramos de la vida urbana (Lovelock, 2009). Uno de los recursos más explotados es el agua. En el siguiente capítulo se aborda al concepto y las dificultades de el agua en las comunidades indígenas.

2. Marco conceptual: El agua y las comunidades mexicanas indígenas

Se decidió abordar a la comunidad de estudio como un sistema complejo abierto y se abordan algunos de los subsistemas que lo conforman. La organización en subsistemas permite describirlos e identificar las relaciones entre ellos y aunque se conforma de más subsistemas, se decidió omitirlos y solo observar los que son relevantes para la investigación. Dentro de los subsistemas establecidos están el físico y el social; algunos de los componentes que se abordan del subsistema físico son componentes climáticos e hidrológicos y respecto al social, se aborda a el grupo social como comunidad indígena y la organización social comunitaria. Para una mejor comprensión de los subsistemas y sus componentes, se decidió conceptualizar los siguientes términos: agua, comunidad indígena y permacultura.

El agua tiene una interpretación diferente desde el campo de estudio desde el que se observe, pero sin duda convergen en la idea de que es la base de la vida. Sepp Holzer se refiere al agua como la sangre de la tierra y se refiere tanto al agua potable como al balance hídrico del planeta (Holzer,2015:31). La importancia del recurso radica en que en los procesos generales que mantienen la existencia, el elemento principal es el agua. Además de cubrir más del 70% de la Tierra, los seres humanos estamos compuestos casi en el mismo porcentaje por agua. En el campo de la química, cuenta con diferentes fases y es un material flexible...con su movimiento puede modelar el paisaje y afectar el clima (Fernández, 2012:148). Para algunas comunidades indígenas, el agua es la unión de luchas para la productividad de sus alimentos, agradecimiento a la madre tierra, la unión, festividades, algo sagrado en zonas de mucha sequía (CESDER, 2020:2).

El agua comprende un proceso biogeoquímico vital para el medioambiente y la humanidad: el ciclo hidrológico. El ciclo del hidrológico comprende el movimiento masivo del agua en sus diversas facetas: la precipitación, el escurrimiento, la evotranspiración y la infiltración (Fernández, 2012:148). Desafortunadamente, las transformaciones climáticas que ha sufrido la Tierra a causa de prácticas humanas como el extractivismo y la contaminación de cuerpos hídricos, han desencadenado alteraciones en el ciclo del agua.

Dentro del ciclo hidrológico, la precipitación pluvial tiene un papel muy importante ya que es el proceso donde se expone el agua a la superficie. Se estima que la precipitación anual sobre la Tierra es de 120,000km³ (Fernández, 2012:148). Sin embargo, no es posible

utilizar toda esa cantidad ya que en su mayoría es agua de océanos que por su composición no permite el uso humano. Por otra parte, al precipitar en cuerpos de agua contaminados aumenta el volumen de estos, dando como resultado la contaminación de agua del ciclo que se encontraba en un estado natural y que se contamina al hacer contacto con la fuente que ya se encontraba infectada.

El agua tiene usos naturales y antropogénicos los cuales conforman la creación de ecosistemas. En su sentido natural conforma los cuerpos de agua y en el antropogénico funge en los procesos de interacciones sociales y de producción como la agricultura y el aprovechamiento doméstico. Dentro de estas interacciones sociales destacan las que se dan en las *comunidades indígenas* ya que la relación agua-sociedad es muy diferente a la relación agua-sociedad en una delimitación geográfica urbana. Existe una amplia discusión en relación con el uso correcto de “indígena”. El Dr. Horacio Larrain B. contribuye a la discusión en su artículo *¿Pueblo, Etnia o Nación? Hacia una clarificación antropológica de conceptos corporativos aplicables a las comunidades indígenas* en relación con el término comunidad indígena: “Independientemente de que nos podamos referir a ellas con ese concepto o como grupos etnoculturales, intervienen elementos distintivos según Larrain: a) Un origen racial indígena. b) Una lengua común. c) Expresiones culturales comunes. d) Un territorio que usan en común. e) Auto-conciencia de su identidad. f) Tendencia a la endogamia étnica y g) Conservación de expresiones artísticas y artesanales propias de la etnia” (Larrain, 1993:50).

En la conceptualización de las comunidades indígenas también rige un elemento importante: la auto-configuración que hacen los grupos en relación a la percepción que tienen de sí mismos. Existe una configuración local que se da en las comunidades ubicadas en zonas rurales, que permite la configuración del hábitat respecto a los modos de vida que establecen los habitantes como son: la vestimenta, vivienda, el manejo de recursos, los modos de organización social, entre otros, son factores que permiten la conformación de la comunidad.

La relación del agua con la comunidad en las localidades indígenas suele corresponder con las actividades productivas que se desenvuelven en la región. El campo es el gran distintivo entre lo urbano y lo rural pero además de eso otros factores contribuyen a que la relación sea más profunda. Las cosmovisiones o festividades en relación con el agua representan en muchas culturas y comunidades un modo de relacionarse con el recurso que va más allá de cubrir ciertas necesidades de servicios básicos; se convierte en una estrecha relación de respeto y armonía con la naturaleza.

Dentro de las comunidades indígenas, se genera la organización comunitaria. “La organización comunitaria es un reto que busca fortalecer la autonomía moral (en los individuos) y la autonomía social (en los colectivos) como base indispensable para el desarrollo” (Huerta et al., 2008:49). En la comunidad Apantzingo, así como en otras comunidades, se organizan socialmente en equipos comunitarios conformados por promotores campesinos e indígenas y un coordinador de zona.

Los grupos comunitarios son conformados por los habitantes de la comunidad. Dentro de los procesos organizativos y de gestión, existen comités que son configurados por elección de las personas de la comunidad y realizan actividades como convocar reuniones, organizar a los habitantes, acompañar a los promotores en la realización de comparas de materiales para proyectos y dar seguimiento a los proyectos realizados (Huerta et al., 2008:89).

La organización social estructurada en grupos y equipos comunitarios es una vía para el acceso necesario de recursos y medios para habitar. El agua puede representar una relación cordial entre grupos comunitarios y el recurso, pero también una disputa territorial para ganarlo. Por eso la importancia de tener bases sólidas de organización comunitaria para lograr adquirir el recurso hídrico sin pasar por encima de las causas que llevan a otras personas o comunidades a buscar lo mismo.

La permacultura es un término establecido por Bill Mollison y David Holmgren en el año 1978 para describir un Sistema integrado y evolutivo. Lo establecen como: “El diseño consciente de paisajes que imitan los paisajes y las relaciones de la naturaleza, mientras suministran alimento, fibras y energía abundantes para satisfacer las necesidades locales; las personas, sus edificios y el modo en que se organizan a sí mismos son fundamentales en permacultura” (Holmgren, 2002). Se le conoce también como cultura permanente o sostenible y es que a partir de las interacciones entre las personas y su entorno se pueden identificar variables que permitan incidir en él, con un beneficio bilateral entre ser humano y

entorno. La Permacultura se forma a través de principios establecidos relacionados con la ética y el diseño, así como principios enfocados en el ámbito crítico del manejo y administración de la tierra y naturaleza. Evoluciona hacia la aplicación progresiva de esos principios con la integración de siete ámbitos necesarios para sostener a la humanidad durante el declive energético: Entorno construido, Herramientas y Tecnología, Cultura y Educación, Salud y Bienestar Espiritual, Finanzas y Economía, Tenencia de la tierra y Gobernación Comunitaria y por último: Administración de la tierra y la naturaleza. (Holmgren, 2008). Es una vía para



Figura 3. Flor de la Permacultura. Las Cañadas, 2022

proyectar con conciencia ecológica en nuestro entorno. Si bien tiene muchas vertientes, se pueden aprovechar las que mejor convengan para cada innovación que se desee hacer.

Los siete ámbitos de la permacultura y los temas claves relacionados con éstos, son temas que requieren de una transformación para crear una cultura que se base en la integración del pensamiento y el diseño a partir de diferentes disciplinas y con una visión integral. Una perspectiva de diversidad permite entender que todos los seres estamos enlazados a otros igual que los animales y las plantas, el suelo y el agua. La idea tras los principios de la permacultura es que los principios generales pueden derivarse del estudio del mundo natural y de las sociedades preindustriales sostenibles y que pueden aplicarse universalmente para acelerar el desarrollo del uso sostenible de la tierra y los recursos, tanto en contextos de abundancia ecológica y material como en contextos de carencia y privación (Holmgren, 2008).

En el año 2002, David Holmgren realizó la definición de los principios de la Permacultura. La idea tras los *principios de la permacultura* es que los principios generales

pueden derivarse del estudio del mundo natural y de las sociedades preindustriales sostenibles y que pueden aplicarse universalmente para acelerar el desarrollo del uso sostenible de la tierra y los recursos...el proceso de proveer a las necesidades humanas dentro de los límites ecológicos requiere de una revolución cultural

(Holmgren, 2007:7). Asoció cada principio con un ícono y una frase que lo identifica. Existen 12

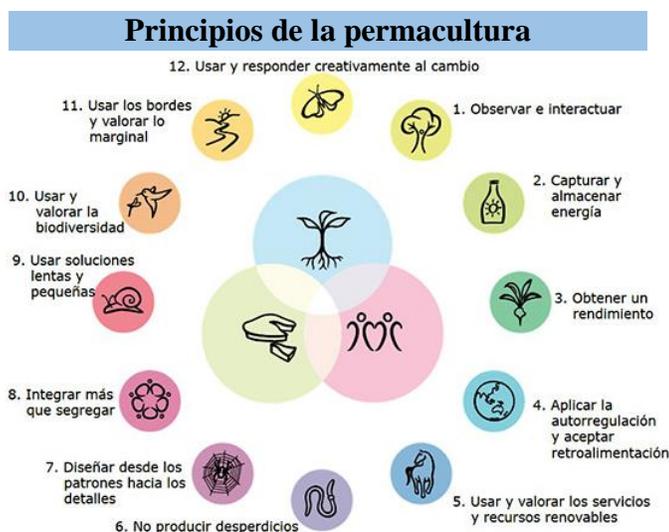


Figura 4. Principios de la permacultura. Las Cañadas, 2022

principios permaculturales; los principios éticos son tres y se enfocan en el Cuidado de la Tierra, Cuidado de las Personas y Repartición justa, así como la redistribución de los excedentes. Estos principios ejercen una práctica comunitaria y ética en el diseño de Sistemas. Los principios de diseño provienen del modo de percibir el mundo, de la observación de los patrones de la naturaleza y sus detalles y parten de la premisa de mantener una relación libre y armoniosa de la naturaleza con las personas. Los principios éticos se establecen con la intención de restricción al instinto humano de destrucción y de querer controlar todo, incluida la naturaleza.

Para esta investigación *se decidió trabajar con seis de los doce principios de la permacultura en la aplicación de la metodología*. La razón por la cual no se adopta integralmente la propuesta de la permacultura y sus 12 principios es porque este estudio está enfocado principalmente en el manejo del agua y por eso se toman los seis principios que se considera empatan más con el manejo del recurso hídrico y sus interacciones sociales. Además, así de flexible es la permacultura, al permitir aplicar uno o todos sus principios. A continuación, se exponen los principios que se van a emplear y la razón de su uso.

Principios de la permacultura aplicados en la investigación



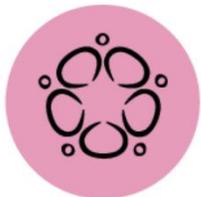
2. Captura & guarda energía
"Seca el pasto mientras que brilla el sol"



5. Usar & valorar los servicios & recursos renovables
"Dejemos que la naturaleza siga su curso"



7. Diseño de los patrones a los detalles
"El árbol no deja ver el bosque"



8. Integrar más que segregar
"Muchas manos aligeran el trabajo"



9. Usa soluciones lentas pequeñas
"Cuanto más grandes, más dura la calda."
"Lento y seguro se gana la carrera"



12. Usa y responde creativamente el cambio
"La visión no es ver cosas como son sino como serán"

Principio 2

El principio "Captura y guarda energía" se refiere a la captación y uso de energías. Se aplica con la captación y almacenamiento de agua de lluvia y la combinación con depósitos de almacenamiento como estanques.

Principio 5

"Usar y valorar los servicios y recursos renovables". Nos recuerda que el control de la naturaleza a través del uso excesivo de recursos afecta negativamente. Se puede aplicar con el uso de materiales de la región.

Principio 7

"Diseño de los patrones a los detalles". La observación de lo general a lo particular permite ver toda la trama. El principio aplica para la lectura del paisaje a través de sus formas y así, diseñar armoniosamente

Principio 8

"Integrar más que segregar" nos recuerda que cuando se trabaja en equipo, la carga se aligera. Aplica para brindar soluciones a nivel comunidad y con trabajo participativo.

Principio 9

"Usar soluciones lentas y pequeñas" nos permite relacionarnos a los grupos sociales, reflexivamente con la naturaleza. El crecimiento excesivo trae consigo desventajas considerables.

Principio 12

"Usa y responde creativamente al cambio". La adaptación a los cambios nos permite ser resilientes, como la naturaleza. Aplica como adaptación al cambio climático y las soluciones que se pueden

La permacultura es un ejemplo de cambio de paradigma. Looby Macnamara refiere en su libro *La Gente y la Permacultura*, que tendríamos que elaborar un pensamiento a largo plazo y cambiar de paradigma para adoptar uno cuyas bases sean la conexión, la paz y la abundancia (Macnamara, 2019:199). El cambio de paradigma nos conduce a integrar en lugar de segregar y nos invita a adoptar la cultura permanente de sostener los sistemas agrícolas con transformaciones profundas, bajo una óptica sistémica. Karen O'Brien en el prefacio del libro *Permacultura y Adaptación al Cambio Climático*, nos introduce al tema y apunta a la Permacultura como un movimiento dinámico, holístico, autoorganizado y materializado fuera del discurso del campo de la sostenibilidad que lucha por afrontar el cambio climático desde un paradigma obsoleto (Henfrey et al., 2018:11). La Permacultura adopta una postura holística que plantea escenarios de Sistemas Complejos Abiertos susceptibles a los cambios y transformaciones con su entorno, pero también de componentes y relaciones entre ellos. En la Permacultura no se puede concebir una parte del Sistema sin la relación que tiene con los demás componentes. David Holmgren establece a esta relación como *La Red*; es una red de individuos y grupos que extienden soluciones de diseño permacultural. Estas relaciones se dan también al momento de diseñar bajo principios de la Permacultura. *El principio 7: Diseño de los patrones a los detalles*, tiene como ícono una araña en su telaraña. El ícono evoca la planificación por sectores y zonas. Lo mismo sucede en la red de las personas y el enfoque holístico. La conexión entre componentes va desde los materiales de construcción que se emplearán, la Educación, los Partos en casa, las Cooperativas comunitarias, entre otros elementos que tejen la red sobre la que se sustenta el desarrollo de la Permacultura permitiendo así la comprensión compleja del Sistema.

La permacultura muestra un interés en las culturas indígenas que han existido en un balance de armonía con su entorno, pero han sufrido intervenciones que afectan el manejo de sus recursos y no satisfacen sus necesidades. La permacultura puede fungir como elemento de reconexión entre los esquemas sociales indígenas y su relación con la naturaleza.

La permacultura actúa como respuesta a las variaciones que el cambio climático representa, funge como una *adaptación al cambio climático* y lo hace desde una nueva perspectiva, o bien: desde un nuevo paradigma. “Este movimiento es dinámico, holístico, autoorganizado y se está materializando fuera del discurso imperante en el campo de la sostenibilidad, que lucha por afrontar el cambio climático desde un paradigma obsoleto” (O

Brien, 2018). Y es que si es necesario desarrollarnos en un medio sostenible; pero el problema es que la sostenibilidad lo hace apostando por “continuar” en lugar de “frenar”.

El cambio climático se desenvuelve de manera global afectando a poblaciones, especies animales, especies de fauna, especies micóticas e incluso el balance de los Sistemas de nuestro planeta. Uno de ellos, que se ha visto fuertemente afectado es el sistema hidrológico ya que las variaciones pluviométricas son parte del mismo ciclo de efecto invernadero, deshielo, inundaciones y alteraciones del suelo pues todo es parte del mismo ciclo, todos somos parte del mismo ciclo. James Lovelock menciona que hace falta una retirada sostenible; en este sentido, además de lograr que el desarrollo sea sostenible; se debe reinterpretar la idea de sostener basándose no solo en el desarrollo, también en la restauración y renovación de nuestro medio natural y en el retiro de prácticas que no contribuyen a mantener una relación sostenible de los seres vivos, seres humanos y el medio natural.

Thomas Henrey nos dice en su libro: *Permacultura y adaptación al cambio climático*, que: “A medida que se va entendiendo mejor el significado del cambio climático, se difunde la visión de que las respuestas a este llevarán aparejada una transformación de las relaciones de la humanidad con la naturaleza” (Henfrey et al., 2018:19) y es que estamos acostumbrados a tener una relación de dominio hacia la naturaleza, una relación de explotación y de antropocentrismo que ha generado las consecuencias globales por el cambio climático.

Pero, así como existen consecuencias globales, las consecuencias locales también son importantes de ver ya que son asimétricas. No ocurre lo mismo respecto al calentamiento global en un sitio geográfico, en relación con otro. Muchas sociedades indígenas padecen las consecuencias de los efectos del calentamiento global y las capacidades de respuesta a los cambios suelen estar mermadas debido a las condiciones sociales y naturales de las comunidades. En ese sentido incide la permacultura para otorgar bases y respuestas para diseñar sistemas naturales donde los humanos podamos desarrollarnos pero de manera ética e “implementar respuestas holísticas al cambio climático” (Henfrey et al., 2018:23)

Existen estrategias que sigue la permacultura para lograr el *manejo del agua* debido a la importancia que tiene el recurso en todos los ciclos de la vida. Holzer, agricultor, autor y consultor de Permacultura, se refiere al agua como la sangre de la tierra (Holzer,2015:31) ya que el agua no solo representa una contribución nutricional para los seres humanos, plantas y animales, también lo es para el suelo. En el ciclo del agua el suelo tiene un papel muy

importante ya que es el medio para la infiltración, pero además de esta postura que conocemos universalmente bajo el esquema de ciclo hidrológico, el suelo funge como órgano de almacenamiento del agua e irriga agua a todas las partes del suelo. Los órganos de almacenamiento son los mantos acuíferos subterráneos y cuando un Sistema se encuentra en equilibrio, hay conductos que llevan agua hasta los poros más pequeños del subsuelo. La impregnación en suelos humus sanos, es hasta del 90%. La humedad protege a los suelos contra incendios y genera una Tierra fértil. La renaturalización que plantea Holzer, busca devolverle al suelo la humedad para que continúe siendo un ser vivo y permita las relaciones simbióticas de la naturaleza. Cuando un suelo está húmedo las raíces se adentran y airean el suelo, lo mantienen flojo y de esa manera continúa siendo un suelo permeable para almacenar el agua de lluvia. La regeneración de raíces genera la biomasa humus que sirve de alimento a plantas y organismos del suelo. Los organismos del suelo lo aflojan y aumentan su capacidad de almacenamiento, se genera un crecimiento abundante de plantas que protege suelo y clima. El problema es que nuestra tierra ya no está bien irrigada ya que sufre una enfermedad. Lovelock se refiere a la enfermedad de la Tierra como el calentamiento; Holzer la diagnostica con otra enfermedad, que no deja de lado la del calentamiento, y es que no irriga sangre, es decir: agua. La tierra pide ayuda a gritos, gritos que llamamos desastres naturales (Holzer,2015:32).

Al ser el elemento más vital de todos, nuestra relación con el agua debe ser más estrecha y amable. Holzer menciona en su texto *“Renaturalización”* que: “Si queremos recuperar el balance hídrico en el cuerpo del suelo, evitar los desastres y hacer que se revierta la desertificación y las inundaciones; si queremos tener agua sana y con vida para beber, tenemos que aprender a cooperar con el agua” (Holzer,2015:35).

Para la recuperación del balance hídrico, Holzer propone crear depósitos de agua al aire libre constituidos por estanques, lagos naturales y acequias, creando áreas de retención de agua para que la flora y fauna de desarrollen e inicie el proceso de recuperación del suelo. Además, fungen como área de captación de agua de lluvia y escurrimientos. En los estanques se puede incorporar fauna acuática para alimentación y generación de movimiento de agua y otros estanques se pueden destinar como depósito de almacenamiento de agua para dirigirla a los cultivos.

Las indicaciones generales para la creación de las áreas de retención de agua se enlistan a continuación: 1) El área de retención se distribuye por todo el terreno. 2) Usar las diferencias de altura del terreno para constituir zonas profundas y someras de área de retención de agua. 3) Construir como lo hace la naturaleza, que se perciba natural. 4) Ubicar calles y casas en las laderas. 4) Permitir tres tipos de movimiento del agua: serpentear, orientar con el viento para oleaje y tener zonas someras y profundas para que el agua pueda girar. 5) Diversidad de plantas, alturas y seres vivos. 5) No impermeabilizar con concreto, se requiere que parte del agua se infiltre en el suelo. 6) No construir en pendientes pronunciadas. 7) En un paraje acuático formado por varias áreas de retención, los cuerpos se comunican subterráneamente; así debajo de ellos se forma un depósito de agua y cuando se recupera el balance hídrico, en verano el nivel no desciende demasiado. 8) Desarrollo de vegetación. (Holzer,2015:54).

Las curvas de nivel juegan un papel importante ya que la naturaleza nos da los elementos naturales para retención de agua. Hacer una correcta lectura de curvas de nivel, nos permite ver las ubicaciones idóneas para la ubicación de áreas de retención de agua.

En la permacultura, es indispensable el buen manejo del agua pues esto nos permite además de tener acceso al recurso, un adecuado uso para la agricultura y suelos estables. Según Mars, hay cuatro aspectos a tener en cuenta: la conservación del agua, el sistema de irrigación, la reutilización de aguas grises y la recogida de agua de lluvia (Mars, et al., 2021).

La conservación del agua nos enseña a minimizar el consumo y maximizar su eficiencia por medio de estrategias que se aplican principalmente en la agricultura; la reutilización de aguas grises consiste en limpiar y reutilizar los efluentes domésticos de agua jabonosa que se puede emplear en el riego o limpieza. Las aguas negras contienen materia fecal y por lo mismo no se pueden reutilizar, pero si se pueden depurar y devolver al subsuelo por medio de fosas sépticas o campos de oxidación.

Una de las estrategias clave en la acuicultura es la recolección de agua de lluvia. La cantidad de agua de lluvia posible de recolectar se calcula en función de la suma de agua de lluvia de los días en que más llueve y los coeficientes de escurrimiento de la superficie que la recolecta. El tamaño del depósito se mide con base en las fechas en que no llueve en la comunidad y el gasto diario requerido por los habitantes de una vivienda. A partir de la acumulación de agua de lluvia, con procesos primarios de filtrado de agua, se puede destinar

para un uso doméstico. De esa manera se satisfacen las necesidades hídricas aún en meses con escasas lluvias y no se depende de redes de tuberías que otorgan un abastecimiento irregular del recurso en comunidades con características como Apantzingo.

3. Marco metodológico

La metodología propuesta para la investigación es de elaboración propia, se aborda con un enfoque mixto; es decir, implica la recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos con base en Roberto Hernández Sampieri y su texto: “Metodología de la investigación” (Hernández Sampieri et al., 2014). La intención de analizar con el método cuantitativo es cuantificar variables e indicadores de la población como son la edad y ocupación; y de las instalaciones hidráulicas de la vivienda con indicadores como: material de cubiertas, tipo de abastecimiento, tipo de baños, entre otros. El método cualitativo se emplea para indagar en el fenómeno social a través de las cualidades de sus individuos y la sensibilización con el ambiente. Se interviene en el contexto social para obtener datos subjetivos como su opinión en relación con el agua, antecedentes históricos del acceso al agua y su opinión respecto a la aceptación para implementar un sistema integral para el manejo del agua.

El diseño de investigación es descriptivo transversal no experimental, con base en Roberto Hernández Sampieri (Hernández Sampieri et al., 2014). La transversalidad consiste en realizar la recolección de datos en un solo periodo de tiempo, es decir: una visita de campo que se llevó a cabo en un solo periodo de tiempo. La investigación no experimental en la ruta cuantitativa es: “La investigación que se realiza sin manipular deliberadamente las variables” (Hernández Sampieri et al., 2014).

La metodología consiste en los pasos establecidos en la figura 6

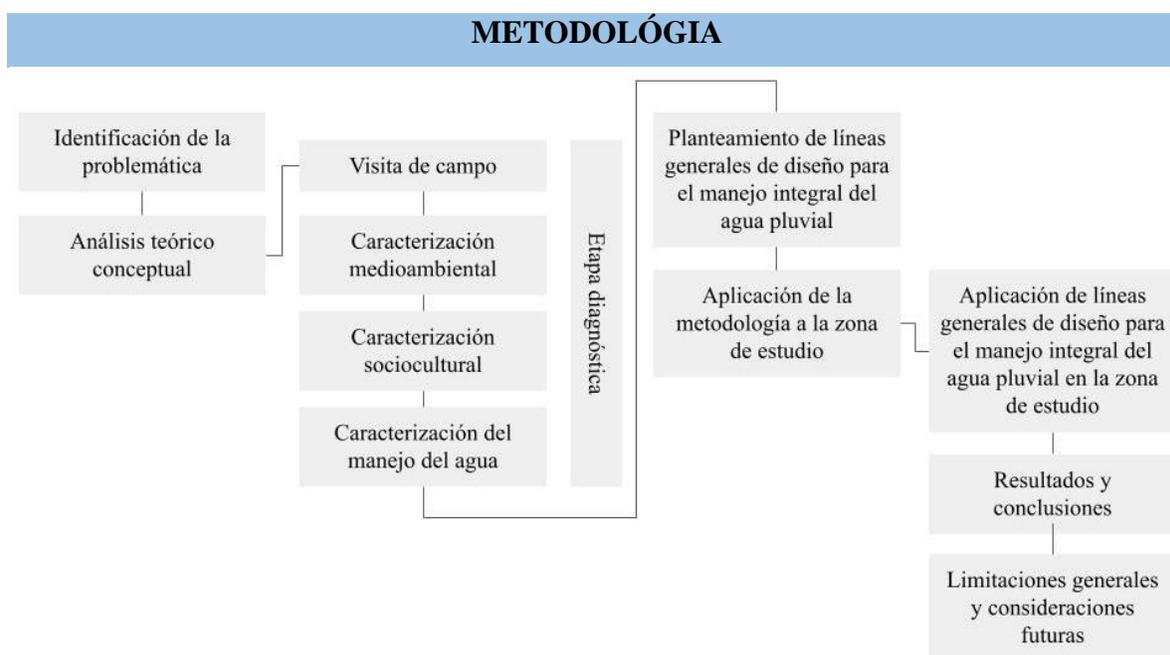


Figura 6. Metodología. Elaboración propia

Primero **(1)** se identificó la **problemática** que envuelve a la comunidad de estudio a partir de una visita previa hecha a la comunidad como parte de una práctica académica universitaria; se indagó más en plataformas virtuales e indicadores de la plataforma de INEGI y en la visita de campo se complementó la identificación de la problemática relacionada con aspectos socioeconómicos y geomorfológicos que contribuyen a la irregularidad de acceso al recurso.

Se realizó un **análisis teórico (2)** para comprender la problemática a partir de un enfoque teórico, así como la conceptualización de los conceptos más relevantes respecto a la investigación. Se abordaron teóricas para comprender los cambios de paradigma, los sistemas complejos abiertos, el deterioro medioambiental, las escuelas ecológicas y discusiones teóricas respecto al manejo de recursos. Se definieron los conceptos clave para la investigación y se identificó a la disciplina de la permacultura. Se estudió el origen de la disciplina y los conceptos éticos y de diseño que la conforman, así como las estrategias que emplea para el manejo del agua.

Se realizó un diagnóstico de la comunidad de estudio que inició con la **vista de campo (3)** al sitio; previo a la visita, se generó un enlace con la asociación civil que tiene contacto con la comunidad de la zona de estudio. Se planificó la visita y se diseñaron los instrumentos de recolección, a fin de obtener datos medioambientales y socioculturales y datos con relación al manejo del agua en la comunidad. Así como, corroborar cuál era la problemática respecto al agua. Otros de los objetivos que se establecieron para la visita, fueron generar levantamientos fotográficos de la comunidad a fin de generar un archivo fotográfico para documentar la visita. Se identificó el universo a estudiar y se calculó la muestra representativa.

Se conformó un equipo con compañeros del posgrado y se asignaron actividades a cada uno de los integrantes. Al llegar a la zona de estudio se acudió con el promotor comunitario de la asociación civil que se encargaba de la comunidad de estudio, quien fue el enlace para poder acceder a la comunidad y lograr los objetivos planteados. Posteriormente se realizó una presentación con la comunidad y se explicó cuál era el objetivo de la visita y la investigación para obtener permiso de acudir a sus viviendas y realizar el levantamiento fotográfico y la aplicación de cédulas y entrevistas.

Se visitaron las viviendas, se observaron los hábitos respecto al uso del agua, las instalaciones hidráulicas, la conformación espacial y materiales de las viviendas y se levantaron las encuestas con los habitantes.

Integrantes de la comunidad guiaron una caminata donde se identificaron los cuerpos de agua de la comunidad y las conexiones hidráulicas. Se obtuvieron muestras de agua de pozas y de las viviendas que se analizaron en campo con tiras reactivas de agua para obtener indicadores del recurso y posteriormente fueron analizados por una bióloga. Durante la caminata se realizaron levantamientos fotográficos aéreos con un dron y levantamientos fotográficos de la comunidad.

Finalmente se aplicaron entrevistas a dos promotores comunitarios: uno de la comunidad de estudio y otra persona de una comunidad aledaña para obtener datos en relación con la gestión de recursos en la comunidad, los programas gubernamentales en que están inscritos y los apoyos que reciben los habitantes, así como las formas de organización social.

A partir de los datos adquiridos en campo y gabinete, se realizó una **caracterización medioambiental (4)** de la comunidad. La *caracterización medioambiental* consistió en obtener los datos del medio natural al iniciar con la identificación de la cuenca hidrográfica y la subcuenca que se estableció como unidad de análisis ambiental. Se reconoció el número de identificación INEGI, la extensión, tipo de subcuenca y afluente, así como sus vulnerabilidades.

A partir de la identificación de la subcuenca, se localizó geoespacialmente a la zona de estudio y se identificaron sus coordenadas, se trazó la poligonal de la comunidad, se identificó la clave de la localidad INEGI y se identificaron y descargaron las dos cartas topográficas donde se localiza la zona de estudio. Se realizó lectura de curvas de nivel ya que se insertaron los archivos *shape* de las cartas topográficas, descargados de la base de datos del gobierno, en un sistema de información geográfica llamado *GoogleEarthPRO* y posteriormente se trazaron en el programa de diseño asistido por computadora *AutoCAD*. Se indagó en la geomorfología y edafología que compone el suelo; así como el uso de suelo. Posteriormente, se realizaron perfiles de elevación en la plataforma de *GoogleEarthPRO* a fin de observar la diferencia de niveles en rangos establecidos; así como las pendientes

máximas y mínimas del terreno sobre un eje trazado en dirección Norte-Sur y otro en dirección Este-Oeste.

Se descargó la extensión *kmz* del sitio electrónico de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), se insertó en la plataforma *GoogleEarthPRO* y así se identificó la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio para realizar la lectura de datos climáticos con antigüedad de 10 años. Se obtuvieron datos de climáticos medios y anuales de indicadores como precipitación pluvial y evaporación. Así como máximas y mínimas de temperatura y meses de lluvias y sequías. Se utilizó la clasificación Köpen para reconocer el tipo de clima.

En el campo hidrológico, a partir de la identificación de la subcuenca, se utilizó el simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL) y así se lograron visualizar los escurrimientos en la zona de estudio y se generó un mapa de ellos en la misma plataforma.

Se generó la rosa de vientos de la zona de estudio en la plataforma virtual *Meteoblue*, donde se pudo leer la dirección proveniente de los vientos dominantes y las velocidades máximas y mínimas de ellos.

Se generaron las gráficas solares en la plataforma virtual *SunEarthTools* donde se ingresaron datos de la zona horaria y los solsticios de invierno y de verano para obtener el recorrido solar gráfico, así como la elevación y azimut en las fechas establecidas.

La flora y fauna de la zona de estudio se identificaron gracias a la colaboración de los habitantes de Apantzingo ya que no existe información respecto a ella en fuentes de información de datos con consulta virtual.

Al abordar el asentamiento humano, se generó una y una **caracterización sociocultural (5)** de la comunidad y se indagaron los indicadores demográficos obtenidos de la base de datos de INEGI y la visita de campo, como son: número de habitantes y tipo de población, sexo, miembros por familia, actividades productivas, modos de organización social, tradiciones respecto al agua y datos históricos y socioculturales respecto al recurso y se observaron los indicadores respecto al acceso a servicios que tienen en la zona de estudio.

Se identificó la tipografía que siguen las viviendas de la comunidad, la conformación espacial de los lotes y las viviendas y la infraestructura con que se cuenta para realizar las actividades domésticas y productivas.

Se reconocieron las actividades productivas que realizan en la comunidad; así como las actividades agrícolas y ganaderas que ejercen.

Se observaron los tipos de organización comunitaria y se identificó a la asociación civil que auxilia a los habitantes de la comunidad de la zona de estudio a adquirir apoyos gubernamentales y de otras instituciones. Se describió a la asociación civil, así como los procesos en los que interviene con los habitantes.

En la visita de campo se adquirieron datos culturales en relación con el agua como son las creencias y festividades que celebran para el recurso hídrico. Y también datos históricos y de antecedente a la forma en que hoy se maneja el agua en la zona de estudio.

También se realizó una **caracterización del manejo del agua en la comunidad (6)** donde se identificaron los usos del agua en la comunidad. Durante la visita de campo se observaron prácticas que se realizan en la comunidad para el abastecimiento del agua y se documentaron. Se realizó la generación de un plano en el programa *AutoCAD* con la inserción de imágenes satelitales obtenidas de *GoogleEarthPRO* y se intervinieron para mostrar la infraestructura hidráulica actual de la comunidad y los cuerpos de agua de donde se abastece agua para las viviendas. Se trazaron las curvas de nivel, los cuerpos de agua, las viviendas y las conexiones para reconocer la distancia que existe entre los cuerpos de agua y las viviendas y se identificaron las especificaciones técnicas como material y diámetros de instalaciones.

Se generó un plano de perfiles de elevación para ver en alzado los tramos que recorren las instalaciones hidráulicas en la comunidad y se obtuvieron datos de diferencia de niveles, pendientes promedio y pendientes máximas.

Se abordaron los hábitos que se dan en la vivienda en torno al agua, los cuerpos de almacenamiento que tienen dentro de la vivienda y el manejo que hacen del agua. Se analizaron las instalaciones hidráulicas actuales y se realizó levantamiento fotográfico de ellas. Se observó como se realiza actualmente la captación pluvial y el uso que se da al recurso.

Con las encuestas se obtuvieron datos de antecedentes, históricos y de festividades en relación con el recurso que ayudan a comprender el manejo actual del agua. También se logró la identificación y análisis de indicadores de calidad del agua por las muestras obtenidas en campo.

Posterior a la visita de campo, se llevó a cabo la **sistematización de datos (7)**, donde se ordenaron y clasificaron siguiendo principalmente dos perfiles: los de aportación a los datos medioambientales y los de aportación a los datos socioculturales. Se generaron archivos fotográficos, se ordenaron los datos obtenidos en las encuestas y posteriormente se generó el **análisis de datos (8)** que consistió en la exploración de los datos para obtener conclusiones y por lo tanto, una caracterización y diagnóstico de la comunidad. El análisis de datos se realizó con la ayuda de programas computacionales como: *GoogleEarthPRO*, diseño asistido por computadora (*AutoCAD*), procesador de datos y palabras (*Excel/Word*), plataformas de bases de datos del INEGI, CONAGUA y herramientas como *SunEarthTools* y *Meteoblue*.

Se establecieron las **estrategias y líneas generales de diseño (9)** para el manejo del agua en la comunidad de estudio, con base en conceptos establecidos en el marco conceptual y se realizaron esquemas para comunicar las líneas de diseño propuestas. En el capítulo 5 se desarrolló la **aplicación de la metodología** en la zona de estudio para comprender cuáles son las eficiencias y limitaciones del sistema propuesto. **Se aplicaron las estrategias y líneas generales de diseño (10)** a la zona de estudio, donde se supone el comportamiento más real respecto a las características reconocidas de la comunidad.

A partir de la aplicación de la metodología, se obtuvieron **conclusiones** que se abordaron en un apartado posterior, así como las **limitaciones generales y consideraciones futuras** de la investigación. A continuación, se añade un apartado para describir las estrategias y líneas generales de diseño que se proponen y en el siguiente capítulo se podrá ver su aplicación en la zona de estudio.

Planteamiento de líneas generales de diseño para el manejo integral del agua pluvial

Las **estrategias y líneas generales de diseño (9)** que se proponen para contribuir con un buen manejo del agua pluvial. Algunas de estas estrategias proveienen de la permacultura, otras de disciplinas como la hidráulica o de conocimientos ancestrales. La incorporación de todas, permite implementar técnicas para un manejo integral. Primero se describen las estrategias y posteriormente se aplican en la comunidad de Apantzingo.

En la permacultura existen *estrategias de diseño* que abarcan muchas áreas de interés para el cuidado de las personas y de la tierra. En esta sección únicamente se describirán las que inciden de forma indirecta pero importante en el manejo del agua. Algunas se desarrollaron antes que la permacultura, pero la disciplina las adoptó como parte de su manejo integral y las propone de la siguiente manera: la zonificación por sectores y zonas, el diseño a partir del análisis del recorrido solar, las trampas de sol que fungen también como barreras contra viento. La zonificación se hace a través de un “**Diagrama de sector**” que se conforma de seis sectores.

Diagrama de sectores

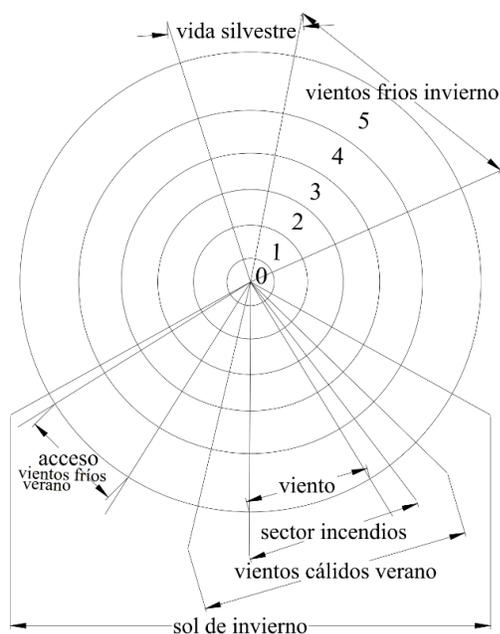


Figura 7. *Diagrama de sectores*. Elaboración propia con base en Granja Escuela la Ilusión, 2022

Al identificar el tipo, la intensidad y la dirección de los efectos externos podemos incluirlos en las decisiones que tomemos sobre el diseño de manera que podremos minimizar o maximizar su impacto (Morrow, 2018:140). El primer sector es el de peligro de fuego; identificarlo sirve para ubicar en ese sector los componentes menos combustibles. Segundo: Vientos fríos, en esta zona deberán ubicarse las especies que son menos susceptibles a las heladas. Tercero: Vientos calientes, salinos o polvorientos. En este sector deberán bloquearse los componentes que no deban tener una exposición directa a este tipo de vientos. Cuarto: Bloqueo de paisaje. El propósito de este sector es bloquear la vista indeseada con componentes más altos. El quinto sector es el de los ángulos solares en invierno y verano lo

que permitirá tener cultivos estacionales. El penúltimo sector es el de estanques y depósitos de agua; se debe planificar correctamente su orientación para tener una conducción y uso adecuado del agua. Finalmente, el séptimo sector es el de áreas susceptibles a inundación; deberá estar lejos de la vivienda y especies susceptibles.

Otra de las estrategias para iniciar la zonificación para el diseño integral, es el **“Diagrama de zonas”**. Éste se conforma de seis zonas que inician en la zona cero hasta llegar a la cinco. La representación gráfica del diagrama se hace con seis círculos concéntricos donde se realiza la zonificación, pero no implica que se deba zonificar de esta manera en el terreno real ya que puede realizarse el diseño concéntrico, o pueden colocarse las zonas donde mejor convenga; la intención de las zonas es agrupar a los elementos que contiene de acuerdo con sus necesidades energéticas (Permamed.org). De esa manera la zona central del círculo tendrá a su alcance a los componentes del sistema con mayores demandas energéticas y por eso se ubican ahí la vivienda y las personas y se llama zona 0. La zona 1 se compone de elementos con visitas frecuentes como el huerto. La zona 2 suele destinarse al cultivo semi – intensivo de alimentos como huertos más grandes e invernaderos donde la visita es menos frecuente que en los ubicados en la zona 1. La zona 3 es una zona de visita ocasional donde se ubican árboles frutales y frutos secos, animales de pastoreo y cultivos más grandes. A la penúltima zona se le dedica un cuidado mínimo: se hace recogida de alimentos silvestres, pastoreo y actividades como tala de árboles. Finalmente, la zona 5 es una zona sin necesidad de gestión; zona desértica que puede reforestarse y dejarla en su estado natural.

Diagrama de zonas

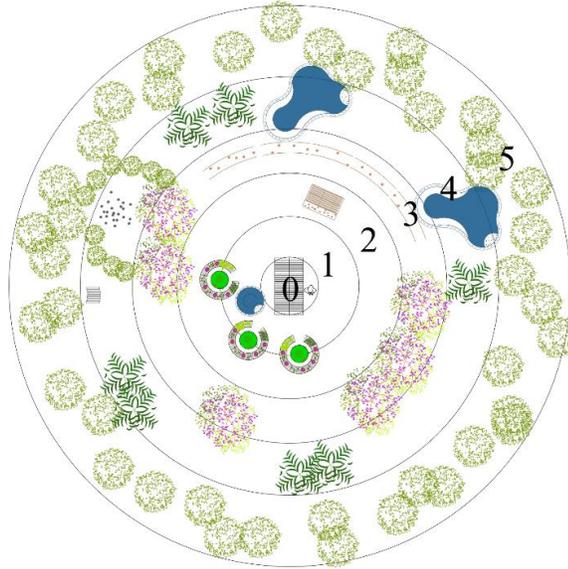


Figura 8. *Diagrama de zonas*. Elaboración propia con base en Morrow, 2018

El “**Análisis del recorrido solar**” es un análisis que se ha hecho desde la antigüedad; muchas de nuestras culturas prehispánicas se basaban en la lectura de los cosmos para orientar las construcciones y cultivos. Al realizar la lectura solar, es indispensable indicar donde se encuentra el Norte en la gráfica. El siguiente es un ejemplo de como se debe abordar.

Recorrido solar

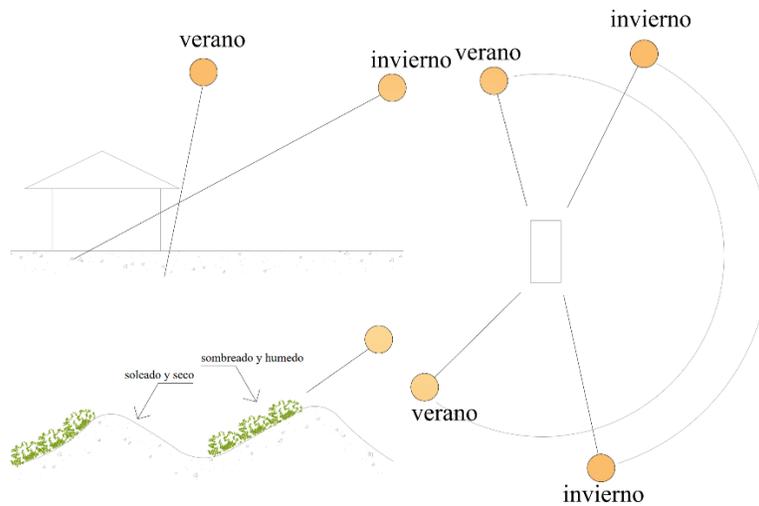


Figura 9. *Recorrido solar*. Elaboración propia con base en Granja Escuela la Ilusión, 2022

El análisis solar se emplea en la permacultura con la intención de elegir los elementos necesarios como especies de árboles caducifolios o perennifolios y proteger con ellos los cultivos o la vivienda. Los ángulos solares como el cenit y azimut son auxiliares en las lecturas de recorridos y de esa manera orientar adecuadamente los componentes del sistema. Cuando se conoce el recorrido y desea obstruirse la incidencia solar, se puede hacer mediante barreras vegetales con especies de árboles que permitan obstruir el ángulo de incidencia indeseado. Dentro del campo de la permacultura, se identifican como: “*Sun Trap*” o “**Trampas solares**” y se realizan mediante la colocación de árboles que siguen en el terreno la forma de la letra U y de esa manera fungen como barrera solar. También funcionan como barrera de vientos para evitar las heladas en los cultivos; se puede lograr al colocar especies más pequeñas intercaladas entre los árboles.

Trampa solar



Figura 10. *Trampa solar*. Elaboración propia con base en Morrow, 2018

Existen muchos otros elementos a tomar en cuenta en el diseño de sistemas que se fundamentan en la permacultura; se mencionaron los más relevantes en la aplicación de cualquier sistema. En el siguiente apartado se mencionan los que están directamente relacionados con el manejo del agua.

En la permacultura se han desarrollado *estrategias para regular el movimiento del agua* a través de una finca o terreno, bien mediante procesos mecánicos controlados o aprovechando los flujos naturales a través del suelo y la vegetación (Henfrey et al.,) una de esas estrategias consiste son las “**Líneas Clave**”, concepto que desarrolló P.A. Yeomans a mediados de los años 50. El objetivo de trabajar con la línea clave es aumentar la fertilidad del suelo, mejorar su estructura y retener el agua en el sistema lo máximo posible (Mars et al., 2021).

Líneas clave

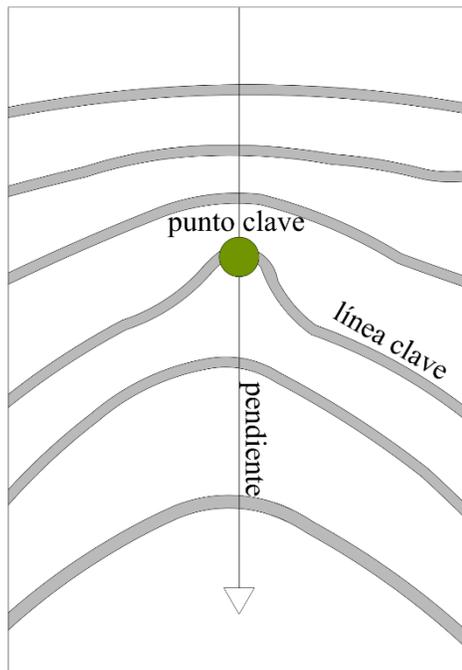


Figura 11. *Líneas clave*. Elaboración propia con base en *Lineas Clave KeyLine*, 2022

La identificación de líneas y puntos clave se hace en el paisaje y se auxilia de la lectura de curvas de nivel. Los puntos clave son puntos del valle en el que si nos movemos cuesta abajo, la parte más inclinada de la pendiente se aplana en la línea central del valle. Ahí se puede establecer el inicio de un arroyo para recolectar el agua de lluvia. La línea clave es

una línea que pasa por el punto clave. A ambos lados de la línea clave se observarán cambios de pendiente y la línea clave termina cuando el contorno cambia de dirección al principio de otra cadena montañosa; es la parte más inclinada de la pendiente (Mars et al., 2021). Una vez que se localizan y marcan los puntos y líneas clave, se podrá cultivar el suelo alrededor de ese contorno, se sitúan canales de cultivo por encima y debajo de la línea clave. La línea clave representa la **recogida de agua regenerativa** para el suelo y otorga la capacidad de recolección para uso agrícola ya que la intención es dirigir el agua recolectada a los cultivos.

Recogida regenerativa del agua

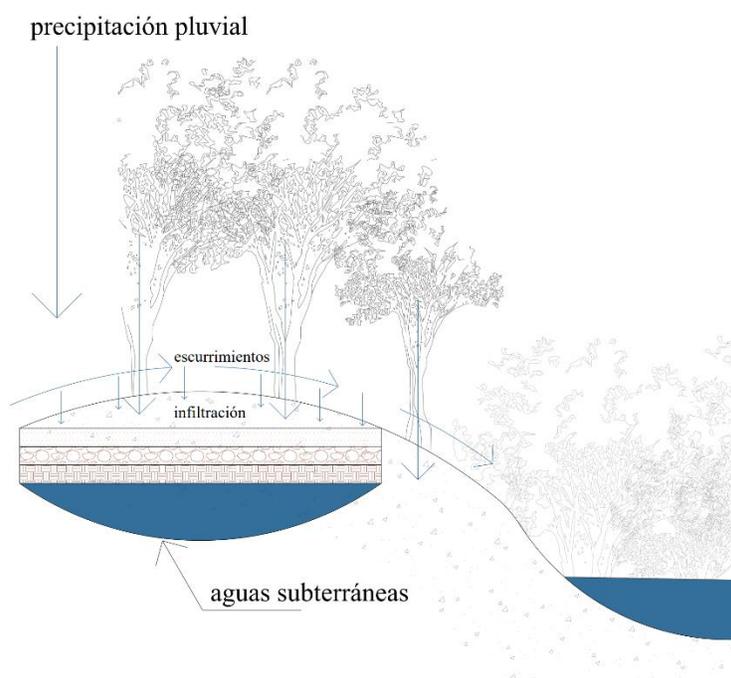


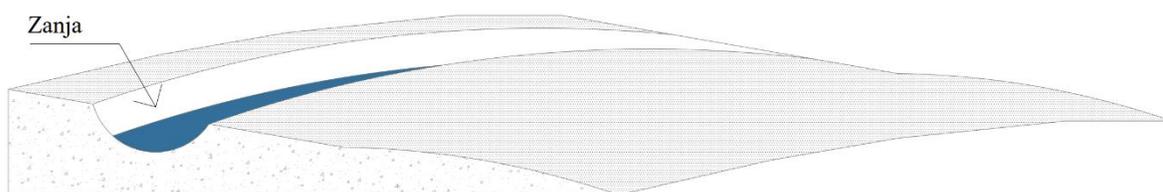
Figura 12. *Recogida regenerativa de agua*. Elaboración propia, 2022

Otra de las estrategias para la recogida regenerativa de agua, es el manejo de **“zanjas”**. Si bien, estas han existido desde nuestras culturas prehispánicas, es el manejo integral de estas estrategias lo que representa una cultura permanente en el manejo de recursos. Existen diferentes tipos de zanjas: de infiltración, de drenaje, de drenaje reversas y las *Wisalts* (Mars et al., 2021:161). Las zanjas son canales que cortan la línea del contorno del terreno para retener el agua y permearla hasta el suelo. Las zanjas de infiltración buscan generar esa permeabilidad hacia el suelo y se deben tomar en cuenta factores como el tipo de suelo, la pendiente del terreno y el volumen de agua previsto.

Las zanjias de drenaje conducen el agua hacia una balsa, estanque o cualquier cuerpo de agua a donde se dirija la zanja. Con una pendiente mínima es suficiente para que fluya la

Zanjas

escorrentía. Las zanjias de drenaje reversas tienen una elevación de tierra en la parte más alta de la pendiente, de esa manera el agua se filtra primero en la elevación y posteriormente pasa a la zanja. Se emplean estas cuando hay pastoreo cerca y se desea filtrar el agua, pero solo es posible si las características del suelo lo permiten, este tipo de zanjias, es más compatible con suelos arenosos. Los drenajes *Wisalts* son zanjias profundas donde la excavación llega hasta la capa arcillosa del suelo. Es una capa compactada que previene filtraciones y se lleva el agua salina fuera del sistema (Mars et al., 2021:162).



Los “**estanques**”, balsas y represas son cuerpos de agua que se pueden encontrar de

Figura 13 Elaboración propia, 2022

forma natural en el terreno, pero también los podemos diseñar y construir. Son cuerpos de agua artificiales que permiten la recolección y el almacenamiento de agua pluvial, pero también tienen otros beneficios como la creación de microclimas, introducción de especies acuáticas, contribución al paisaje y fuente de agua para animales, personas y riego.

Estanques, vista corte

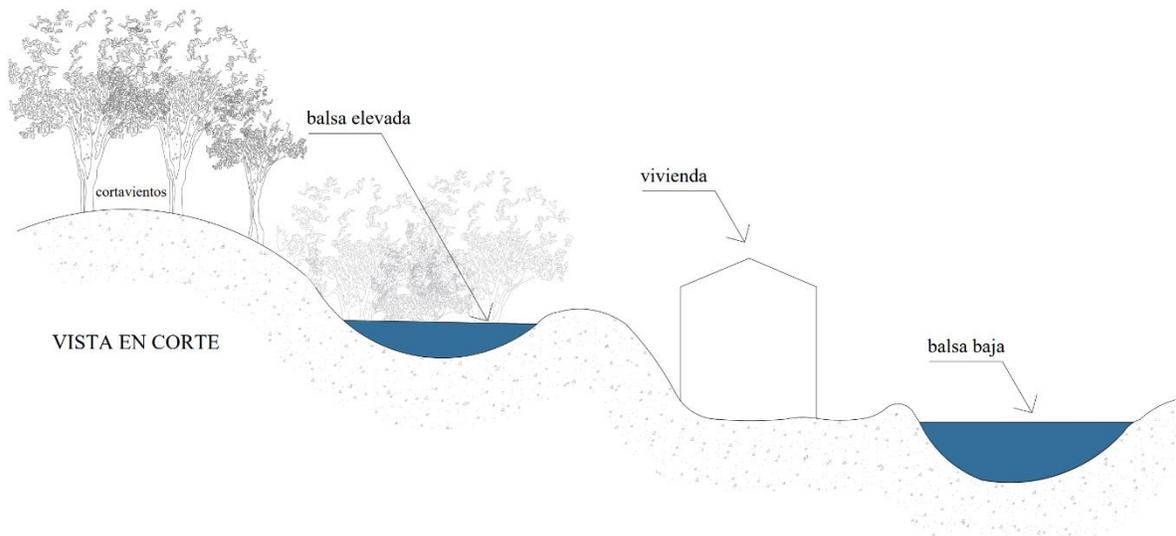


Figura 14. Elaboración propia con base en Morrow 2018.

Estanques, vista en planta

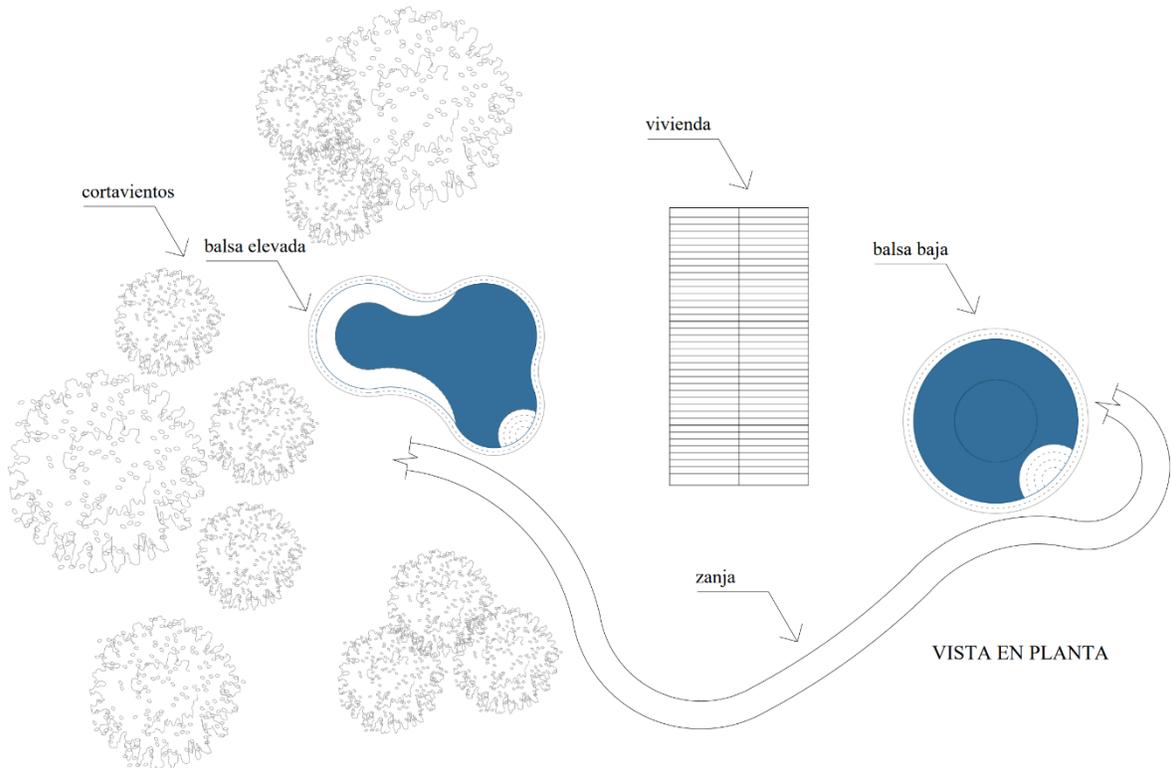


Figura 15. Elaboración propia con base en Morrow, 2018.

En la categoría de estanques, entra la “acuacultura”, que consiste en la introducción de especies de flora y fauna a los estanques para su consumo. En los bordes de los estanques se encontrarán las especies que sirvan como fuente alimenticia para las especies acuáticas como las carpas; especie que se adapta fácilmente a diferentes ecosistemas. Además de las especies animales se pueden cultivar especies vegetales como el arroz silvestre, hongos para consumo humano. Además de representar una fuente alimenticia libre de químicos, es menos dañino para el entorno, fácil de implementar y los peces pueden alimentarse de residuos orgánicos de plantas y animales. Los estanques son sistemas cerrados y por lo tanto es importante mantenerlos limpios; esto se logra con el movimiento del agua. Existen generalidades para lograrlo, la primera es la colocación de especies vegetales como juncos, citronela o especies endémicas que compartan similitudes. Se debe cubrir el 30% de la superficie con lirio de agua para mantenerla limpia.

Estanques, detalle

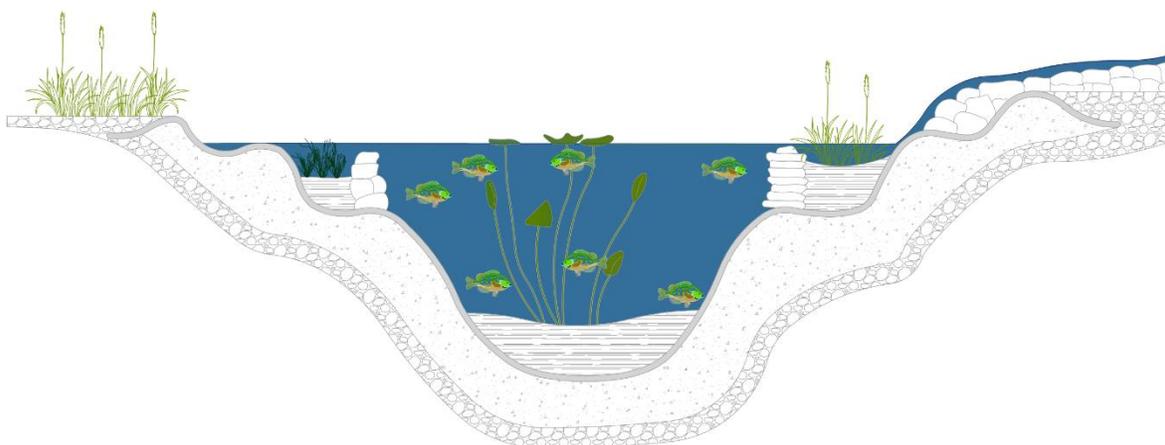


Figura 16. *Estanques, detalle*. Elaboración propia con base en dwgmodels.com, 2022

Las estrategias anteriores se aplican tanto en las zonas cercanas a la vivienda como en las más alejadas en el campo. También existen técnicas que se acercan más a la zona 0 y 1, donde se encuentra la vivienda y el huerto. En el texto de Ross Mars: *Como hacer tu vida más verde con la Permacultura*, se menciona que existen cuatro aspectos a tomar en cuenta para tener un jardín respetuoso con el agua: la conservación del agua, el sistema de irrigación, la reutilización de aguas grises y la recogida de agua de lluvia (Mars et al., 2021:127).

La “**conservación del agua**” tiene una relación directa con reducir el consumo de agua, Mars refiere: minimizar el consumo de agua y maximizar su eficiencia. Las estrategias para lograrlo se basan en añadir materia orgánica al suelo, realizar riego por goteo y no desperdiciar agua en la evapotranspiración de las plantas al regar en horas de sol. Otra de estas es la hidrozonación; consiste en agrupar a las plantas de acuerdo con sus requerimientos de hidratación y usar pavimentos permeables.

Se propone el “**sistema de irrigación**” como sistema de riego apto para zonas con poco acceso al agua, además de que contribuye a una mejor salud de la planta. Consiste en un riego por goteo lento y profundo de manera que se utiliza menos agua, la planta tiene menos posibilidades de adquirir hongo a diferencia del riego por aspersión y se ayuda al desarrollo del sistema radicular de la planta. El riego por goteo empapa el suelo hasta las raíces lo que permite que la planta absorba rápidamente la cantidad necesaria de agua y el suelo retenga agua.

Irrigación

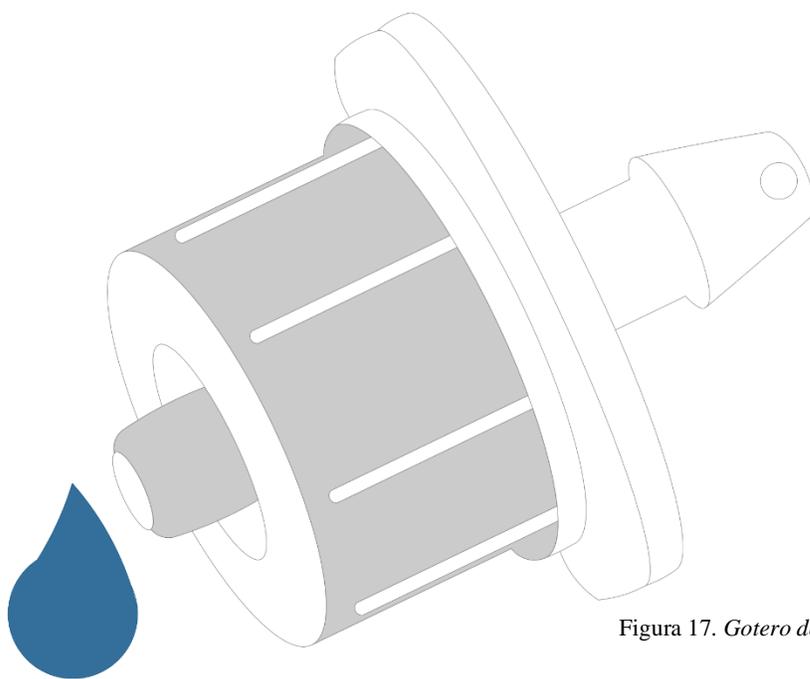


Figura 17. *Gotero de riego*. Elaboración propia, 2022

La “**reutilización de aguas grises**” consiste en darle un segundo uso a las aguas residuales, exceptuando las del inodoro (Mars et al., 2021:133). Uno de los modos de hacerlo consiste en purificar el efluente de las aguas grises por medio de sistemas de depuración de aguas

residuales *in situ*. El sistema inicia al dirigir el efluente de las aguas residuales a una fosa séptica: cavidad construida bajo el nivel del piso con dos compartimentos llamados cámaras. Al introducir agua con residuos a las cámaras cerradas, actúa con las bacterias de manera anaerobia lo que genera la separación de materia del agua, de modo que se asientan unos residuos en forma de lodos y otros flotan cuando están formados en su mayoría de grasas. Lo mismo ocurre en la segunda cámara, que termina de darle tratamiento a las aguas para lograr la salida de un agua más limpia. A pesar de estar más limpia, el agua no es apta para riego o consumo humano por lo que se traslada a un segundo sitio para tratar nuevamente el agua. El nuevo efluente que proviene de la fosa séptica será dirigido a un campo de oxidación; estructura subterránea de tubos perforados en el jardín, que por goteo va filtrando al subsuelo el agua. Al momento de diseñar, se deben considerar factores como la distancia entre los tubos, pendiente de inclinación y diámetros requeridos. Algunos especialistas refieren que se pueden usar las aguas grises directamente para riego sin necesidad de almacenarlas.

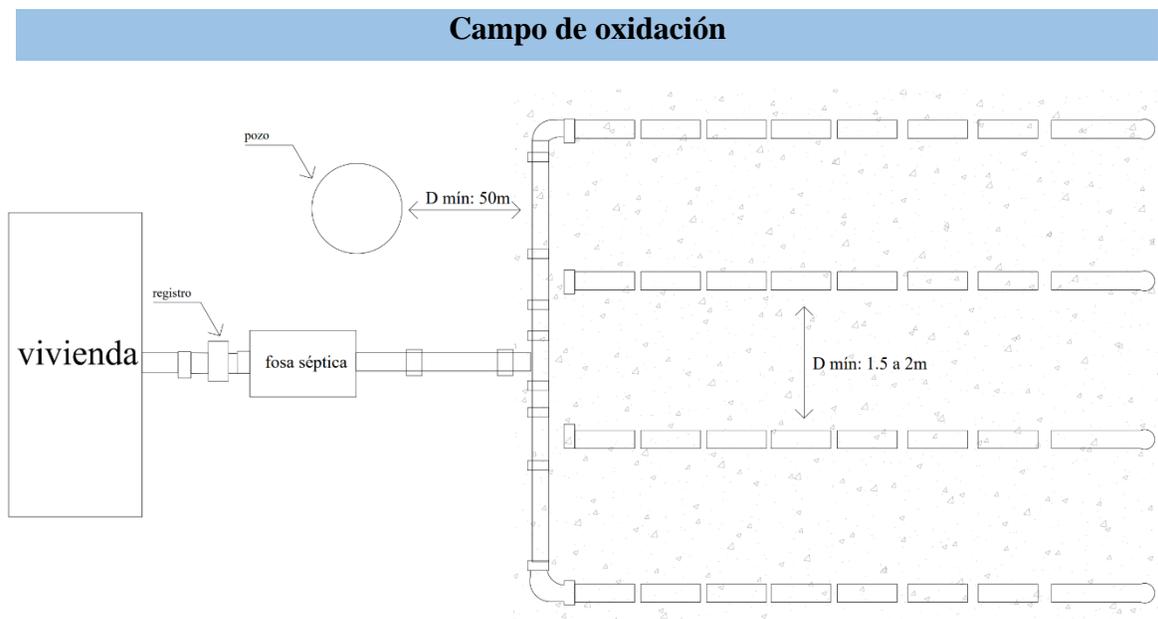


Figura 18. *Campo de oxidación*. Elaboración propia con base en Becerril, 2005

Finalmente se tiene la “**recogida de agua de lluvia**” es una práctica que se ha realizado en diferentes culturas y tiempos, pero tiene la misma finalidad: recolectar la precipitación pluvial para su uso. Existen diferentes formas de hacerlo; puede hacerse por suelo, por piso o por techo. En las comunidades rurales lo ideal es utilizar los relieves del terreno para lograr su conducción y de esa manera se puede usar con diversos propósitos como son: dirigir el agua a los cultivos para regarlos, dirigir el agua a depósitos de agua superficial para prácticas de acuicultura y lograr mejorar el microclima, así como abastecer de agua a los animales de pastoreo y dirigir el agua a depósitos tanto superficiales como subterráneos para consumo humano.

Captación pluvial en vivienda

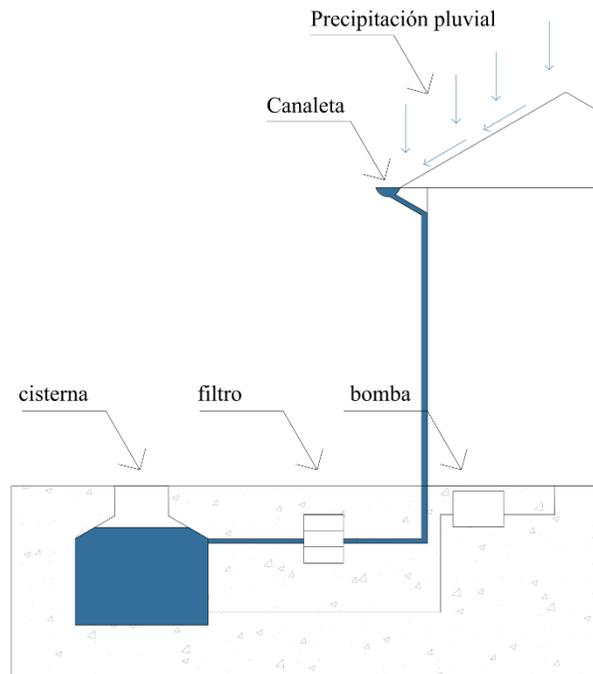


Figura 19. *Captación pluvial en vivienda*. Elaboración propia, 2022

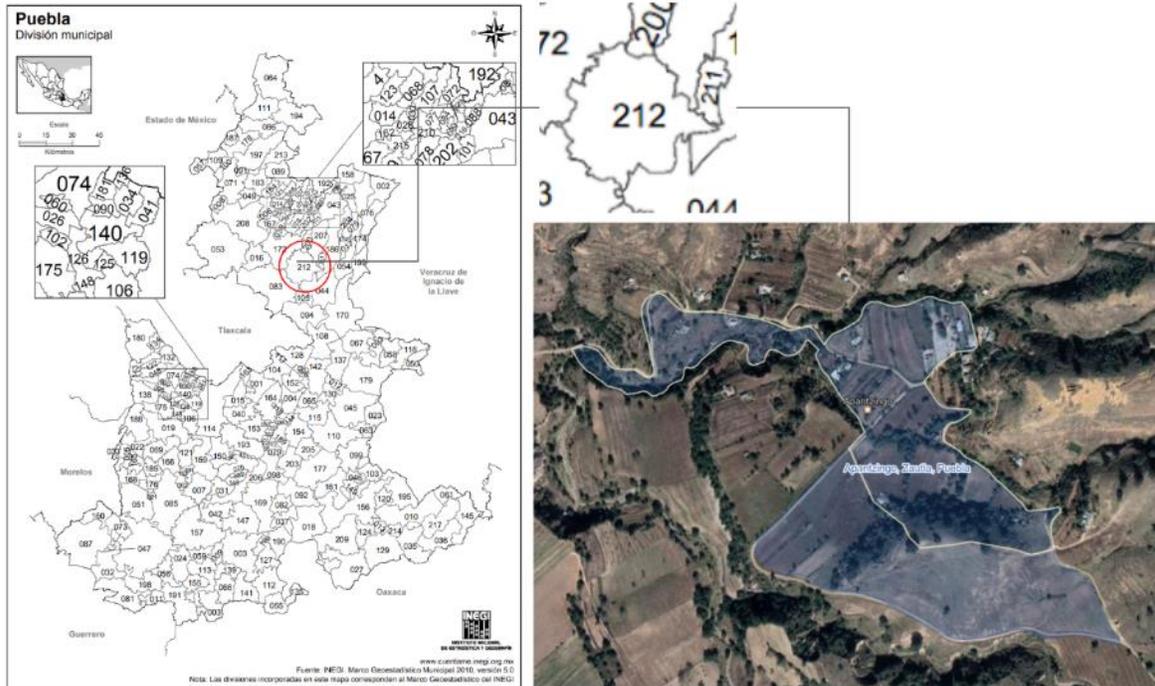
Ya se expusieron las formas en que podemos lograr esa conducción de agua en el campo, pero en la vivienda suele hacerse de otra manera. Usualmente se usan los techos para recolectar el agua, el coeficiente de escurrimiento nos lo dará el material de la superficie por lo que es pertinente usar superficies poco rugosas para tener mayor caudal de escurrimiento. Se debe calcular la capacidad de agua que se puede recolectar en función de

ese coeficiente y la pluviometría del sitio para conocer cuántos litros de agua pluvial podemos recuperar y almacenar el agua para meses de poca lluvia o sequía. Posteriormente la conducción del recurso se hará por canaletas y tubería que pueden introducirse con materiales industrializados o de materiales naturales como el bambú. El agua es dirigida a el depósito de almacenamiento superficial o subterráneo donde se desee guardar el agua. Previo a la entrada del agua en el depósito, ésta deberá filtrarse con una de las diferentes técnicas disponibles, la más común es con un filtro con diferente granulometría de grava, arena y carbón activado. El agua recolectada no es agua potable, pero puede emplearse en prácticas de uso doméstico o riego.

4. Situación socio-ambiental de la zona de estudio: Apantzingo, Puebla

Dentro del estado de Puebla, entre los muchos municipios que lo conforman, se encuentra el municipio de Zautla, ubicado en la Sierra Norte de Puebla. Zautla tiene una población de 19,438 habitantes con un porcentaje de viviendas sin disponibilidad de servicios básicos del 60.4% (INEGI, 2010). Dentro de las localidades del municipio con indicadores de rezago social, se encuentra Apantzingo (Figura 21) que es una comunidad con 83 habitantes distribuidos en 19 viviendas (INEGI,2020).

Mapa municipal de Puebla y poligonal de Apantzingo



En la figura 22 se puede observar el relieve pronunciado de Apantzingo; ya que se encuentra dentro de la Sierra Norte de Puebla. Apantzingo se ubica a 8Km de la cabecera municipal que es Zautla; en la figura 23 se puede observar con una línea blanca la ruta que se debe recorrer para llegar de Zautla a Apantzingo, se debe considerar que es un terreno accidentado con caminos que recorren la topografía del sitio y algunos no están pavimentados.

Figura 20 (izq) *Mapa municipal de Puebla*, obtenido de INEGI.
Figura 21 (der) *Apantzingo*.
Elaboración Propia con fotografía satelital de GoogleEarthPRO,
2021

Vista satelital de Apantzingo



Figura 22. *Apantzingo*. Elaboración Propia con fotografía satelital de GoogleEarthPRO, 2021

Ruta de Apantzingo a Zautla

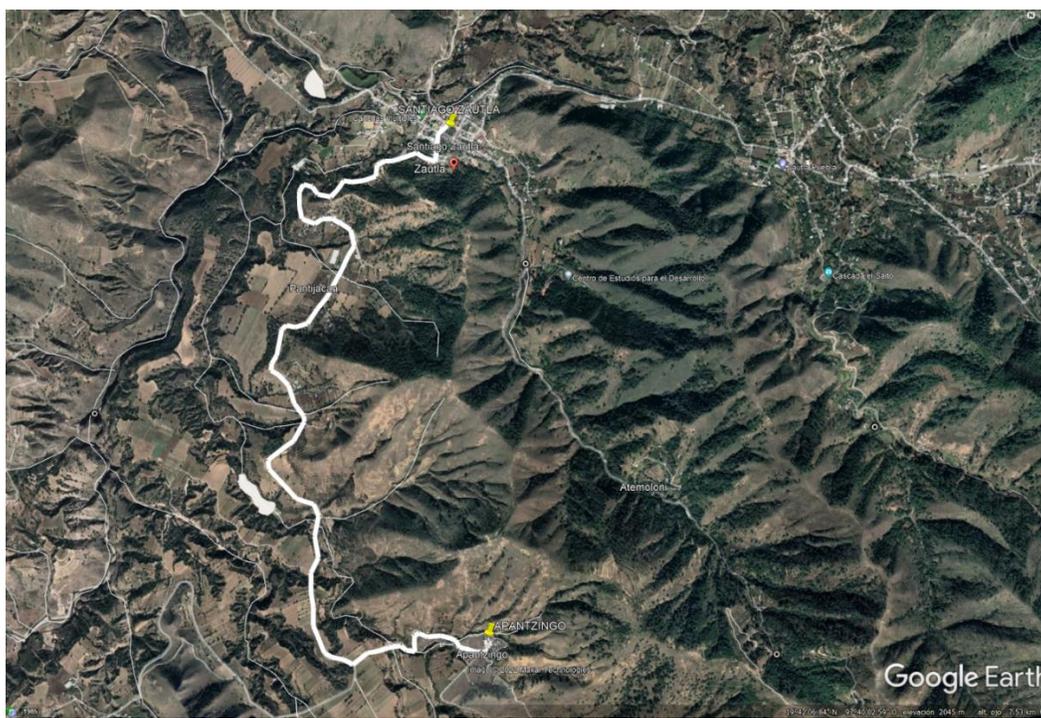


Figura 23. *Ruta de Apantzingo a Zautla*. Elaboración Propia con fotografía satelital de GoogleEarthPRO, 2021

Como *unidad de análisis* de esta investigación funge la subcuenca del Río Apulco y se considera a Apantzingo (Fotografía 1) como la zona de estudio y comunidad donde se aplicará la propuesta metodológica. Se establece a la comunidad como el espacio geográfico delimitado para analizar su medio natural y social a fin de generar líneas generales para el manejo integral del agua pluvial, en este capítulo se abordan los datos de la localidad.



Fotografía 1. Vista aérea de Apantzingo. Fuente: Eduardo Fuentes Fuller, 2021.

Caracterización medioambiental de Apantzingo

Apantzingo y muchas comunidades más, se encuentran dentro de la cuenca del Río Tecolutla y se establece como unidad de análisis a la subcuenca del Río Apulco que es de tipo exorreica y tiene una superficie de 2109km². La microcuenca localizada corresponde a Alto Apulco (INEGI, 2020). La subcuenca del Río Apulco tiene afluentes de Apulco – Zempoala y transcurre un recorrido de 114 km y su área representa el 24.24% de la cuenca del Tecolutla. Es una de las cuencas más erosionadas del país al perder cada año 200 toneladas de suelo por hectárea según el Centro Universitario Para la Prevención de Desastres Regionales (CUPREDER).

La localización geoespacial de Apantzingo corresponde a las coordenadas Latitud Norte 19° 48'18" y 97° 34'18" Longitud Oeste. La clave de localidad INEGI es la 21210003 y se localiza en las cartas topográficas E14B24 y E14B25. Geomorfologicamente, la comunidad tiene características particulares a partir de que se sabe que corresponde al Eje Neovolcánico Transversal y a la Sierra Madre Oriental; su edafología cuenta con suelos del grupo leptosol, litosol, andasol, lítico y luvisol ((H. Ayuntamiento del municipio de Zautla, 2019). El uso de suelo a nivel municipal es: agrícola de temporal 31.25%, forestal 63.45%, pastizal 4.79% y urbano 0.41% (H. Ayuntamiento del municipio de Zautla, 2019). El cultivo se establece en el siguiente orden, de acuerdo con la frecuencia con que se realiza: 1° maíz, 2° frijol, 3° café (INEGI, 2017).

El clima en Apantzingo es un clima Cw: Templado subhúmedo con lluvias en verano (H. Ayuntamiento del municipio de Zautla, 2019) de acuerdo con la clasificación Köpen. Su clave de la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA es la 21111 lo que permitió realizar una lectura climática con antigüedad de 10 años. Se identificó la temperatura media anual: 16.2°C, la temperatura máxima: 30.4°C en el mes de abril; precipitación pluvial media anual de 576mm y máxima mensual de 1630mm en agosto. La mínima mensual se da en el mes de febrero con 51.7mm. La evaporación media anual es de 1131mm.

En el campo hidrológico la topografía juega un papel importante ya que es la que define los escurrimientos pluviales en la comunidad. En la figura 24 se observa el simulador de flujos y los recorridos subterráneos del agua.

Escorrentías, Apantzingo



Figura 24. *Escurremientos Apantzingo*. SIATL, 2021

En Apantzingo los vientos dominantes provienen del norte con dirección sur y alcanzan velocidades con un rango de 10 a 25 km/h de acuerdo con la plataforma de generación de rosas de vientos, Meteoblue (Meteoblue, 2021).

Los recorridos solares tienen las siguientes características: En el equinoccio de primavera (21 de marzo, 12:00hrs) se tiene una elevación de 59.34° y un azimut de 125.78° y en el equinoccio de otoño (21 de septiembre, 12:00hrs) una elevación de 69.87° y azimut de 162.62° . Para los solsticios los datos son los siguientes: en verano (21 de junio, 12:00) elevación de 68.17° y azimut de 75.95° y en invierno (21 de diciembre, 12:00hrs) elevación de 46.3° y azimut de 170.35° .

La flora de Apantzingo está conformada por las siguientes especies: Encino, Ocote, Jicalaguate, Bitzahuate, Árbol hoja de papalote, Ilite, Atzomiaztle, Sabino, Suapatl, Maguey, Sábila, Bisniaga, Nopal Tuna Xoconoxtle, Escobillo, Zacate, Durazno, Capulín, Pera, Nuez, Chirimoya, Zapote, Orégano, Pino, Clavellina, Uña de gato, Jacaranda azul, Mora, Pirul, Alcaparro, Alcanfor, Higuierilla, Tzompantle y Palma. La fauna se compone de: Zorro, Tlacuache, Coyote, Ardilla, Siete rayas (Chinautle), Conejo, Torreques (Aves), Víboras (Masacuate-Solcuate), Hormiga de escamoles, Abejas, Burros, Cabras, Cerdos, Perros y Gatos.

En el siguiente apartado se abordan las características socioculturales de la comunidad de Apantzingo.

Caracterización sociocultural de Apantzingo

Apantzingo tiene una composición demográfica de 83 habitantes (INEGI, 2021) de las cuales 44 son mujeres y 39 hombres. La población se reconoce como indígena y hablan náhuatl y español, sus principales actividades productivas son: la agricultura, ganadería, cuidado del hogar, apicultura, alfarería y otras menos comunes como la construcción y la educación ambiental.



Fotografía 2. *Habitantes de Apantzingo*. Fuente: Propia, 2021.

Es una comunidad con altos niveles de marginación; las viviendas en su mayoría cuentan con acceso a servicios básicos como son abastecimiento de agua por tubería y manguera; y red de drenaje que no es utilizada ya que no corresponde a factores culturales y de uso de muebles sanitarios. En términos estadísticos solo el 4.26% no cuenta con agua entubada y el 35.85% no dispone de drenaje (H. Ayuntamiento del municipio de Zautla,

2019) pero la realidad es que a pesar de que algunas viviendas cuentan con la infraestructura de los servicios, no todos tienen un abastecimiento adecuado.

Las viviendas (Fotografía 2) se construyen con materiales y técnicas de construcción tradicional, la distribución espacial de la vivienda cuenta con la cocina y baño al exterior y patios centrales generados por los cuartos. En los patios exteriores se sitúan los hornos de alfarería, elaborados con piedra y barro de la región. La alfarería es una de las principales fuentes productivas de la localidad y parte intrínseca de su cultura, que identifica a la comunidad por la particularidad de sus piezas en relación con piezas de otras comunidades.



Fotografía 3. *Vivienda de Apantzingo*. Fuente: Propia, 2021.

En la agricultura ejercen el cultivo de temporal, principalmente de maíz nativo y frijol. Tienen animales ganaderos como ovejas, cerdos y cabras, gallos y conejos. Las actividades agrícolas y ganaderas se realizan a fin de obtener sus recursos alimenticios y solo cuando hay excedente, se vende esa producción.

Destacan sus interacciones culturales, así como los tipos de organización comunitaria que ejercen con ayuda de asociaciones civiles, como el Centro de Desarrollo Rural (CESDER), que se interesan en guiarlos para tener formas de vida que los lleven al *buen*

vivir. Lo hacen a través del diseño participativo y ejercen la autoproducción de viviendas tradicionales, viviendas que levantan en terrenos que llevan más de 130 años en la familia. Las viviendas se conforman principalmente de muros de adobe y cubiertas de lámina. Tienen participación política y económica a través de la asociación civil que se hace presente en muchos de sus procesos, ejercen la autoproducción alimentaria y actividades agrícolas, ganaderas y artesanales como la alfarería. La asociación civil se identifica como el Centro de Desarrollo Rural CESDER, que es una institución educativa y de promoción de desarrollo en la Sierra Norte del Estado de Puebla, está registrada como asociación civil denominada Promoción y Desarrollo Social PRODES, A.C. El CESDER se fundó en 1982 y busca impulsar el desarrollo rural desde una óptica sostenible por medio de actividades colectivas a través del desarrollo de organizaciones comunitarias. Además, se dedican a la investigación y enseñanza académica por medio de licenciaturas con temas relacionados al campo.

Las comunidades que pertenecen al CESDER se enfrentan a una problemática de “Pobreza Rural: Tendencia a aumentar la pobreza social, la pobreza cultural y la pérdida de la dignidad humana; procesos acelerados de degradación de los ecosistemas y de empobrecimiento del potencial productivo de los recursos naturales...” (Huerta et. al, 2008). El CESDER es el actor que ayuda a la toma de decisiones en Apantzingo y otras comunidades. Organizan a los habitantes en grupos comunitarios en los cuales participan voluntariamente en las actividades asignadas por la asociación y por su parte, ésta se encarga de gestionar apoyos en especie y económicos para los miembros activos del grupo comunitario y replantea la forma como se vive en zonas rurales y la construcción social que nos hemos hecho de ellas; redignifica a las comunidades a través de nuevos esquemas económicos, autosuficiencia para lograr la gestión de sus recursos, acceso a la vivienda digna, servicios básicos, sustentabilidad alimenticia y productiva y una sana economía local. Reconocen en su forma de vida, términos como: autogestión, negociación, participación ciudadana, autonomía, organización, empoderamiento y liderazgo comunitario de acuerdo con el texto: *Zautla de la A a la Z* (Huerta et. al, 2008).

Las creencias respecto al agua tienen un papel relevante en la comunidad ya que muchas de sus festividades se relacionan con el agua y mantienen formas organizativas que adoptan las comunidades, como son las mayordomías. En la región inicia cuando el Patrón Santiago sale de Zautla y lo llevan a un recorrido por las comunidades donde los habitantes

de cada comunidad son los encargados de realizarle su fiesta patronal. Cuando toca el turno de Apantzingo, reciben al Patrón y lo llevan al manantial y la *ermita*; montículo de adobe que adornan con flores. Al llegar al manantial colocan flores sobre este y agradecen por el recurso otorgado durante el año. Se realiza una celebración con todos los habitantes de la comunidad y después el Patrón Santiago es entregado a las manos de otra comunidad aledaña para continuar con la festividad y finalmente regresar a Zautla después de realizar el recorrido en diversas comunidades.

Otra festividad se realiza el 3 de mayo, el día de la Cruz. Es una celebración local donde los habitantes de la localidad se dirigen al manantial y colocan tres cruces y las *enfloran* para pedir por el recurso. Apantzingo realiza esas festividades demostrando el respeto que tienen por el recurso.

Uno de los puntos de cohesión en la sociedad es el tipo de organización que tienen. La organización comunitaria en grupos permite a la población construir puentes sociales que fortalecen la capacidad que tienen para lograr objetivos en conjunto.

Caracterización del manejo del agua en la comunidad

Actualmente el manejo de agua en Apantzingo se realiza a partir de una estrecha relación entre el bien natural y los valores culturales. Las prácticas ejercidas tienen impactos positivos y negativos para el medio natural y el conocimiento de los pobladores respecto al agua y su manejo es indispensable para lograr relaciones armoniosas entre el ecosistema y la población.

El agua tiene dos usos dentro de la comunidad: el uso doméstico y el uso productivo. Con el uso doméstico se atienden las actividades relacionadas al hogar y las personas que lo habitan, como son: aseo, riego de huerto familiar, baño corporal y consumo humano. En el uso productivo se emplea el agua pluvial para prácticas de agricultura y ganadería.

En la figura 25 se muestra la infraestructura hidráulica actual de Apantzingo con sus principales cuerpos de agua: el *manantial*, la *caja de agua* y el *jagüey*. Las viviendas están representadas con polígonos grises y las líneas azules representan los tramos de manguera que transportan el agua de la caja de agua y el jagüey a las viviendas. El manejo del agua inicia con la extracción del recurso de un cuerpo de agua subterráneo denominado *El manantial* (fotografía 4) al cual se accede a través de un registro y el afluyente es conectado por tubería PVC de 3” a la *caja de agua* (fotografía 5): registro que se encuentra 467 metros

abajo y de los cuales salen las mangueras de 3” que conectan el agua a las viviendas. Dentro de la vivienda las prácticas son diferentes de acuerdo con la familia que la habita; algunas viviendas realizan prácticas de captación pluvial por medio de tambos y cubetas, otras almacenan el agua en lavaderos y hay familias que cuentan con cisternas in situ que dejan a cielo abierto para lograr captar y almacenar el agua pluvial.

Infraestructura hidráulica actual de Apantzingo

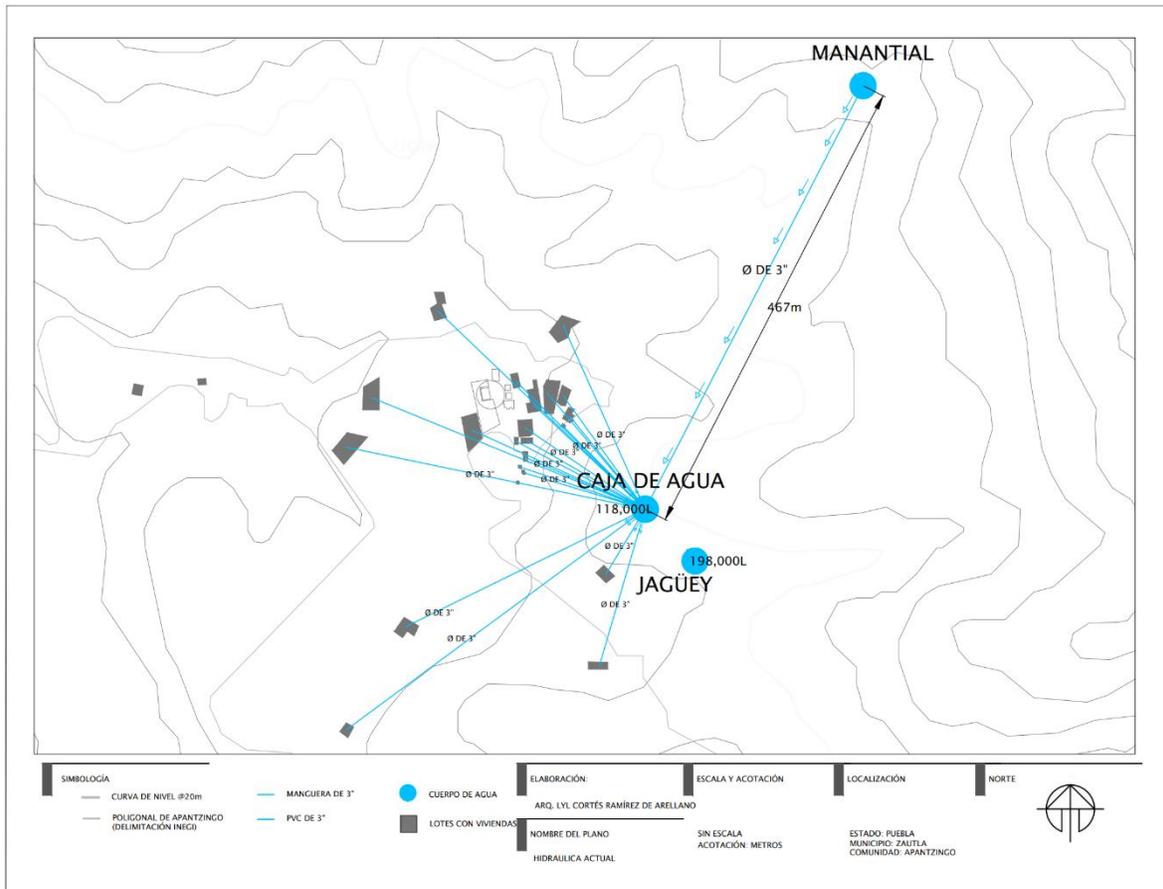


Figura 25. Infraestructura hidráulica actual de Apantzingo. Elaboración propia, 2022.

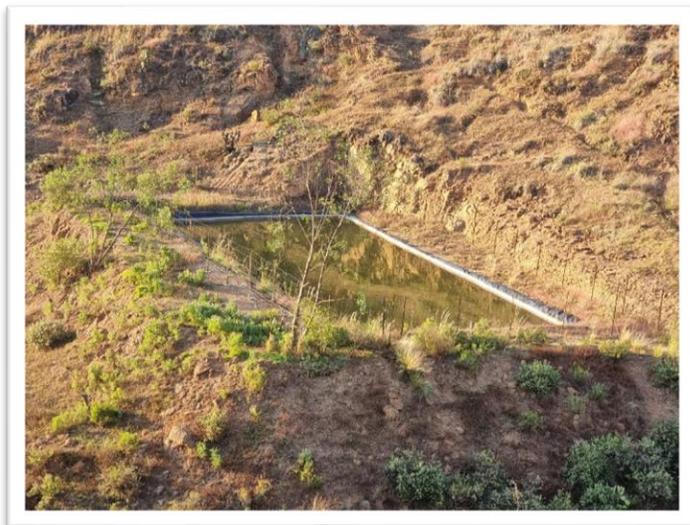
Dentro de la comunidad existe también un *jagüey* (Fotografía 6); cuerpo de agua con capacidad aproximada de 198,000 litros que abastece agua por medio de manguera únicamente para las viviendas que conforman el grupo comunitario de la localidad y su uso es exclusivo para actividades domésticas, quedando prohibido el uso para riego y actividades productivas.



Fotografía 4. *Registro al manantial.*
Fuente: Propia, 2021.



Fotografía 5. *Caja de agua.*
Fuente: Propia, 2021.



Fotografía 6. *Jagüey.*
Fuente: Propia, 2021.

La topografía de Apantzingo representa un reto para la conducción de agua ya que la diferencia de niveles, aunado a las grandes distancias que existen entre los cuerpos de agua y entre las viviendas, hacen que los tramos de manguera sean extensos y se encuentren expuestos a las condiciones climáticas de la comunidad. En la figura 26 se observan los perfiles de elevación para identificar la distancia que recorren las mangueras que abastecen de agua a las viviendas. Con el identificador circular azul y la letra “A” se relaciona el *manantial*, “B” es el lote donde se encuentra una vivienda tipo, “C” la *caja de agua* y “D” el *jagüey*.

El tramo A-B es la distancia que hay entre el manantial y la vivienda tipo, con 518 metros. La diferencia de nivel es de 92 metros y tiene una pendiente máxima de 44%.

El tramo A-C es la distancia entre el manantial y la caja de agua con 467 metros. La diferencia de nivel es de 60 metros y tiene una pendiente máxima de 38%.

El tramo B-C es la distancia entre la vivienda y la caja de agua, con 198 metros, una diferencia de nivel de 32 metros y una pendiente máxima de 37%.

El tramo B-D es la distancia entre la vivienda y el jagüey, con 264 metros, una diferencia de nivel de 38 metros y una pendiente máxima del 24%.

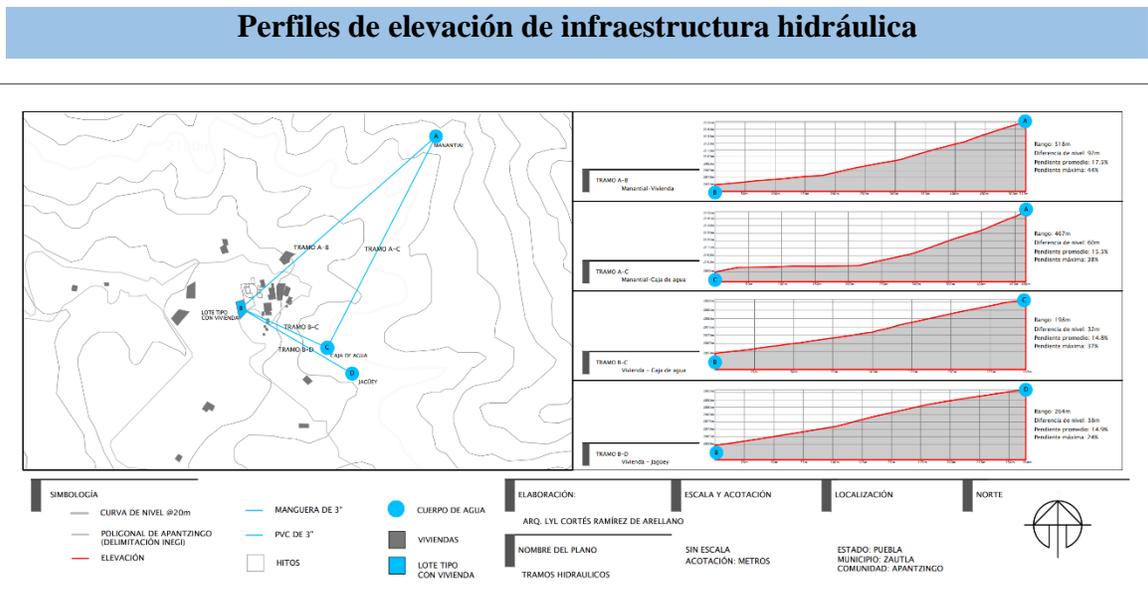


Figura 26. *Perfiles de elevación de infraestructura hidráulica*. Elaboración propia, 2022.

Los hábitos relacionados con el agua dentro de la vivienda son para el desarrollo de actividades de limpieza, de aseo personal y de consumo. El agua que proviene de la caja de

agua y es abastecida por manguera, se almacena en una pila de agua (fotografía 7) que tiene una llave de nariz; fuente de agua para el consumo humano de agua y uso en alimentos, así como el lavado de platos. De la pila de agua proviene toda el agua que es empleada en la vivienda para aseo doméstico y personal. El aseo personal se realiza al acarrear el agua en cubetas a un cuarto destinado para bañarse a *jicarazos*. El cuarto es un baño que fue construido por parte de un apoyo gubernamental pero que únicamente se usa con ese fin. Dentro de esas construcciones cuentan con W.C. que no son utilizados debido a la falta de aceptación cultural ya que siguen utilizando la letrina. El agua de la pila también se usa para obtener el agua que dan a beber a sus animales domésticos y ganaderos. Se usa también para algunas actividades productivas como la alfarería.



Fotografía 7. Pila de agua. Fuente: propia, 2021.

En algunas viviendas se realiza la captación de agua pluvial a través de tambos y cubetas que se dejan expuestos para lograr la captación de agua de lluvia que se emplea en el riego de huertos. El riego se realiza directo de la recolección. En algunas viviendas se realiza la misma práctica con cisternas que dejan a cielo abierto.

En el ámbito agrícola, se realiza cultivo de temporal. Los habitantes de Apantzingo realizan prácticas resolutivas para afrontar la irregularidad de agua. Algunos habitantes hicieron zanjas (fotografía 9) en el terreno para lograr la conducción de escurrimientos a su siembra, también hacen riego por infiltración con vasijas de barro (fotografía 8) enterradas cerca de árboles frutales para su absorción subterránea y acuden a los apoyos impartidos por parte del CESDER donde aprenden técnicas para el ahorro y captación de agua de lluvia.



Fotografía 8. *Vasija de barro*. Fuente: propia, 2021.



Fotografía 9. *Zanja*. Fuente: propia, 2021.

Existen antecedentes históricos como el acarreo de agua con burros y vasijas de barro y creencias relacionadas al agua que los conducen a formas organizativas como son las mayordomías y festividades que realizan. Las principales son: el día de la *Santa Cruz* y la mayordomía realizada para el *Patrón Santiago*.

5. Metodología aplicada

En este capítulo se aplicará la metodología planteada en el capítulo 3 a la comunidad de Apantzingo. Para fines de claridad, se sigue la numeración establecida en los pasos metodológicos que se plantearon.

Se identificó la **problemática (1)** y comprende cuatro puntos: 1) El abastecimiento de agua por tubería y manguera ya que las mangueras se llenan de sarro o se perforan, lo que restringe el caudal. La dispersión de viviendas, geomorfología accidentada y lejanía con la cabecera municipal no permiten el abastecimiento regular por tubería. 2) Falta de agua para riego. Se realiza riego de temporal ya que el agua del *jagüey* y la *caja de agua* son sólo para uso doméstico, establecido como acuerdo comunitario. La irregularidad en los ciclos hídricos no permite una buena lectura de lluvias por parte de los habitantes, que anteriormente lo hacían de acuerdo con la regularidad que conocían de las estaciones 3) Manejo ineficiente en la captación de agua pluvial. Se dejan tambos, cubetas y cisterna a cielo abierto para su recolección. Con ambos métodos el agua está contaminada y no se tiene aprovechamiento máximo en la recolección. 4) Falta de depósitos de almacenamiento a nivel vivienda y nivel comunidad.

Se hizo un **análisis teórico-conceptual (2)** que inicia con la discusión teórica del cambio de paradigmas, se abordan los sistemas complejos y se observa la postura de las escuelas ecológicas y su posición dentro del marco de la globalización. Se discuten enfoques de autores como Thomas Kuhn, Fritjof Capra, Resnick, Lovelock, Edgar Morin, Rolando García, y Miriam Alfie, tal discusión se puede consultar en el *capítulo uno: Marco teórico*.

Respecto a la indagación de conceptos, el desarrollo se encuentra en el *capítulo 2* y se inicia con la conceptualización de términos fundamentales dentro de la investigación, como son: agua, comunidad indígena, manejo del agua; y se introduce el concepto de permacultura y los principios que la conforman. Se explica que conceptos fueron elegidos para aplicar en la investigación y también se justifica porque no se adopta integralmente la permacultura, y solo se toman algunos de sus principios.

Se realizó la **visita de campo (3)** los días 12 y 13 de noviembre del año 2021 se realizó una visita a Apantzingo con el objetivo principal de obtener información de fuentes primarias e indagar más sobre la problemática de falta de agua en la comunidad; conocer el manejo de agua actual e histórico, las cosmovisiones de los habitantes en relación con el recurso y su

opinión respecto a la implementación de un Sistema Integral para el Manejo de Agua en la comunidad. El enlace previo para acudir a la comunidad se realizó con la Asociación Civil que funge como enlace entre la comunidad y otros actores sociales. La asociación civil: Centro de Desarrollo Rural, CESDER. Es una asociación que apoya a los habitantes de la comunidad y comunidades aledañas al organizarlos en grupos comunitarios y logra el traslado de recursos materiales de otras asociaciones y apoyos gubernamentales para las comunidades.

Previo a la visita, se identificó la problemática de la comunidad, se establecieron objetivos para la visita y se realizó el diseño de la visita y de los instrumentos de recolección.

Presentación con el grupo comunitario de Apantzingo



Figura 3. Apantzingo.

Fotografía 10. Apantzingo. Eutimio Oropeza, 2021

Se estableció el universo a estudiar, se realizó el cálculo de muestra representativa, un plan de trabajo e itinerario, se preparó el equipo técnico necesario y un equipo conformado por compañeros del posgrado. El universo de estudio es la comunidad de Apantzingo. Y la muestra representativa es el grupo comunitario: grupo de habitantes que se organizan para realizar diversas actividades de la mano del CESDER, el cual está conformado por las familias de 12 viviendas y en el estudio participaron los representantes de 7 familias. Al llegar al municipio

nos dirigimos al CESDER que se localiza entre la comunidad Apantzingo y la cabecera municipal de Zautla; nuestro primer vínculo fue con el promotor comunitario de Apantzingo: el licenciado Nicolás Marreros Lobato. Nos dirigimos con él a Apantzingo y nos presentó con los habitantes de la comunidad que pertenecen al grupo comunitario. Se explicó la intención de la visita, los objetivos de la investigación y se solicitó su autorización para realizar los levantamientos fotográficos y de recaudación de datos personales y de sus viviendas. Posterior a la presentación, el equipo de trabajo se dividió para acudir a las viviendas de los habitantes y realizar las encuestas y levantamientos. Se realizó levantamiento fotográfico de la comunidad, las viviendas y las instalaciones hidráulicas y sanitarias; los modos de recolección pluvial y tipos de cubiertas. Se voló un dron para realizar fotografías aéreas de la comunidad

Vista aérea de Apantzingo



Fotografía 11. *Apantzingo*. Vuelo en dron:
Eduardo Fuentes Fuller, 2021

Se aplicaron encuestas con los habitantes. Al visitar cada vivienda se llenaron cédulas de información con datos técnicos de la vivienda y manejo del agua en zonas domésticas y productivas. Se observó que en las viviendas se realiza captación de agua pluvial por medio de cubetas y tambos y algunas viviendas cuentan con lavaderos ecológicos que fueron instalados como parte de un apoyo que recibió la comunidad. No se cuenta con un manejo adecuado de ellos ya que no recibieron la capacitación adecuada.

Durante el segundo día de la visita, se realizó una caminata por la comunidad dirigida por el Lic. Nicolás y algunos habitantes de la comunidad que nos dirigieron a los cuerpos de agua de los cuales se abastece la comunidad. La caminata fue un punto crucial para la visita y por lo tanto para la investigación ya que no hay registros oficiales de estos cuerpos de agua y del manejo de agua que realiza la comunidad. El primer cuerpo de agua es un jaguey que fue construido por parte del CESDER y al cual solo tienen acceso los miembros del grupo comunitario, 12 familias de la comunidad que cooperan en las actividades de la asociación civil y reciben los apoyos de esta. En la figura 8 se observa un registro hidráulico que se conoce como caja de agua. La caja de agua se provee del efluente del registro al manantial (figura 7). El manantial es el cuerpo subterráneo de agua del cual se adquiere el recurso hídrico y se encuentra en uno de los puntos más altos de la ladera. Las familias de toda la comunidad, aunque no pertenezcan al grupo comunitario del CESDER, realizan la conexión de mangueras a la caja de agua y es su fuente principal de abastecimiento de agua. Toda esta información referente al agua ayudó a comprender como se abastecen de agua en la comunidad y también los impactos positivos y negativos que conllevan sus prácticas.

Camino al manantial se encuentra la ermita, una construcción de adobe que se adorna con flores y cruces el día 3 de mayo a causa de la celebración de la Santa Cruz. El destino final es el manantial; la mayordomía dura una semana, donde los habitantes de Apantzingo y otras comunidades realizan celebraciones para agradecer por el agua brindada. El manantial y la ermita son adornados con flores y se hace un rosario y una celebración.

Al descender del manantial, se encontraron en el camino pozas abiertas, de una de ellas se recolectó una muestra de agua y se analizó con tiras reactivas para obtener bioindicadores posteriormente fueron analizados por una licenciada en Biología y se obtuvieron parámetros generales de la calidad de agua y recomendaciones respecto a su uso. También se obtuvieron muestras de dos viviendas. El reporte de la bióloga se puede consultar en el Anexo 2.

Finalmente nos dirigimos a las instalaciones del CESDER, donde pudimos realizar dos

entrevistas a promotores comunitarios; uno de ellos fue el licenciado Nicolas Marreros Lobato, promotor comunitario de Apantzingo y a la licenciada Diana, promotora comunitaria de comunidad que proporcionaron datos en relación a los programas gubernamentales que se implementan como parte del apoyo a las comunidades indígenas de la zona, su percepción respecto a estos y las actividades que realizan por parte de la asociación civil. Se realizaron preguntas de simulación para conocer su opinión respecto a la implementación de un Sistema que permita el manejo integral del agua



Fotografía 12. *Apantzingo*. Eutimio Oropeza, 2021

pluvial en la comunidad y aportaron datos respecto a las causas que consideran las más influyentes para la problemática de falta de agua tanto en las zonas domésticas como productivas de la comunidad.

De las actividades realizadas en la visita a Apantzingo se obtuvieron muchos datos que enriquecen el panorama que se tiene de la comunidad; tanto en el ámbito social como en el ambiental, pero sobre todo se generó un enlace con los habitantes del sitio que son los principales exponentes de la problemática y que nos apoyaron a comprender los usos históricos del agua, el uso actual para su abastecimiento, los riesgos que presentan y sobre todo nos compartieron el alto nivel de responsabilidad ambiental que tienen y la disposición con la que se abren a nuevas posibilidades de cambio en pro de su bienestar con relación al agua.

La problemática general de Apantzingo respecto al agua, se resume en cuatro puntos principales: El abastecimiento inadecuado por medio de tubería y manguera, la falta de agua para riego en agricultura de temporal; a causa de las variaciones pluviométricas provocadas

por el calentamiento global. El manejo ineficiente en la captación de agua pluvial y la falta de depósitos de almacenamiento a nivel vivienda y a nivel comunitario. A partir de la identificación de esta problemática se evaluaron las teorías relacionadas con la problemática a partir de la cual se establece que se debe hacer un cambio de paradigma respecto a la forma de relacionarse con la naturaleza y las comunidades; y abordar a la comunidad como un sistema complejo abierto que dentro de las relaciones que existen de sus componentes, se debe replantear las redes que tejen estas relaciones.

De la visita se obtuvieron datos poblacionales, sociales, culturales, históricos y físicos de la comunidad que sirvieron como parte del desarrollo del diagnóstico con la aportación de muchos datos para la caracterización medioambiental y sociocultural de la localidad que se describirán durante el desarrollo del presente capítulo. El archivo fotográfico de la visita de campo se puede consultar en el Anexo 4. Para la visita se establecieron como muestra representativa a las 12 familias que decidieron incorporarse al grupo comunitario conformado por el CESDER, y se trabajó con siete de ellas para esta investigación, que fueron quienes estaban disponibles. Se observó que el líder del grupo comunitario pide a los habitantes estar presente en las juntas que solicita y tomar los programas de educación ambiental que les otorga. La asociación civil responde con apoyos para las familias que participan lo que representa un beneficio para ellas.

En la visita de campo se levantaron encuestas con los habitantes de las viviendas y se entrevistaron a los promotores culturales. Se identificaron en un 100% como población indígena e indicaron sus actividades productivas. El 100% de los encuestados se dedica al campo y el 28% indicó que realiza además actividades como cuidado del hogar, apicultura, entre otros.

A partir de los datos que se levantaron en campo y del trabajo de gabinete, se realizó una **caracterización medioambiental (4) y sociocultural (5)** de la comunidad y se pueden leer en la figura 27.

ASPECTOS INVESTIGADOS DURANTE EL DIAGNÓSTICO AMBIENTAL Y SOCIOCULTURAL	
Caracterización de la comunidad	Apantzingo. Coordenadas latitud Norte 19° 48' 18" y 97° 34' 18" Longitud Oeste. 83 habitantes. Extensión territorial: Clave INEGI: 21210003, cartas topográficas: E14B23 y E14B24
Caracterización ambiental del entorno	Estación meteorológica: 21111. Temperatura Media Anual: 16°C, Precipitación Media Anual: 576mm, Mes de lluvias máx: agosto. Mes de lluvias mín: febrero. Evaporación Media Anual: 1131mm. Tipo de clima: Cw. Cuenca: Río Tecolutla, Subcuenca: Río Apulco, clave hidrográfica RH27Be, tipo exorreica, superficie: 2109km ² . Geomorfología: Sierra Madre Oriental y Eje Neovolcánico Transversal. Tipo de suelo: Leptosol, suelo litosol, andasol, lítico y luvisol. Uso de suelo: agrícola de temporal (31.25%), forestal (63.45%), pastizal (4.79%), urbano (0.41%). Cultivo: Maíz blanco, frijol y café. Perfil de elevación N-S rango: 500m, inclinación máx: 24%. Perfil de elevación E-O rango: 600m, inclinación máx 30%. Vientos dominantes del N, rango de velocidad: 10 y 25km/h. Equinoccio de primavera, elevación 59.34°/Azimut: 125.78°. Solsticio de invierno, elevación 46.3°/Azimut: 170.35°. Flora: Encino, ocote, jicalaguate, frutales, etc. Fauna: Zorro, tlacuache, coyote, ardilla, conejo, perros, gatos, etc.
Caracterización social de la comunidad	Microrregión, Nivel alto de marginación, Organización en grupos comunitarios, Actividades productivas directamente relacionadas con el uso del agua, actores sociales que fungen como apoyo de la comunidad (A.C), autonomía y liderazgo comunitario, participación activa en dinámicas y talleres de educación ambiental.
Sistema de abastecimiento del agua	Origen: manantial /Distribución: Cajas de agua/Conexión: mangueras
Promoción de valores culturales, naturales e históricos y relación con los actores sociales	Festividades relacionadas al agradecimiento del recurso / Históricas: acarreo con cántaros / Valores culturales: Preocupación y cuidado por el agua / Organización social comunitaria para el cuidado del agua.
Impactos ambientales generados en la comunidad	Negativos: Extractivismo de cuerpos de agua (mínimo) / Positivos: Implementación de técnicas para recuperación de agua pluvial. Ahorro del recurso.
Nivel de conocimiento de pobladores	Alta conciencia ambiental / Conocimiento medio de estrategias y técnicas ecológicas para el manejo de recursos.

Figura 27 Elaboración propia con base en metodología de Linares Guerra et al. 2022

A partir de la caracterización medioambiental y de considerar a la unidad de análisis como la subcuenca del Río Tecolutla, se sabe que es una subcuenca exorréica y nos indica que el agua en la comunidad no es un elemento que permanezca retenido en la cuenca, razón por la cual no siempre hay acceso al recurso. La subcuenca está identificada como una de las más erosionadas del país ya que cada año pierde un promedio de 200 toneladas de suelo por hectárea (CUPREDER, 2016). La relación entre la erosión y el agua es muy cercana debido a que la degradación de un suelo contribuye a la falta de balance hídrico en él y por lo tanto la escasez de agua y carencia en el suelo. Más adelante se abordan las estrategias de diseño a seguir pero la recogida regenerativa del agua podría contribuir a la reabosrción del recurso hídrico al subsuelo, así como prácticas de acolchado donde se añade materia orgánica al suelo para evitar la erosión e incorporar microorganismos adecuados para su reestructuración.

Las curvas de nivel permiten ver el relieve pronunciado de la localidad; dichas curvas sirven para establecer las líneas clave y puntos clave para lograr una recogida de agua regenerativa en el sitio. Se generó un plano que permite observar la geomorfología accidentada del sitio (figura 28), donde se observan las curvas de nivel y la poligonal de la comunidad. La cercanía entre las curvas inidica las pendientes pronunciadas por lo que se considera que es un terreno apto para la conducción de agua por medio de zanjas ya que lo pronunciado de las pendientes permite conducir los escurrimientos a campos de agricultura y también a estanques artificiales para su recolección y almacenamiento y al mismo tiempo contribuir a la recogida regenerativa de agua.

Curvas de nivel de Apantzingo

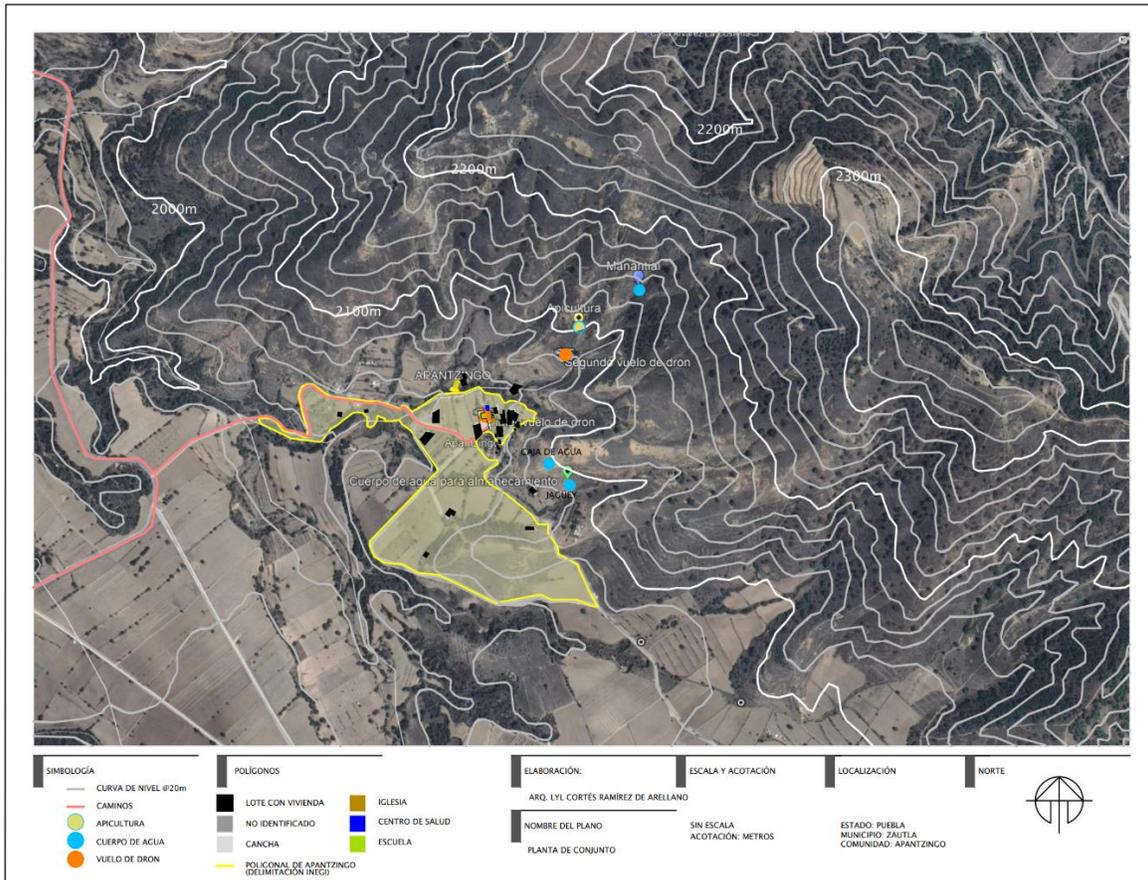


Figura 28. *Curvas de nivel de Apantzingo*. Elaboración propia, con base en GoogleEartPRO 2021

Las características de los suelos Leptos, del griego Leptos, delgado, indican que se trata de suelos de roca continua o muy cerca de la superficie (SEMARNAT, 2022), son suelos comúnmente encontrados en la Sierra Madre Oriental. Su dureza implica una limitación en el uso agrícola, lo que podría representar una dificultad en la comunidad, afortunadamente las actividades agrícolas se desarrollan en la comunidad y se debe a que también cuentan con suelos como el luvisol. El grupo de suelos luvisoles se relacionan con una marcada estacionalidad de lluvia y sequía, como ocurre en Apantzingo. Son suelos más fértiles y aptos para el uso agrícola. La amplia extensión territorial de Apantzingo y la variedad de su edafología son características que se pueden usar favorablemente para el establecimiento de zonas de uso agrícola y de zonas de conducción de agua donde el suelo es menos permeable.

Se deberá identificar el tipo de suelo luvisol a fin de considerar colocar los cultivos en zonas donde se ubica ese suelo.

La actividad de agrícola de temporal se realiza en Apantzingo en las viviendas con un índice del 100% (dato obtenido de las encuestas realizadas durante la visita de campo). La agricultura de temporal está directamente relacionada con el uso del agua pluvial y es donde incide de mayor manera la problemática de la localidad, ya que a causa de los cambios climáticos y por ende las variaciones estacionarias y pluviométricas, la “lectura de lluvias” que hacían antes los habitantes, se ha visto alterada y en muchas ocasiones su cultivo se echa a perder a falta de agua.

Existen diferentes estrategias que permiten contribuir en la disipación del problema; una de ellas es la conducción de agua pluvial por medio de zanjas, a partir de hacer una lectura de las curvas de nivel y establecer las líneas clave del paisaje. Las zanjas pueden ser de conducción, y también de filtrado, lo que permite que, además de conducir el agua hacia sus cultivos, se infiltre el agua al subsuelo y mejore la retención de agua de este. Otra estrategia para seguir en Apantzingo es la captación del agua de lluvia por medio de estanques diseñados estratégicamente a nivel vivienda y a nivel comunidad en zonas altas pero cercanas a las viviendas para su fácil conducción por gravedad. Aunado a este propósito se deben construir cisternas de almacenamiento que tengan la capacidad adecuada para abastecer del recurso aún en meses de sequías. Se puede consultar el cálculo para el dimensionamiento de cisterna y capacidad, en el Anexo 3. La capacidad de cisterna está en función de los meses de lluvia, de sequía, los milímetros que llueven anualmente en la comunidad y el gasto necesario a cubrir. Los cálculos deben realizarse a fin de tener un buen dimensionamiento del volumen necesario y así cubrir adecuadamente las necesidades hídricas todo el año. Al considerar los datos climáticos de Apantzingo como su precipitación pluvial media anual de 576mm y un supuesto basado en una estructura familiar de 5 miembros con una vivienda que considera una superficie de cubierta de 30m²¹ con material de lámina corrugada y un jardín familiar de 40m²², proporciona que de acuerdo con el cálculo la capacidad de recogida de agua es de 13,824 litros por año y la demanda de 89,000 litros por año. Y se requiere un depósito de 4,225 litros para que de esa manera se puedan satisfacer las necesidades de gasto hídrico.

1 superficie promedio de una cubierta en la comunidad

2 superficie promedio de un jardín familiar en la comunidad

Al continuar con el análisis geomorfológico de Apantzingo, se generaron perfiles de elevación. Un perfil con dirección Norte-Sur y el siguiente con dirección Este-Oeste. El primero, se realizó con un rango de 500 metros y arrojó que la elevación mínima en ese rango es de 2056 msnm y la máxima de 2088 msnm con una inclinación de pendiente promedio de 9.3% y una máxima de 24%. En el perfil Este-Oeste el rango fue de 600 metros; elevación mínima de 2033msnm y máxima de 2097msnm y una pendiente promedio del 10% y máxima del 30%. Actualmente las pendientes pronunciadas que se dan a lo largo y ancho de la comunidad representan una dificultad para el abastecimiento de agua ya que son los recorridos que hacen las mangueras para llevar el agua de un sitio a otro. Sin embargo, puede representar un beneficio para ejercer la captación de agua pluvial ya que al hacerlo por medio del terreno natural y no de una superficie lisa, y al desconocer el coeficiente de escurrimiento del terreno, es necesaria la pendiente pronunciada para lograr una conducción óptima del recurso pluvial.

En Apantzingo, los estanques de agua servirán como cuerpos superficiales para el almacenamiento de agua proveniente de escurrimientos. Deberán localizarse estratégicamente en zonas elevadas de la comunidad entre los 2088 y 2097 metros y de ahí conducir por medio de zanjas el agua y generar otras fuentes de recolección a un nivel más bajo y dentro de la vivienda para lograr tener acceso individual y colectivo al agua.

La precipitación media anual de la localidad es de 576mm y permite el almacenamiento para poder responder a los meses de sequía. La evaporación debe conservarse a través de técnicas de permeabilidad del suelo como la liberación de materia orgánica en el terreno para la mejora de retención de agua y, por lo tanto, la contribución a la condensación y futura precipitación pluvial. Con los milímetros pluviales de la comunidad, también debe realizarse captación del agua en vivienda por techos; estos en su mayoría son de lámina en la comunidad, lo que favorece el escurrimiento al contar con un coeficiente del 0.95% dicho material. El cálculo para conocer la capacidad de recogida de agua se puede consultar en el Anexo 3.

A pesar de que los vientos alcanzan velocidades moderadas, se debe planificar una zona de acuerdo con la ubicación de los vientos en verano para evitar incendios en las zonas con mayor incidencia de viento y sol. Esta zona debe estar delimitada por una barrera vegetal, o una trampa solar, de modo que impida la libre circulación del viento. Lo mismo ocurre en

las zonas altas del Norte donde los vientos dominantes provienen y los vientos fríos podrían generar heladas y afectar los cultivos, razón por la cual se recomienda no ubicarlos en esas zonas.

Para el manejo del sol se emplearán los ángulos solares y su incidencia respecto a las inclinaciones, los cuales servirán para ubicar zonas soleadas y secas o sombreadas y húmedas en las diferentes pendientes del terreno. La aplicación de la gráfica solar a la zona de estudio se aborda en el apartado de aplicación de estrategias y líneas generales de diseño. La ubicación de cultivos con necesidades de temperatura baja o sensibilidad a la exposición prolongada del sol, se deberán ubicar dentro de una trampa de sol, es decir: la ubicación de vegetación colocada estratégicamente para que la incidencia solar no dañe los cultivos. Por lo contrario, los cultivos como el maíz nativo y café que se dan en la comunidad deberán cubrir sus necesidades solares a partir del libre paso de los ángulos de incidencia.

La vegetación endémica siempre es la más viable para el uso de cultivos y hortalizas ya que está adecuada a las variaciones edafológicas y climáticas del sitio. De acuerdo con las especies que se localizan en la zona de estudio, se recomienda que las especies de árboles frutales como: durazno, pera, y zapote, cerca de las viviendas deberán estar cerca de fuentes de agua para contribuir a la absorción reticular de agua por medio subterráneo. Las especies como el ocote, el encino y el pino se podrán utilizar en la ubicación de trampas de sol y vientos para favorecer la cortina vegetal. Las especies como lavanda se consideran especies caducifolias, lo que puede representar un beneficio si se coloca cerca de las viviendas, en el ángulo donde hay mayor incidencia solar y de esa manera generar una barrera natural y mantener un confort térmico de la vivienda adecuado a cada estación. Se sugiere incorporar vegetación de plantas aromáticas como la caléndula, romero y menta; excelentes opciones contra plagas. Se colocarán las especies aromáticas dentro de los cultivos de especies susceptibles a las plagas para ayudar a su prevención. Asimismo; se sugiere sembrar y posteriormente usar, preventivos como el neem para evitar la aparición de plagas. El aceite puro de neem es un insecticida natural para control de larvas y huevos de insectos como áfidos, chupadores, mosca blanca, ácaros, araña roja, gusanos y larvas en general. El uso de fertilizantes naturales como el humus de lombriz auxilia los requerimientos nutricionales de las especies. En caso de que un organismo logre invadir los cultivos, se recomienda usar fungicidas naturales como jabón potásico. Se recomienda tener las hortalizas en el sector más

cercano a la vivienda y a un cuerpo de agua que se encuentre en una loma superior para su riego por gravedad.

El ganado deberá delimitarse a una zona del sector para su buen manejo; debe contar con un cuerpo de agua específico para su hidratación y permitir el libre pastoreo ya que la materia orgánica de sus desechos ayudará al suelo a fertilizarse y mejorar su receptividad hídrica para rellenar los cuerpos acuíferos subterráneos.

Para el desarrollo de acuicultura en el sitio se deberán introducir especies en los estanques o humedales que se decidan incorporar, para tener dos beneficios: el primero es el movimiento de agua gracias al movimiento de las especies, lo que aérea el recurso y no permite que se estanque. El segundo es el acceso a animales para pesca como fuente de alimentación. Las especies que se adaptan con mayor facilidad son las carpas y truchas. Aunado a la selección de fauna, se deberán introducir en los estanques, especies adecuadas de flora que permitan la alimentación de las especies acuáticas.

Respecto al asentamiento humano, las actividades productivas se han visto afectadas debido a los cambios climáticos locales como la tardanza de las lluvias para riego, y por lo tanto, la afectación de sus cultivos. Por ello, se recomienda ubicar cuerpos de agua artificiales como estanques para el almacenamiento y aprovechamiento del agua pluvial y dirigir su uso al riego de zonas de cultivo.

Con los datos obtenidos de las encuestas, se realizó la **caracterización del manejo del agua en Apantzingo (6)**, donde se consideran factores de valoración cultural, natural e histórica, los impactos ambientales de las prácticas en relación con el agua, el conocimiento de los pobladores y los sistemas de abastecimiento que emplean actualmente.

Una de las preguntas planteadas en la entrevista dirigida a los habitantes, fue: ¿Qué piensa cuando le digo la palabra “agua”? y las respuestas fueron relacionadas en su totalidad con dos términos: vida e importancia. El 100% indicó que el abastecimiento a su vivienda proviene de las cajas de agua. De las siete viviendas encuestadas, cuatro cuentan con cisterna como medio de almacenamiento, y las otras tres viviendas almacenan su agua en botes y tambos. Refiere el 100% que no extraen agua de pozo y el 70% considera que el acceso de agua por manguera es bueno, el 30% lo considera regular. Todos los encuestados mencionaron que anteriormente el abastecimiento de agua se hacía con acarreo; caminaban hacia el manantial y con cántaros bajaban agua para sus viviendas.

Al preguntar sobre el acceso al agua en la zona productiva; es decir el agua pluvial, el 40% mencionó que es malo, el 30% que es regular y otro 40% dijo que era bueno. El 100% respondió que tienen dificultades para usar el agua en su zona productiva. Este indicador permite ver que la principal afectación de la comunidad se encuentra en la zona productiva ya que no hay agua para riego por las variaciones de lluvia y porque no almacenan agua ni de lluvia ni del manantial. El agua del jagüey y del manantial no se pueden dirigir a la zona productiva; son únicamente para uso doméstico. Existen en algunas viviendas cisternas hechas *in situ* que se construyeron con materiales otorgados por el CESDER. Las cisternas son de ferrocemento.

La captación de agua de lluvia es una práctica que se realiza en Apantzingo. El 90% de los encuestados respondió que si realiza captación de agua de lluvia; el 30% lo hace por techos que dirigen el agua a tambos, el 60% indicó que lo hace directamente con los tambos o cisternas al aire libre permitiendo que el agua de lluvia se recolecte en ellos y solo el 10% usa zanjas que captan y dirigen el agua de lluvia hacia su cultivo. El 100% aceptaría una propuesta para la implementación de un sistema de diseño que permita captar y manejar el agua de lluvia. El 70% indicó que preferiría que fuera un sistema dentro de la vivienda y el otro 30% aceptaría un sistema colectivo además del de vivienda.

La problemática que envuelve a la práctica de cosecha pluvial en Apantzingo se da por un manejo inadecuado de infraestructura para realizarlo. Actualmente al realizar la recolección pluvial por tambos o cisternas a cielo abierto, el agua que se almacena no pasa por ningún filtro y por lo tanto se recolecta agua con materia que la contamina y es empleada para riego de huerto familiar y actividades domésticas. Por otra parte, el estancamiento del agua la echa a perder y provoca que no se pueda usar en su totalidad y las capacidades de volumen captadas no son suficientes para los meses de sequías. Es importante diseñar los tanques de almacenamiento con un dimensionamiento adecuado para el gasto necesario y los requerimientos de riego de la zona de cultivo. El cálculo se puede consultar en el Anexo 3 y deberá adecuarse a las particularidades que requiere cada zona.

En la figura 29 se muestra la caracterización del manejo de agua que se da en la comunidad de acuerdo con los datos obtenidos.

CARACTERIZACIÓN DEL MANEJO DE AGUA EN APANTZINGO	
Sistema de abastecimiento	Origen: manantial Distribución: Cajas de agua (Registros) Conexión: Manguera de 3"
Promoción de valores culturales, naturales e históricos	Valores culturales: Festividades relacionadas al agua, cuidado de los volúmenes de agua, prácticas conscientes relacionadas al agua, recuperación pluvial. Valores naturales: Cuerpo de agua subterráneo y cuerpo de agua superficial (artificial), escorrentías. Valores históricos: Prácticas de acarreo y organización de mayordomías.
Impactos ambientales	Negativos: Extractivismo de cuerpos de agua Positivos: Implementación de técnicas para recuperación de agua pluvial y ahorro del recurso.
Conocimiento de pobladores	Alta conciencia ambiental, conocimiento medio de estrategias y técnicas para el manejo de recursos naturales.

Figura 29 Elaboración propia con base en metodología de Linares Guerra et al. 2022

Se levantaron encuestas con los habitantes de la comunidad que permiten conocer parte del manejo de agua en las viviendas y zonas productivas. El 100% de los habitantes tiene como fuente de abastecimiento los registros denominados *cajas de agua*. El 70% considera que el acceso al recurso en la vivienda es bueno y el 30% dice que es regular. Sin embargo; el 50% de los habitantes encuestados dijo que el acceso al agua en la zona productivo es malo, el 30% dijo que es regular y el 20% dijo que es bueno.

Respecto a el almacenamiento; el 60% lo realiza en cisterna *in situ* y el 40% almacena el agua en tambos. El agua almacenada es agua pluvial y se recolecta en las cisternas y tambos a cielo abierto. El 10% de la población tiene zanjas que permiten la conducción del agua de lluvia a la zona productiva.

Se realizaron también preguntas de antecedentes históricos donde los habitantes mencionaron que el modo de adquirir el recurso anteriormente era por acarreo con burros y

vasijas de barro; posteriormente se realizó la infraestructura de las *cajas de agua* y así conectar mangueras a sus viviendas. Una de las preguntas de la encuesta fue de simulación, donde se planteaba que, si existiera un sistema para el manejo integral del agua, ¿Qué preferirían los habitantes, que fuera de uso comunitario o únicamente a nivel vivienda? El 70% respondió que prefiere un sistema que sea solo para su vivienda y el 30% a nivel comunitario.

El manejo del recurso hídrico en Apantzingo tiene relevancia ecosistémica y social; lo que permite la receptividad de la comunidad para lograr un mejoramiento en la regularidad del agua tanto a nivel vivienda como a nivel comunidad. Es un elemento con relevancia cultural en la comunidad. Se realizan festividades para agradecer a la naturaleza por el recurso otorgado y en épocas de sequía *piden* por las lluvias. Una sección de las encuestas se diseñó con el fin de obtener elementos que arrojaran antecedentes, creencias y actividades respecto al agua. Como antecedente se toma el acarreo de agua que realizaban para abastecer de agua su vivienda; los habitantes relatan que subían con su burro al manantial y este llevaba cargando cántaros de barro, los llenaban y bajaban a su vivienda. Las creencias respecto al agua tienen un papel relevante en la comunidad ya que muchas de sus festividades se relacionan con el agua y mantienen formas organizativas que adoptan las comunidades, como son las mayordomías.

Se observó que ninguna de las prácticas cuenta con ningún tipo de filtrado de agua, por lo que se propone añadir filtros granulométricos para darle un primer tratamiento al agua. Las especificaciones de los filtros se encuentran en el plano de captación pluvial en la vivienda.

Respecto a las muestras de agua que fueron tomadas de dos viviendas y una poza de agua, el desarrollo del análisis y las conclusiones fueron proporcionadas por la Bióloga Martha G. Ferral Cárdenas y se pueden consultar en el Anexo 2 donde se encuentran los resultados del estudio realizado en el año 2021. Las muestras fueron tomadas de dos viviendas y una poza abierta. Se encontró la presencia de Nitrógeno en las tres muestras de agua, lo cual es regular en concentraciones pequeñas de aguas residuales; en dos de las tres muestras el resultado fue aceptable, excepto en una donde se presentó un nivel de contaminación fuerte para aguas residuales. El problema es que los niveles corresponden a aguas residuales, cuando las tomas fueron obtenidas de agua de uso doméstico y de pozas

abiertas. El pH del agua oscila entre 7.4 y 8.2 y se encuentra dentro de parámetros normales. Las conclusiones generales del estudio, proporcionadas por la Lic. Martha Ferral, fueron que la calidad del agua es aceptable, tomando en cuenta que es agua cruda; es decir: agua obtenida de lluvia, pozas y cuerpos de agua naturales pero para considerar el agua potable, apta para consumo humano, teniendo en cuenta todos sus usos domésticos, es necesario obtener más información considerando la identificación de los principales afluentes, probables aportes de contaminación, calidad de agua cruda con repeticiones para obtener promedio de los resultados y obtener parámetros fisicoquímicos a través del tiempo, a distintas horas, temperatura y profundidades. Considerar los factores ambientales y la eficiencia del tratamiento empleado para la remoción de los tóxicos identificados.

Las estrategias y líneas generales de diseño (9) que se describieron y desarrollaron en el *capítulo 3*, se aplican a continuación a la zona de estudio y de esa manera se aborda cada estrategia con las particularidades que competen a la comunidad.

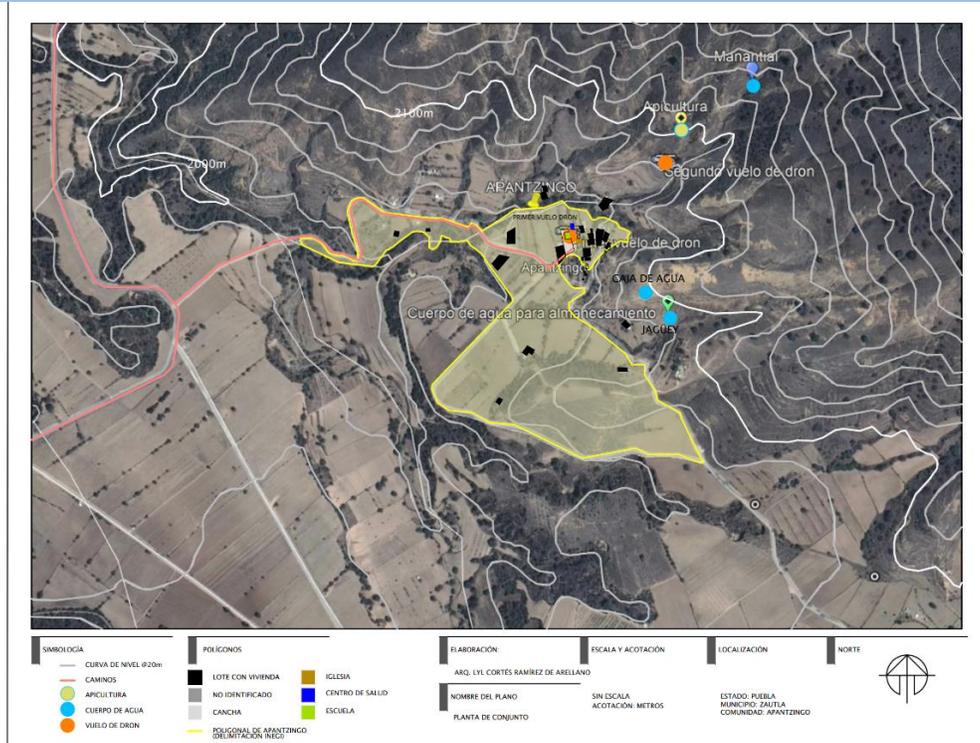
Aplicación de las líneas generales de diseño para el manejo integral del agua pluvial en Apantzingo

Thomas Henfrey menciona en su libro *Permacultura y adaptación al cambio climático*: “La permacultura no cuenta con un conjunto de técnicas prácticas predefinidas, cada ejemplo de aplicación es reflejo de su contexto concreto, incluyendo las necesidades, los intereses y las habilidades de las personas implicadas... aún así, a un nivel más general se pueden observar algunos patrones; situaciones similares en diferentes lugares y proyectos emplean repetidamente estrategias reconocibles” (Henfrey et al., 2018:47). La importancia del análisis de cada contexto en específico radica en que la respuesta a las necesidades de cada lugar, es particular. Por esa razón, es importante evaluar cada sistema en el que incidimos y las relaciones de sus componentes para lograr plantear soluciones efectivas y armoniosas.

Se propone emplear las estrategias en dos escalas: la primera es a nivel comunidad; para lograr un mayor impacto y por lo tanto un mayor beneficio para los habitantes. La segunda es a nivel vivienda para satisfacer las necesidades de consumo en la vivienda y huertos familiares. La **aplicación de las líneas generales de diseño (10)** se realizó en la comunidad Apantzingo y se comunican a continuación. La figura 28 nos proporciona las generalidades de la comunidad en su estado actual, en amarillo se observa la poligonal que delimita a la comunidad según INEGI, la línea roja el camino de acceso y con líneas blancas se representan las curvas de nivel. Los círculos azules representan la ubicación de los cuerpos de agua de la localidad. La figura 29 nos permite observar como se configura actualmente una lote con vivienda de la comunidad Apantzingo y es el lote tipo que se empleará para la aplicación de todas las propuestas. Se eligió ese lote ya que es una de las formas más comunes que se encuentran en los lotes de Apantzingo.

Las figuras 30 y 31 nos sirven para iniciar este apartado con el contexto de la situación actual de la comunidad y sus viviendas y así, ver como serán abordadas las soluciones propuestas.

Comunidad Apantzingo



Lote tipo con vivienda de Apantzingo

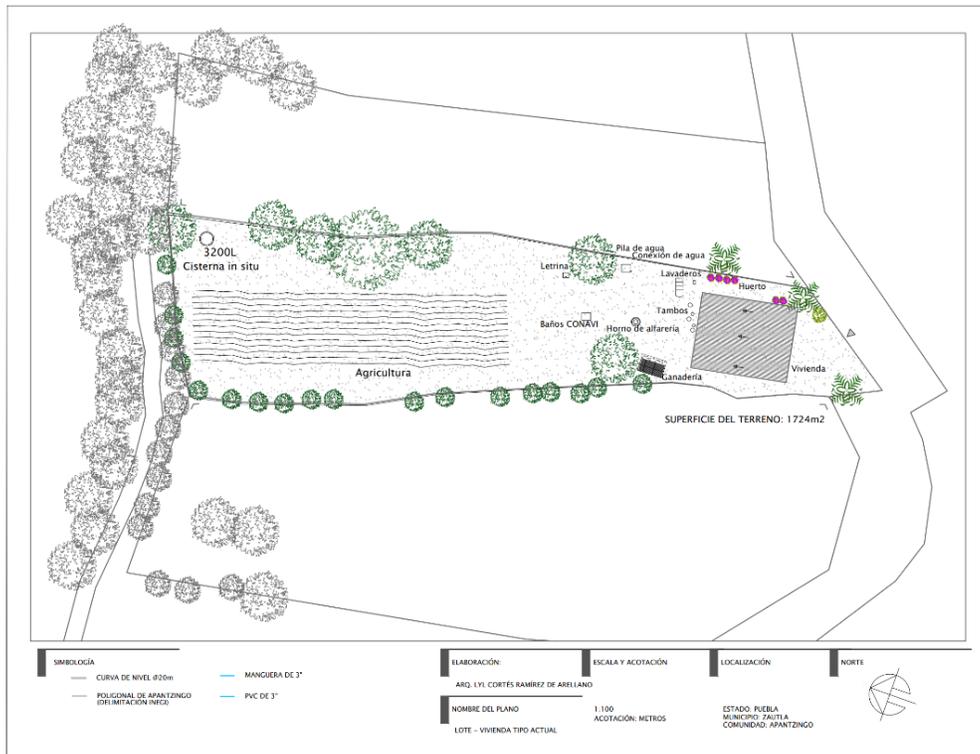


Figura 30. Comunidad Apantzingo. Figura 31 Lote tipo con vivienda. Elaboración propia, 2022.

Diagrama de zonas Se realizó el planteamiento de las zonas situadas de acuerdo con las

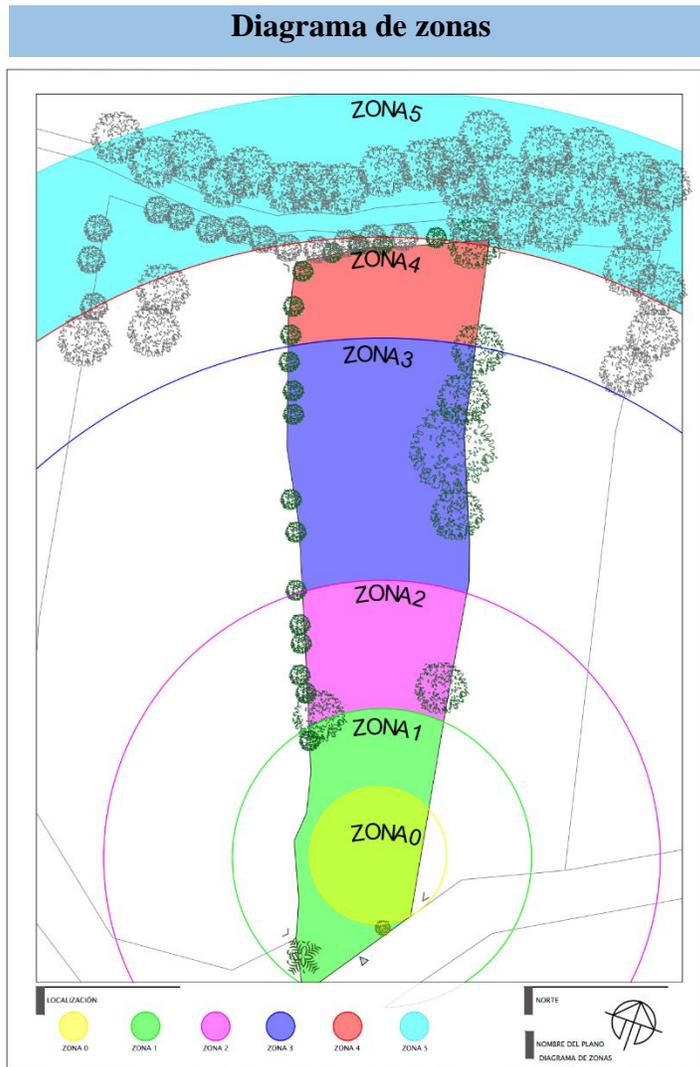


Figura 32. *Diagrama de zonas Apantzingo* Elaboración propia, 2022.

necesidades energéticas dentro de cada zona. En la permacultura es un diagrama que se observa comunmente con un diseño concéntrico que puede emplearse directamente sobre el terreno o aoplar las zonas como mejor convenga. En la figura 32 se observa que se realizó el trazo inicial de manera concéntrica y se deilimitó con la poligonal del terreno tipo. Se sugiere emplear como zonificación inicial colocando la vivienda en la zona cero, el huerto y estanque de almacenamiento de captación de techos de vivienda en la zona uno, en la zona dos se deberá colocar una zona de cultivo pequeña como un invernadero, producción de alfarería y animales como gallos, conejos y cerdos. La zona tres

está destinada a la colocación de árboles frutales, pastoreo y cultivos de mayor tamaño. En la zona cuatro se pueden tener animales de libre pastoreo y la zona cinco está fuera de la delimitación del terreno ya que es uina zona que no se interviene y puede considerarse como la zona de la comunidad próxima al terreno, que estará libre de intervención.

El *análisis del recorrido solar* es uno de los elementos más importantes para proyectar ya que nos permite usar a nuestro favor su incidencia en los lugares que lo deseemos o bloquearlo con elementos cuando no sea conveniente. En Apantzingo el equinoccio de primavera tiene una elevación de 59.34° y azimut de 125.78° , mientras que el

solsticio de verano tiene una elevación de 68.17° y azimut de 75.95° . Se deberán considerar estos datos así como los equinoccios y solsticios de otoño e invierno para lograr una adecuada disposición de sectores.

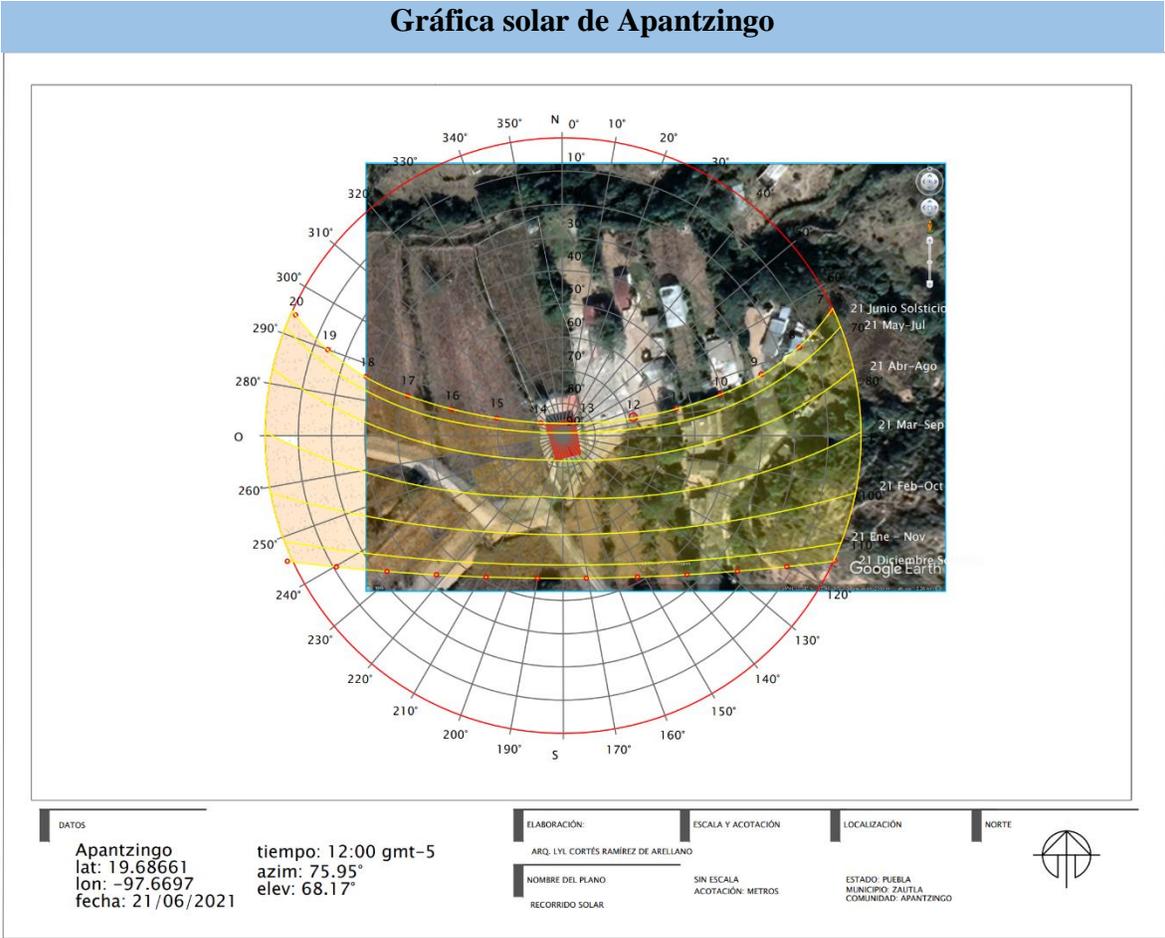


Figura 33. Gráfica solar de Apantzingo. Elaboración propia con base en GoogleEarthPro y SunEarthTools, 2022. Se realizó una lectura de la gráfica solar y se colocó sobre la vivienda tipo para identificar el recorrido de sol en los solsticios y equinoccios. En el plano de la figura 33 se puede ver el recorrido solar aplicado al objeto arquitectónico. En la figura 34 se generó el gráfico del azimut y la elevación solar sobre el mismo objeto arquitectónico; lo que permite colocar elementos que permitan o bloqueen la incidencia solar de acuerdo con las necesidades.

Elevación solar de Apantzingo

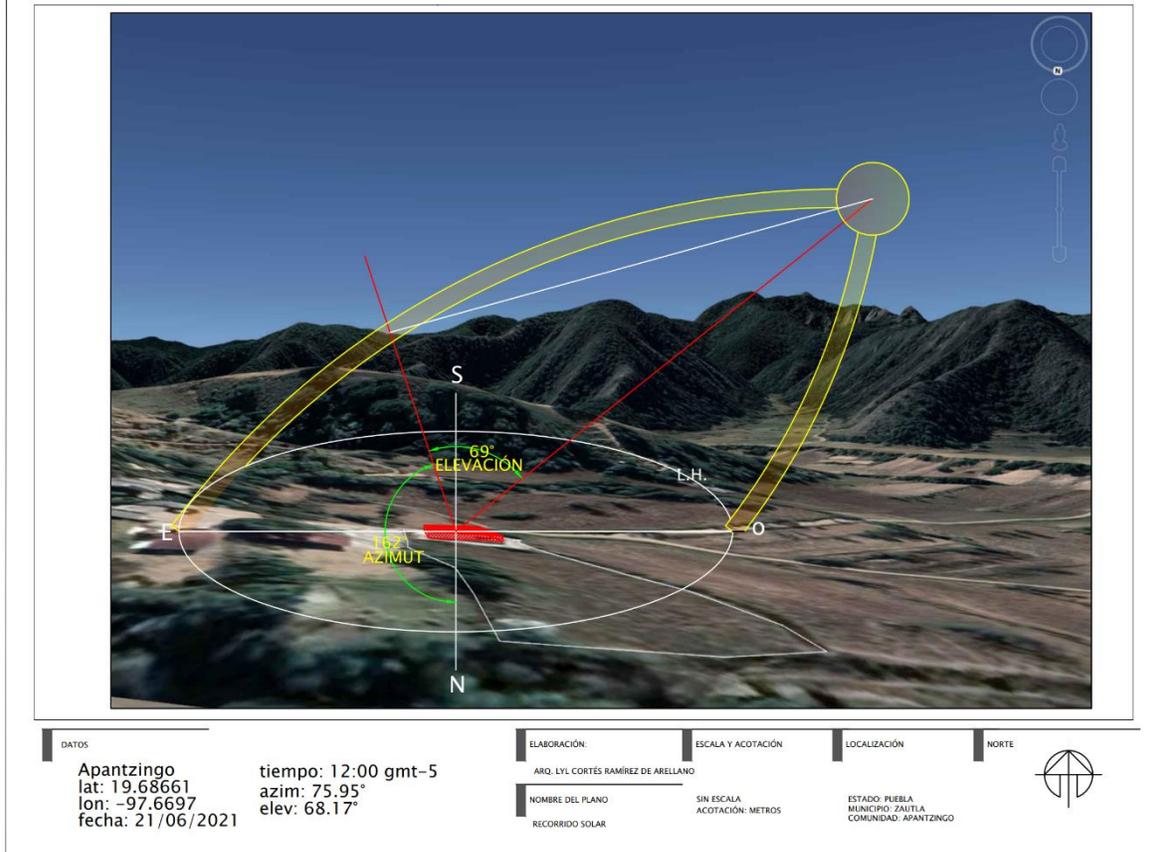


Figura 34. Elevación solar de Apantzingo. Elaboración propia con base en GoogleEarthPro y SunEarthTools, 2022

Los datos solares también se aplicarán en las viviendas para lograr un confort térmico al implementar árboles caducifoleos o perennifoleos de acuerdo con la orientación solar.

Análisis de vientos Los vientos en Apantzingo alcanzan una velocidad moderada de hasta 25 km/h proveniente del norte, es considerada como brisa moderada según la escala de Beufort. Los efectos de este nivel de la escala en la Tierra son la agitación de los árboles y levantamiento de polvo. La rosa de vientos se puede consultar en el Anexo 5. La incidencia de esos vientos en zonas altas y cercanas a los cultivos, acompañada de bajas temperaturas en Apantzingo, provoca heladas, referido así por los habitantes de la comunidad. Se sugiere usar Trampas de sol para el bloqueo de vientos, y solar. Las trampas de sol deberán ser colocadas cerca de las zonas de cultivo para contribuir a su protección pero con la distancia adecuada para que el sol proteja los elementos deseados y no haga sombra a los cultivos.

Se realizó el mapa de la ubicación de puntos y *líneas clave* (Figura 35). Es uno de los puntos clave para el manejo del agua en Apantzingo ya que a partir de la identificación de líneas clave, se aplicaron principios como: zanjas de conducción, irrigación y filtración, localización de estanques, ubicación de zonas de cultivo y cortinas vegetales para filtración del agua. Se explicará como se diseñó sobre una sección del terreno y como las líneas clave contribuyen a la *recogida regenerativa de agua*.

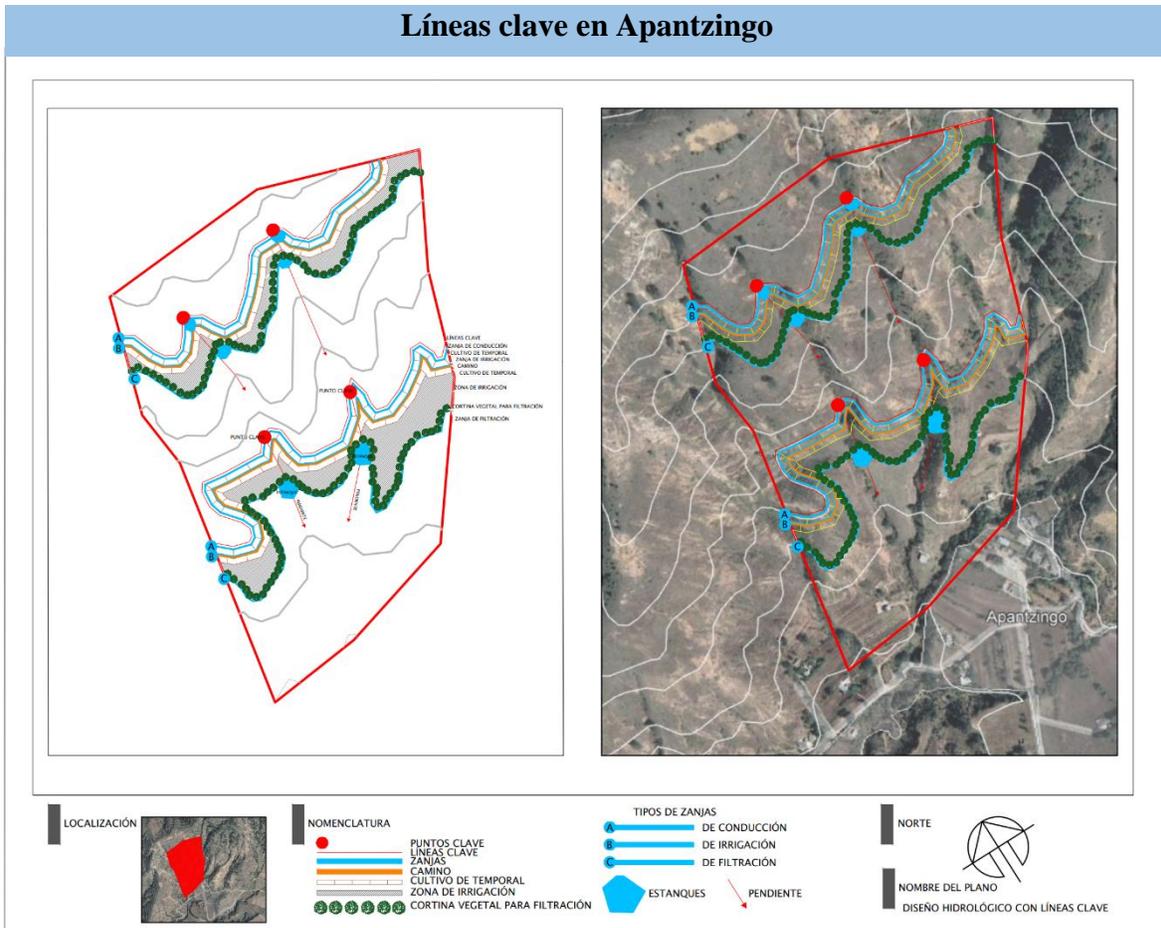


Figura 35. *Líneas clave en Apantzingo*. Elaboración propia, 2022

El planteamiento se realizó sobre una imagen satelital del terreno (lado derecho) y del lado izquierdo se eliminó la imagen para lograr apreciar mejor el planteamiento.

Sección de líneas clave en Apantzingo

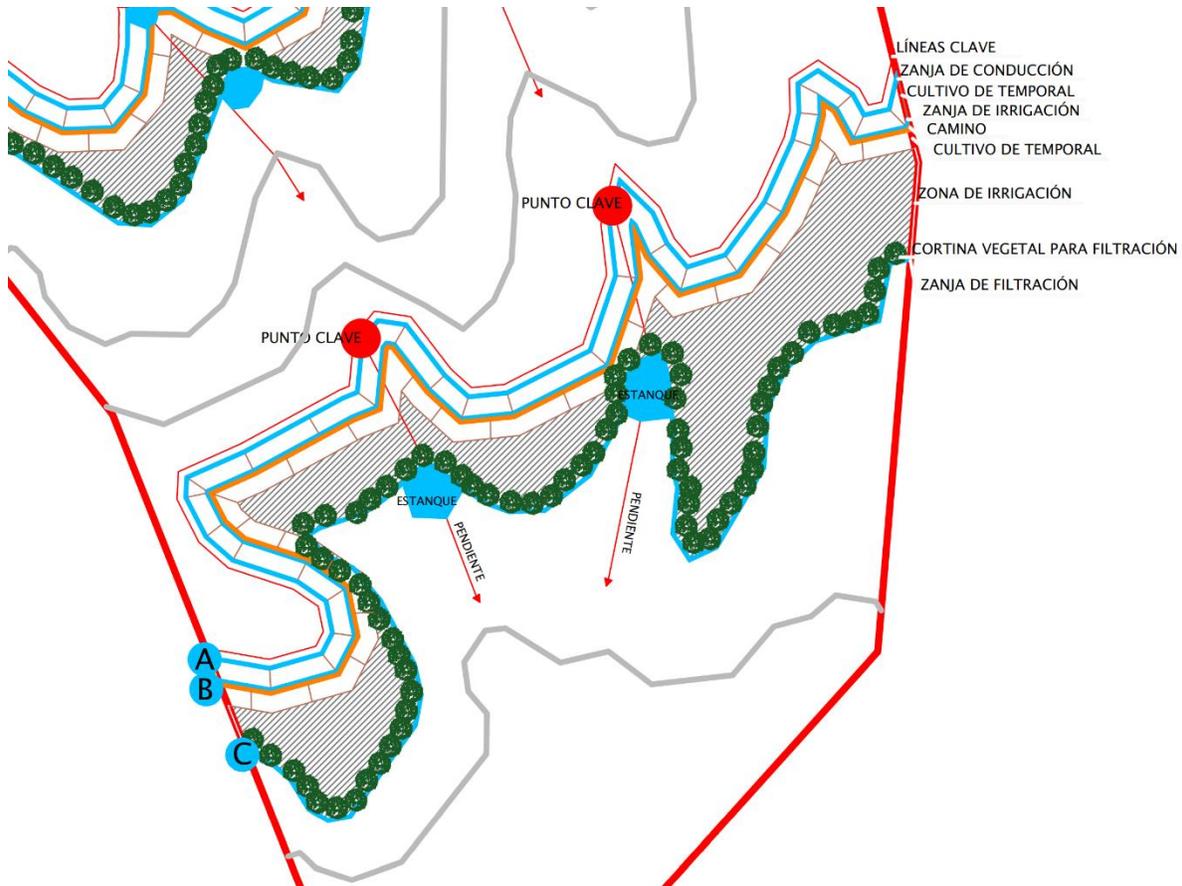


Figura 36. Sección de líneas clave en Apantzingo. Elaboración propia, 2022

En la sección se aprecia con mayor detalle el planteamiento. Se delimitó una sección del terreno (línea roja) y a partir de la lectura de curvas de nivel, se establecieron los puntos clave. Los puntos clave (círculos rojos) se colocaron en zonas donde inicia un valle después de una loma y de esa manera se logrará captar desde ahí la mayor cantidad posible de escurrimientos y conducirlos a través de la línea clave que sigue la curva de nivel. Seguido de la línea clave se localizó la primer *zanja* que es de conducción ya que seguido de la zanja se encuentra un área destinada para cultivo de temporal. La siguiente, es una zanja de irrigación para filtrar agua al terreno. Con una línea naranja se establece un camino. Posterior al camino se encuentra una segunda zona de cultivo de temporal. Con el *ashurado* de líneas diagonales se observa el área destinada a irrigación y los *cuerpos de agua* que están marcados en azul se localizaron en las zonas donde se deprime más el terreno y permite la generación de cuerpos de almacenamiento de agua que se pueden disponer para regar en caso de que el escurrimiento no sea suficiente, o para conducir el agua a otro cuerpo de agua que se encuentre en un nivel inferior. La cortina vegetal que se colocó funge como medio de

filtración para el agua que hasta ahí llegue y finalmente se coloca una zanja de filtración. Se sugiere que el agua de la última zanja, se dirija a estanques que se encuentren más abajo para abastecerlos del recurso.

Los planteamientos anteriores son a nivel comunidad. A *nivel vivienda* se atiende la *captación de agua de lluvia* por medio de techos y el almacenamiento de agua en estanques situados dentro del terreno. Uno abastecido proveniente de las zanjas pertenecientes a las líneas clave y otro con la acumulación del agua pluvial del techo de la vivienda.

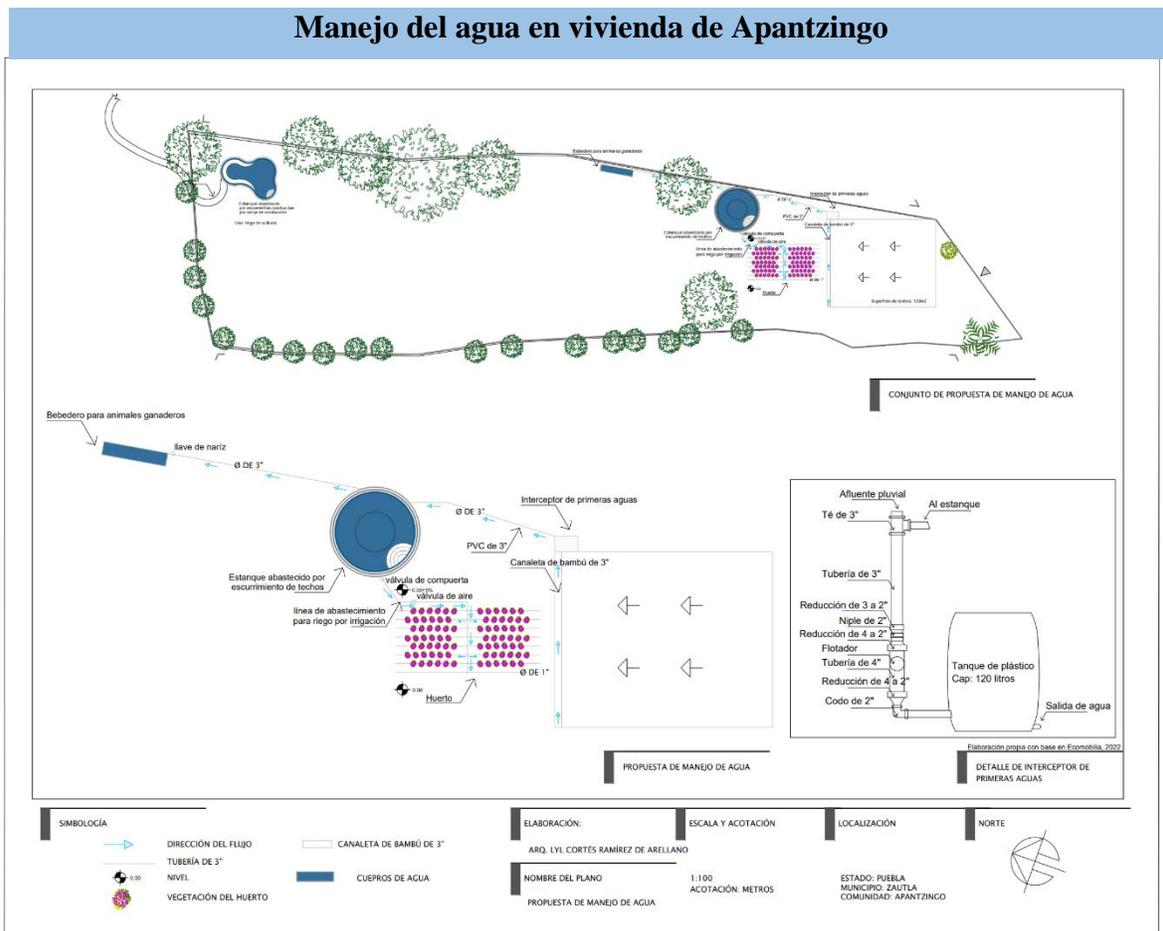


Figura 37. Manejo del agua en vivienda de Apantzingo. Elaboración propia, 2022

En la figura 37 se plantea la propuesta de conjunto para el manejo del agua de manera integral dentro del lote. Se propone tener dos cuerpos de agua dentro del lote; uno destinado para riego de cultivos, que tendrá aguas provenientes de los estanques localizados en el área de líneas clave y será conducido el recurso por medio de zanjas. El segundo estanque será el cuerpo de almacenamiento que contenga el agua pluvial recolectada por techos. Se pueden usar materiales de la región como el bambú de 3" para la colocación de canaletas para

recolectar el agua de techo. Se deberá colocar un interceptor de primeras aguas para la eliminación de residuos en el techo. El detalle con especificaciones técnicas se observa en la figura 34.

El diagrama de funcionamiento se puede ver más a detalle en la figura 38. Inicia con la captación de los escurrimientos por medio del techo de la vivienda, la conducción del recurso con una canaleta de bambú de 3” y la colocación de un interceptor de primeras aguas. El efluente será dirigido con PVC de 3” a el estanque de almacenamiento que deberá contener especies acuáticas para mantener en movimiento al agua. Una salida del estanque se destinará con un tramo del mismo material a un bebedero que tiene llave de nariz y se empleará para la hidratación de animales ganaderos. La otra salida del estanque se dirige para una línea principal que permita el *riego por irrigación* del huerto. Se deberá colocar a su salida una llave de compuerta y en el trayecto de la línea de abastecimiento deberá haber una válvula de aire para evitar sifoneamiento. El nivel de inicio de la red de irrigación deberá ser superior en un 5% al nivel más bajo del huerto. El diseño de las líneas de irrigación se establece de acuerdo con el diseño del huerto. Los tramos se plantean de PVC perforado de 1”.

Sección. Manejo del agua en vivienda de Apantzingo

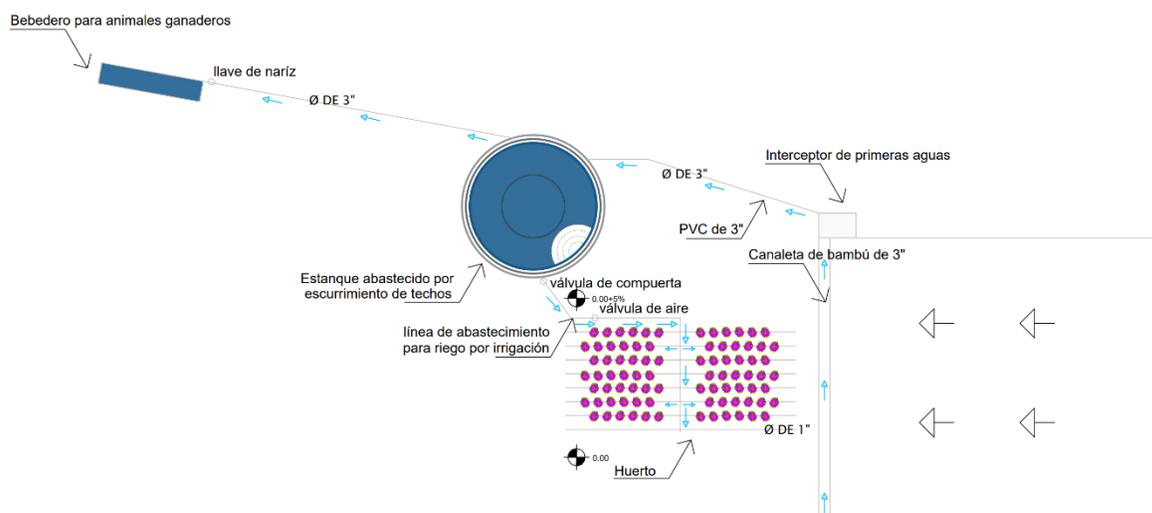


Figura 38. Sección. *Manejo del agua en vivienda de Apantzingo*. Elaboración propia, 2022

Se estima que con una demanda de 89,000 litros anuales se requiere un depósito de 4225 litros, lo que permite un periodo de reserva de hasta 30 días. La demanda de agua se calculó con el uso de muebles sanitarios o el agua destinada para los ellos, independientemente de que la práctica cultural no implique el uso de ellos; la limpieza general por persona de cinco habitantes y el riego de un jardín unifamiliar de 40m². Se recomienda filtrar el agua antes de que ingrese a el depósito de almacenamiento con un tratamiento de granulometría de grava, arena y carbón activado. El volúmen del estanque de captación pluvial se destinará al uso doméstico y deberá tener un volúmen aproximado de 4200 litros. En la comunidad no se destina agua para el uso de sanitarios, por lo que se propone continuar con las letrinas o bien, implementar sanitarios secos que permiten el aprovechamiento de residuos como abono para la agricultura.

Las líneas de diseño que se proponen, contribuyen a el manejo integral del agua pluvial, desde el aprovechamiento de las escorrentías y escurrimientos en techo, hasta las prácticas que permitan la cosecha de alimentos y animales para consumo humano. Los estanques “arriba” permitirán un riego adecuado de las zonas de cultivo; las zanjas permitirán conducir el agua por donde se desee en el terreno lo que además hace una aportación benéfica para el paisaje. En Apantzingo, la consicencia medioambiental es alta; estas recomendaciones permiten tener una relación más armoniosa de los habitantes con su medio natural.

Conclusiones

Realizar estudios científicos con una perspectiva social y un cuidado del medioambiente, es la vía que se debe abrir a más disciplinas para lograr trascender en nuestro medio de forma armoniosa. En ese sentido, la investigación cumple con la constante preocupación de lo que ocurre en contextos como son las comunidades indígenas donde las consecuencias sociales son asimétricas y abre la posibilidad de que el estudio sirva como preámbulo para futuros estudios y para la aplicación de los resultados en pro de el mejoramiento de adquisición de agua en la comunidad.

Respecto al objetivo general que se planteó al inicio de esta investigación, se cumple ya que la propuesta metodológica se planteó de acuerdo con la discusión teórica, el análisis del contexto y las particularidades de la comunidad Apantzingo.

Inicialmente se realizaron preguntas de investigación, que surgieron de la necesidad de responder incógnitas que estaban al descubierto respecto a el agua pluvial y su aprovechamiento. La primera de esas preguntas fue: ¿Cuáles elementos medioambientales y socioculturales condicionan a la comunidad de Apantzingo para el aprovechamiento del agua pluvial? En ese sentido, se realizó un diagnóstico que incluye una amplia caracterización medioambiental y sociocultural de la comunidad. A partir de los resultados obtenidos se concluye que en ambos sentidos la comunidad es apta para implementar un sistema para el manejo de agua pluvial. Apantzingo cuenta con elementos medioambientales tales como su geomorfología, características climáticas, de suelo, de fauna y flora, así como hidrológicas, que permiten la recuperación de las precipitaciones pluviales para uso humano y para contribuir a la recuperación de suelos. Las condiciones actuales son vulnerables, sin embargo, es posible usar las características del medio tal como se encuentran, para lograr una mejora ambiental y por lo tanto pluvial.

Socialmente, Apantzingo es una comunidad resiliente, con organización social comunitaria y con instituciones a su alcance que la apoyan para realizar las acciones necesarias para lograr cambios. Es una comunidad sensible y autosuficiente con la capacidad de implementar el Sistema necesario para mejorar su acceso hídrico.

La segunda pregunta planteada fue: ¿Cuál es la mejor manera de proceder para el diseño de un sistema integral para el manejo del agua pluvial que permita el aprovechamiento del recurso en comunidades indígenas? Es una pregunta con un nivel alto de dificultad para

responder, ya que hablar de manera general de las comunidades indígenas sería un error. Lo que si se puede hacer es hablar de las generalidades de diseño planteadas como líneas de acción, que en su mayoría provienen de la permacultura. La permacultura brinda la posibilidad de proceder con generalidades, siempre que se adecúen al sitio. En ese sentido, la mejor manera de proceder es con la observación del sitio, sus condiciones, la problemática que se genere en ese lugar, los modos de habitar de las personas y las condiciones para hacerlo.

¿Qué líneas generales de diseño de permacultura, consideramos convenientes proponer, para implementar el sistema en comunidades indígenas como Apantzingo? Las líneas generales a seguir inician con los diagramas de sectores y de zonas. Establecer ambos, permite observar al terreno de manera organizada, lógica y sistemática para lograr maximizar los impactos positivos del medio natural en beneficio de las personas y de los animales y especies que comparten territorio. El análisis solar y de vientos es indispensable en cualquier proyección desde la perspectiva medioambiental, es un elemento que no proviene directamente de la permacultura pero si lo considera en sus proyecciones y es necesario para generar paso a estos elementos o bloqueo si es necesario. En el sentido de manejo del agua, las estrategias generales que propone la permacultura son las líneas clave del paisaje, zanjas de infiltración y drenaje, estanques y recolección pluvial en vivienda; estrategias que integradas, contribuyen de manera importante al abastecimiento continuo de agua tanto en la vivienda como en el campo.

Las aportaciones generales de esta investigación son a nivel metodológico y a nivel social y medioambiental. A nivel metodológico, se aplicó la propuesta para evaluar su operacionalidad. La propuesta tiene las características necesarias para ser aplicada en otras realidades y de esa manera no cerrar el estudio a un solo sitio; si no, expandirlo a más comunidades. La misma contribución incide en el ámbito social; ya que dirigir miradas a comunidades que suelen ser rezagadas, expande la consciencia y la preocupación que deberíamos tener todas las personas sin importar si el territorio que habitamos se encuentra en una ubicación u otra. Los habitantes de Apantzingo refirieron sentir gusto de tener estudiantes en su comunidad que se preocupan por la problemática local en la que se encuentran.

Ambientalmente es necesario preocuparse más en el campo científico, pues es una de las vías más grande de desarrollo y de realización. Somos un ser vivo más, una especie más y falta un cambio de paradigma antropocéntrico para replantear la forma en que nos relacionamos con nuestro medio natural y solo a través de las instituciones que tienen más incidencia social es como se puede iniciar con ese cambio de paradigma para lograr en algún momento relacionarnos sin invadir, sin explotar y sin querer modificar a toda costa para nuestro beneficio, a la naturaleza.

Un objetivo común de todos los habitantes es contar con agua para el riego de sus cultivos. Apantzingo es una comunidad con alto respeto y conciencia medioambiental por lo que es apta para la implementación de prácticas que integran las innovaciones tecnológicas y los conocimientos ancestrales. Una alternativa viable para la comunidad es diseñar un modelo de organización social horizontal que permita gestionar los recursos hasta lograr el beneficio colectivo. Se deben establecer consejos para la toma de decisiones, grupos de trabajo, asambleas y comunidad en general para lograr organizarse y mantener relaciones sostenibles sin principios de jerarquía.

Los diagnósticos medioambiental y sociocultural arrojan datos que señalan que la comunidad es una comunidad apta en ambos sentidos para implementar soluciones prácticas para que se dé una relación beneficiosa para los habitantes al adquirir el recurso hídrico y combatir así la irregularidad de acceso al agua y por otra parte para la naturaleza que necesita también ser vista y contemplada en las actividades humanas no para la explotación, si no para la vinculación armoniosa de nuestras prácticas en su medio.

Los principios de la permacultura que se emplearon nos permiten conducir la práctica de diseño con bases éticas y considerando un diseño armonioso con la naturaleza como lo propone la disciplina. El principio 2 “Captura y guarda energía” se aplicó con las propuestas que permitan el aprovechamiento del agua pluvial como son las líneas clave, los estanques y las zanjas. El principio 5 “Usar y valorar los servicios y recursos renovables” se emplea al usar materiales de la región y estar receptivos a todo lo que se encuentre en la comunidad para su uso responsable. El siguiente principio que se aplicó fue el principio 7 “Diseño de los patrones a los detalles” éste es uno de los principios fundamentales en la investigación ya que al abordar la unidad de análisis la visión es amplia y se va reduciendo la escala hasta llegar a las particularidades del asentamiento humano. Los patrones fueron otorgados por las

curvas de nivel del terreno que permitieron valorar los espacios viables para la ubicación de cuerpos de agua y zonas de cultivo. El principio 8 “Integrar más que segregar” nos llevó a la conclusión de brindar soluciones colectivas en las que se beneficien todos los miembros que habitan la comunidad y que se entrelacen relaciones armoniosas entre los habitantes para lograr un esfuerzo colectivo y asimismo encaminar a los habitantes a participar unos con otros en la elaboración de las estrategias para el manejo del agua. El principio 9 “Usar soluciones lentas y pequeñas” es necesario en la aplicación de estrategias de diseño como las que se proponen, ya que no serán cambios que se logren en periodos cortos de tiempo. Pero, el crecimiento excesivo ha traído desventajas que a diferencia de los cambios lentos y reflexivos proporcionan soluciones beneficiosas para la sociedad y para la naturaleza. Finalmente, el principio 12 “Usa y responde creativamente al cambio” nos habla de una cualidad que podemos replicar de la naturaleza: la resiliencia. Así como la Tierra es resiliente, hasta cierto límite, las personas también podemos serlo y debemos encontrar formas de adaptarnos a los cambios. En Apantzingo las variaciones pluviométricas causadas por el cambio climático han afectado los cultivos de temporal y por eso es necesario crear adaptaciones para continuar adquiriendo los recursos vitales pero sin explotar más al medio natural.

Limitaciones generales y consideraciones futuras

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación, se determina que se debe profundizar más en abordar el objeto de estudio como un sistema complejo. Establecer de manera más profunda sus componentes, las relaciones entre ellos y profundizar más en cada una de ellas. De manera general la limitación más importante fue el tiempo, por lo que se espera continuar con el estudio del Sistema en una investigación posterior a partir de lo adquirido en ésta investigación.

Respecto a los diagnósticos realizados, se espera lograr profundizar más en estudios posteriores, específicamente en el área hidrográfica con la generación de perfiles hidrológicos que complementen la información descrita en el presente documento. Existe amplia información técnica, teórica y multidisciplinaria para lograr generar estudios más específicos respecto a la hidrología del sitio.

En el análisis de bioindicadores, los resultados fueron parciales debido a que el muestreo fue transversal. En futuros análisis se considerarán las recomendaciones de la bióloga encargada de realizar el estudio para lograr obtener datos más contundentes respecto a la calidad de agua en Apantzingo.

Se espera continuar en la práctica académica y científica para generar más datos que permitan en un punto lograr la aplicación real e incidir directamente en el fenómeno social y ambiental que se ve afectado, motivo principal de esta investigación.

Referencias

ALFIE, Miriam (2005) *Democracia y desafío medioambiental en México*. UAM Azcapotzalco – Ediciones Pomares, S.A., México.

AMEN, et al., (2011) *Manual Huella ecológica datos y rostros de la secretaria del medio ambiente*. Recuperado de: www.sema.gob.mx (junio 2021)

ASAMBLEA GENERAL de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), (2010) *El derecho humano al agua y el saneamiento*. Recuperado de: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N09/479/38/PDF/N0947938.pdf?OpenElement> (abril 2021)

CAPRA, FRITJOF (1975) *El tao de la física*. Editorial Sirio, S.A., (13ª ed.), Málaga, España.

CAPRA, FRITJOF (1998) *La trama de la vida*. Editorial Anagrama, Barcelona, España.

CATHALIFAUD, Marcelo Arnold., Osorio Francisco (1998) *Introducción a los conceptos básicos de la Teoría General de Sistemas*. Facultad de Ciencias Sociales. Chile.

CESDER-PRODES, (2020) *Foro, conoce sobre el derecho humano al agua*, Recuperado de: <https://es-la.facebook.com/pg/CESDER85/posts/> (Facebook), (16 julio 2020)

CESDER-PRODES, (2020) *Nuestra misión y visión*, Recuperado de: <https://www.cesderprodes.com/nuestra-vision>. (16 julio 2020)

CENTRO Virtual de Información del agua (2017) Recuperado de: <https://agua.org.mx/> (abril 2021).

CUPREDER (2016). *Subcuenca hidrológica del Río Apulco*. Recuperado de: https://cupreder.buap.mx/sites/default/files/Subcuenca_hidrologica_del_rio_Apulco_Ev.pdf

CUTIE Cansino, Virgen y Martín Fernández, Rafael y Martínez Díaz, Onay y Ricardo Calzadilla, Martha Paula y Gómez Arias, Abel (2020), "*Estudio de las precipitaciones para el diseño de sistema de captación de agua de lluvia*." Revista Ingeniería Agrícola, Vol. 10, núm.2, pp.28-36 Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586263256005>
<https://www.depositoscisternas.com/Tutoriales/Tutorial-Recuperacion-Pluviales/DimensionamientoCisternaPluviales#:~:text=El%20dimensionado%20de%20una%20cisterna,la%20superficie%20de%20recogida%20de> (mayo 2022)

DICCIONARIO panhispánico del español jurídico (2020). *Aguas de consumo humano*. Recuperado de: <https://dpej.rae.es/lema/aguas-de-consumo-humano>

ECOMOBILIA (2022) *Interceptor de primeras lluvias*. Recuperado de: <https://ecomobilia.com/blog--manuales/sistema-de-captacin-de-agua-lluvia-23> (noviembre 2022)

FERNÁNDEZ Cirelli, Alicia (2012), "*El agua: un recurso esencial*." *Química Viva*, Vol. 11, núm.3, pp.147-170 Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002> (mayo 2022)

FCEA (2011) *Fondo para la comunicación y la educación ambiental*. Recuperado de: agua.org.mx (septiembre 2021)

FONSECA, Omar, (2011) *Captación de agua de lluvia para comunidades rurales*, México.

- FOSTER (2008). *La ecología de Marx. Materialismo y Naturaleza*. El viejo topo. Barcelona
- GARCÍA, Rolando (2008) *Sistemas Complejos, conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Editorial Gedisa. Barcelona, España.
- GARCÍA Velázquez, J. H., (2012). *Sistema de Captación y Aprovechamiento Pluvial para un Ecobarrio de la Cd. de México*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- H. AYUNTAMIENTO DEL MUNICIPIO DE ZAUTLA, (2018). *Plan de desarrollo municipal de Zautla*, Puebla 2018-2021, México.
- HENFREY, Thomas (2018) *Permacultura y adaptación al cambio climático*. Ed. Kaicron, Argentina.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.Creswell,
- HOLMGREN, David. (2002) *Permacultura principios y senderos más allá de la sustentabilidad*. Ed. Kaicron, Argentina.
- HOLZER, Sepp. (2015) *Renaturalización: la permacultura de Holzer*. Trillas, México.
- HUERTA, María Guadalupe, Serrano, Ignacia, Comunidad, Marco Antonio, (2008) *Zautla de la A a la Z un ejemplo de autogestión del desarrollo social*, Cesder Prodes, A.C., México.
- HUGUES, Ronnie Torres. (2019). *La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente*. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 40(2), 125-139. Recuperado en 14 de octubre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200125&lng=es&tlng=es.
- INEGI, (2010), *Catálogo de localidades*. Recuperado de: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=212120003>, (24 julio 2020)
- INSTITUTO mexicano de tecnología del agua (2019). *¿Qué es una cuenca?* Gobierno de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-una-cuenca-211369#:~:text=Una%20cuenca%20es%20un%20territorio,les%20llama%20E2%80%9Ccuencas%20hidrogr%C3%A1ficas%E2%80%9D>.
- KUHN, Thomas S. (1962) *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura económica (4ª ed.), México.
- LARRAIN, H., (1993). *¿Pueblo, etnia o nación? hacía una clarificación antropológica de conceptos corporativos aplicables a las comunidades indígenas*. Revista de Ciencias Sociales (28-53). Chile.
- LOVELOCK, James (2006) *La venganza de la tierra*. Editorial Planeta, Barcelona, España.
- MACNAMARA, L. (2019) *La Gente y la Permacultura*. Ediciones Kaicrón, Castellón, España.
- MARS, Ross & Willis, Simone (2021) *Cómo hacer tu vida más verde con la Permacultura*. Ediciones Kaicrón, Castellón, España.

MATURANA, Humberto y Varela, Francisco (2003). *El árbol del conocimiento*. Coedición Lumen. Editorial Universitaria.

MASERA, Omar, Astier Marta, López Ridaura, Santiago, (2000) *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales*. Instituto de ecología Universidad Nacional Autónoma de México, México.

MERTENS, D. M. (2015) *Research and evaluation in education and psychology* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage

METEOBLUE (2022). *Rosa del viento*. Recuperado de: <https://content.meteoblue.com/es/modos-de-acceso/history/rosa-del-viento> (junio 2022)

MORIN, Edgar (1990) *Introducción al pensamiento complejo*. Editorial Gedisa. Barcelona, España.

MORROW, R. (2018) *Guía de permacultura para uso de la tierra*. Castellón: Ediciones Kaicrón.

PERMACULTURE Principles (2022) Principios. Recuperado de: <https://permacultureprinciples.com/es/index.php> (octubre 2022)

PERMAMED (2022) *Las zonas en la Permacultura*. Recuperado de: <https://permamed.org/las-zonas-en-la-permacultura/> (abril 2022)

RESNICK, Mitchel (2001) *Tortugas, termitas y atascos de tráfico*. Gedisa. Barcelona, España.

ROCKSTROM et al., (2009) *Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity*. *Ecology and Society*. Recuperado de: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

SEMARNAT (2022) *Los suelos de México*. Recuperado de: https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/03_Suelos/3.1_Suelos/index.htm (junio, 2022)

Anexos

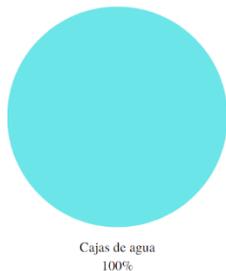
Anexo 1 – Instrumentos de recolección

Diseño de instrumentos de recolección

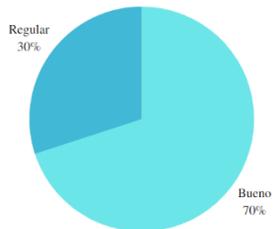
INSTRUMENTO	DIRIGIDA A:	DISEÑO
Entrevistas Consultar en Anexo 1	Promotores comunitarios: <ul style="list-style-type: none">○ Lic. Nivelás Marreros Lobato, promotor comunitario de Apantzingo○ Diana Hernández Baltazar, promotora comunitaria de Contla	Diseño de guión semiestructurado de orden secuencial con preguntas abiertas bajo el enfoque de la visión deliberativa y emancipadora, según (Álvarez-Gayou, 2003) que se basa en la interpretación humana y la comunicación interactiva, misma que pretende no solo que los participantes generen un profundo cambio social, si no que crea conciencia entre los individuos sobre sus circunstancias sociales y la necesidad de mejorar su calidad de vida (Sampieri et al., 2014). Se diseñaron a partir de la clasificación de (Mertens, 2015) la cual establece que las preguntas pueden ser de: opinión, de expresión de sentimientos, de conocimientos, de antecedentes y de simulación
Encuestas Consultar en Anexo 1	Habitantes de la comunidad	Diseño de preguntas estructuradas de orden secuencial con preguntas abiertas bajo el enfoque de la visión deliberativa y emancipadora, según Álvarez-Gayou (Álvarez-Gayou, 2003) que se basa en la interpretación humana y la comunicación interactiva, misma que pretende no solo que los participantes generen un profundo cambio social, si no que crea conciencia entre los individuos sobre sus circunstancias sociales y la necesidad de mejorar su calidad de vida (Sampieri et al., 2014). Se diseñaron a partir de la clasificación de Mertens (Mertens, 2015) la cual establece que las preguntas pueden ser de: opinión, de expresión de sentimientos, de conocimientos, de antecedentes y de simulación
Cédulas de información Consultar en Anexo 1	Viviendas de habitantes de la comunidad	Diseño de cédula dividido en secciones para evaluar indicadores de la comunidad en relación con su vivienda y el abastecimiento de agua. Sección 1: Variable Vivienda / tipo de material, tipo de material de la cubierta, tipo de baños, tarjas y tipo de abastecimiento de agua. Sección 2: Variable Tipo de abastecimiento en la zona productiva / actividad productiva, Tipo de abastecimiento de agua y cantidad y frecuencia de uso de agua.

Estadísticas respecto al agua

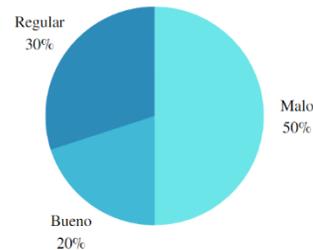
Fuente de abastecimiento



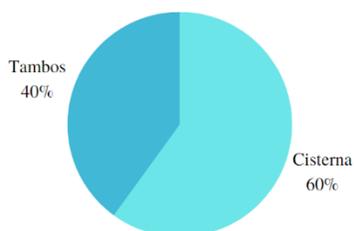
Acceso al recurso en vivienda



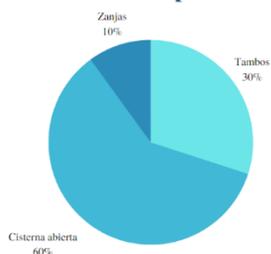
Acceso al recurso en campo



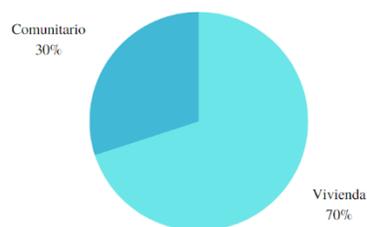
Tipo de almacenamiento



Recolección pluvial



Simulación de implementación



Anexo 2 - Análisis de bioindicadores

Recolección y análisis de muestra de agua

Se tomaron tres muestras de agua y fueron analizadas con tiras reactivas usando la aplicación ProScanJBL para obtener bioindicadores en campo.



Muestra	#1	#2	#3	Descripción del indicador	Interpretación del especialista
Lugar	Poza abierta	Vivienda A	Vivienda B		
Nitrato (NO ₃) mg/l	10	25*	10	La presencia de nitrógeno total, sumando las concentraciones de	Regularmente el nitrato se encuentra en pequeñas

				nitritos y nitratos se considera un contaminante básico según la NOM-001-SEMARNAT-1996.	concentraciones en aguas residuales domésticas; se identifica como un nutriente esencial para organismos autótrofos fotosintéticos como microalgas, siendo así un determinante para el crecimiento de los mismos microorganismos. Los resultados arrojados demuestran un nivel aceptable para agua cruda, excepto en la muestra #2 que presenta un nivel de contaminación fuerte para aguas residuales.
Nitrito (NO ₂) mg/l	0,25	0,25	0,25	El nitrito se considera una etapa intermedia en el ciclo del nitrógeno, al estar presente en el agua sirve de indicador de la descomposición biológica de materiales protéicos. NMX-AA-099-SCFI-2006	El nitrógeno de nitritos rara vez aparece en concentraciones mayores a 1 mg/L, aún en afluentes de plantas de tratamiento municipales. Su concentración en aguas superficiales y subterráneas es normalmente más baja de 0,1 mg/L. Los resultados arrojados nos indican que está dentro del rango normal, ya que jse están tomando de aguas naturales, llámese aguas crudas incluyendo pozas que suelen estar bien oxigenadas.
Dureza total (GH)	>21°d	>21°d	>21°d	El GH es la dureza general, básicamente abarca todas las sales disueltas en el agua. A través del GH podemos clasificar el agua en grados de dureza.	*Estos parámetros al estar en grados alemanes no son significativos para nuestro estudio, estos parámetros, en estas unidades, se analizan en acuarios para evitar la acidificación del agua y la muerte de los peces dentro del mismo. Para estudio de aguas de consumo humano se necesita obtener las unidades en mg/l.
Dureza de carbonatos (KH)	20°d	20°d	20°d	También llamada dureza temporal del agua, corresponde a la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio. No se ha definido como un parámetro dañino para la salud,	*

				sin embargo se asocia con la presencia de jabones y detergentes. La presencia excesiva puede favorecer la formación de sedimentos dentro de las tuberías.	
Valor del pH	7.4	8.2	7.6	El potencial de hidrógeno (pH) en un indicador en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la coagulación y la desinfección. El rango permisible del pH es de 5 a 10 unidades en aguas duras y/o tratadas; para agua potable se establece el rango de pH 6.5 a 8.5.	El pH para el agua potable se encuentra por lo general entre 6.5 y 8.5, aunque se pueden presentar ligeras variaciones, en el presente estudio se encontraba entre 7.5, 8.2 y 7.6 respectivamente en los tres lugares de muestreo, lo que indica que se encuentra de los parámetros normales.
Cloro mg/l	0,8	0	0	La presencia de Cl ⁻ en los cuerpos de agua se presenta de forma natural por efecto de los arrastres provocados por las precipitaciones así como por desechos de plantas de explotación y de curtidoras.	Este parámetro solo se encontró en la muestra #1 que era del agua de la poza, esto se explica ya que la concentración del ion cloruro suele estar directamente relacionado con la litología predominante y con el tiempo que el agua permanece dentro del reservorio, en este caso el reservorio es la poza.
Dióxido de carbono (CO ₂) mg/l	20	>15	15	Las aguas naturales contienen cantidades significativas de CO ₂ disuelto como resultado tanto de la disolución del dióxido de carbono atmosférico como de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. El CO ₂ en presencia de agua forma ácido carbónico permitiendo neutralizar corrientes líquidas alcalinas.	El CO ₂ se disuelve en el agua, los valores obtenidos en el presente junto con los datos del pH nos indican que están dentro de los valores normales.

Análisis realizado por: Biól. Martha G. Ferral Cárdenas, 2021.

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Se conoce como *agua potable* al agua que ha sido tratada con el objetivo de hacerla apta para el consumo humano, teniendo en cuenta todos sus usos domésticos. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar.

Por los parámetros obtenidos en el estudio de campo se puede determinar que la calidad del agua es aceptable, tomando en cuenta que es agua cruda (llámese al agua obtenida de lluvia, cuerpos de agua naturales, pozas) la que se está analizando.

Para obtener más información sobre la potabilización de esta agua es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones:

- la identificación de los principales afluentes y/o probables aportes de contaminación que puedan influir en los parámetros fisicoquímicos,
- La calidad del agua cruda, teniendo en cuenta todos los parámetros que pueden influir en la salud de los consumidores,

- c) Tener en cuenta los factores ambientales que pueden influir en el cuerpo de agua y su comportamiento, ya sea temperatura, profundidad, clima promedio de la región,
- d) La eficiencia del tratamiento empleado en la remoción de los tóxicos identificados, en caso de reportarse,

Recomendaciones:

Realizar repeticiones para así tener un promedio de los resultados, además de analizar cómo se comporta los parámetros fisicoquímicos a través del tiempo, a distintas horas, temperatura y diferentes profundidades.

Tomar en cuenta el Índice de Calidad de Agua (ICA) para un mejor análisis, reportando los siguientes parámetros: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), con el objeto de mejorar el criterio de evaluación de la calidad del agua que permita considerar la mayoría de las condiciones de las estaciones de medición de la Red Nacional de Monitoreo.

Particularmente en ciertos fisicoquímicos, para un mejor análisis sobre la concentración de Cl^- se recomienda valorarla por titulación con AgNO_3 y el resultado se expresarlo en mg L^{-1} . Para la dureza total (DT) se recomienda llevar a cabo el método de titulación con etilendinitrilo tetracetato (EDTA) y el resultado se presentarlo en mg L^{-1} . Para el (CO_2) se analiza según el Índice de Calidad de Agua de SEMARNAT y se clasifica en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOi) Y Demanda Química de Oxígeno (DQO), respectivamente.

Referencias:

- Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas - Determinación de pH - Método potenciométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.
- Norma Mexicana NMX-AA-099 - Determinación de nitrógeno de nitritos - Agua potable, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de febrero de 1987.
- Norma Mexicana NMX-AA-079 Aguas Residuales - Determinación de nitrógeno de nitratos (Brucina), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de abril de 1986.
- NOM-001, 002 y 003-SEMARNAT-1996.
- Compendio de Estadísticas Ambientales Edición 2013. Semarnat, Dirección General de Estadística e Información Ambiental

Anexo 3 – Cálculos técnicos

Cálculo de dimensionamiento de depósito para aguas pluviales

Para el cálculo se realizará el ejercicio al tomar en cuenta una vivienda y sus condiciones promedio dentro de la comunidad. En las encuestas los habitantes refirieron el número de habitantes que viven en la vivienda y los materiales de cubiertas. Con base en esos datos se realizó el cálculo.

Datos:

Número de habitantes: 5 (*Dato arbitrario para ejemplificación*)

Dimensiones de cubierta: 30m² (*Dato arbitrario para ejemplificación*)

Material de cubierta: Lámina corrugada (*Dato arbitrario para ejemplificación*)

Coefficiente de escurrimiento de cubierta (k): 0.8

Jardín familiar: 40m²

Pluviometría de Apantzingo: 576mm precipitación media anual = 576 l/m²/año. (Dato obtenido de la estación meteorológica con clave CONAGUA 21111, que se encuentra a 3.2Km de Apantzingo)

1. Cálculo de capacidad de recogida de agua

Volumen de agua pluvial (l/año)	=	Pluviometría anual (l/m ² /año)	x	Dimensiones de cubierta (m ²)	x	Coefficiente de escurrimiento
13,824 (l/año)	=	576 (l/m ² /año)	x	30 (m ²)	x	0.8

2. Cálculo de demanda de agua

Demanda de agua (l/año)	=	Uso W.C (l/persona/año)	+	Limpieza general (l/persona/año)	+	Riego de jardín (m ² x200)
89,000 (l/año)	=	8,800 (l/persona/año)	+	1000 (l/persona/año)	+	8000 (Litros/año)
	=	44,000 (l/año)	+	5000 (l/año)	+	40,000 (l/año)

Cálculo del volumen del depósito

$$\begin{array}{r} \boxed{\text{Volumen del depósito}} \\ \boxed{(l)} \\ \hline \boxed{4,225.6 \text{ (litros)}} \end{array} = \frac{\boxed{\text{Volumen de agua}} + \boxed{\text{Demanda de agua}}}{\boxed{2}} \times \frac{\boxed{\text{Días periodo}}}{\boxed{365}} \\ \hline = \frac{\boxed{13,824} + \boxed{89,000}}{\boxed{2}} \times \frac{\boxed{30}}{\boxed{365}} \\ \hline \begin{array}{l} \boxed{\text{(litros)}} \\ \boxed{\text{(litros)}} \end{array}$$

Anexo 4 – Archivo fotográfico de la visita de campo













