

PORTADA

APLICACIÓN MULTIPLATAFORMA BASADA EN CIENCIA CIUDADANA PARA EL MONITOREO DE LLUVIA EN EL MONTE TLÁLOC

INTRODUCCIÓN

Las montañas actúan como barreras orográficas que obligan a las nubes a elevarse y enfriarse, lo que genera precipitaciones más abundantes en comparación con los valles circundantes (Cruz, 2021). Sin embargo, la medición de estas lluvias en zonas montañosas suele ser limitada debido a su difícil acceso y a la falta de vigilancia para el mantenimiento de instrumentos de medición (Aparicio, 1992). Esta situación es crítica en ecosistemas como los bosques, donde la información sobre precipitación resulta fundamental para su conservación y manejo. Los bosques templados de montaña, como los del Monte Tláloc en México, enfrentan múltiples desafíos, entre ellos la deforestación, la fragmentación del hábitat y los efectos del cambio climático. Este último ha generado alteraciones en los patrones de precipitación y temperatura, impactando negativamente la biodiversidad, los ciclos hidrológicos y los servicios ecosistémicos que estos bosques proporcionan (González et al., 2016).

Actualmente el ejido tiene participación en los programas forestales con 1628 hectáreas de superficie forestal en Monte Tláloc y ante la CONAFOR se tienen registradas 248 hectáreas para aprovechamiento forestal (García, 2023). En el Monte Tláloc, las extracciones por nivel altitudinal parecen estar relacionadas con la elevada mortalidad de árboles en las categorías más pequeñas, sin embargo, la intensidad y nivel de extracción de madera no parecen representar una amenaza que ponga en riesgo la viabilidad poblacional de *Abies religiosa*; la categoría diamétrica más pequeña parece beneficiarse de las aperturas debidas a las extracciones (Instituto Nacional de Investigación, 2021).

Ante la falta de datos sobre precipitación en estas zonas, se requiere el desarrollo de estrategias innovadoras que permitan superar las limitaciones técnicas y logísticas,

involucrando a las comunidades locales en la generación y uso de información. Es necesario recurrir a estrategias que incorporen a la población en la generación de información y en su utilización para el manejo de los ecosistemas (Hubp, 1990).

La ciencia ciudadana surge como una alternativa viable para resolver esta problemática, al involucrar a la población en la recopilación de datos y en la búsqueda de soluciones. Mediante herramientas tecnológicas, como aplicaciones móviles y plataformas digitales, es posible facilitar la recolección de información de manera accesible, eficiente y en tiempo real, promoviendo al mismo tiempo la educación ambiental y la colaboración social. Esta metodología no solo proporciona datos científicos valiosos, sino que también fortalece el vínculo entre la sociedad y la conservación de los ecosistemas.

En este estudio, se explica el procedimiento para desarrollar una aplicación móvil y web que facilite el monitoreo de la precipitación en el Monte Tláloc mediante la participación activa de ejidatarios y otros grupos de interés. A través de esta herramienta tecnológica, se busca implementar una estrategia de ciencia ciudadana que permita registrar, analizar y visualizar datos de lluvia, contribuyendo así a la gestión sostenible de los recursos naturales y la conservación de los bosques

El monitoreo se llevará a cabo mediante pluviómetros manuales instalados en sitios estratégicos a diferentes altitudes del Monte Tláloc. La recopilación de datos contará con la participación activa de ejidatarios pertenecientes a la Unión de Ejidos de la Montaña, quienes son propietarios de las tierras del proyecto, así como de grupos de visitantes interesados en actividades recreativas, científicas y de gestión gubernamental. La frecuencia de los registros variará según la accesibilidad y las características de cada sitio.

La implementación de herramientas tecnológicas para el monitoreo de fenómenos climáticos ha demostrado ser una estrategia eficiente, especialmente cuando se combina con enfoques de ciencia ciudadana. Este estudio, al fomentar la colaboración comunitaria y el uso de tecnologías accesibles, tiene el potencial de generar información crítica para el manejo de los ecosistemas de montaña.

JUSTIFICACIÓN

Se identifica la necesidad de crear un instrumento para la captura y envío de datos pluviales que sea accesible, participativo y que garantice la disponibilidad de la información obtenida para su análisis y toma de decisiones. Este instrumento debe ser sencillo de usar y estar diseñado específicamente para el público objetivo: los ejidatarios. Ellos, a través de su conocimiento del territorio y participación activa, pueden convertirse en aliados estratégicos para la recolección continua y precisa de datos.

La aplicación desarrollada se plantea como una solución innovadora que responde a esta necesidad. Su diseño intuitivo permite que usuarios con conocimientos tecnológicos básicos puedan capturar y enviar información sobre las precipitaciones de manera rápida y eficiente. Además, al integrar elementos de ciencia ciudadana, se fomenta la colaboración activa de las comunidades locales, fortaleciendo su empoderamiento y compromiso con la conservación de los recursos hídricos.

Desde un enfoque técnico, el proyecto destaca por su carácter práctico y adaptable. La app aprovecha tecnologías modernas para registrar datos de lluvia, optimizando la recopilación de información en tiempo real, y reduciendo costos asociados a equipos de medición tradicionales. Al centralizar y analizar estos datos en una plataforma digital, se genera un repositorio de información confiable que puede ser utilizado por investigadores, autoridades locales y los mismos ejidatarios para tomar decisiones fundamentadas.

Por último, la disponibilidad de esta información en un formato accesible y visualmente comprensible contribuye a sensibilizar a los usuarios sobre la importancia de monitorear los patrones de lluvia, facilitando su uso en estrategias de manejo hídrico, planificación agrícola y mitigación de riesgos climáticos. De esta forma, el proyecto no solo soluciona un problema técnico, sino que también tiene un impacto social y ambiental significativo.

OBJETIVOS

General

Generar un instrumento tecnológico en forma de una aplicación multiplataforma que facilite la participación ciudadana en la recopilación de datos de precipitación y garantice el acceso abierto a esta información, fomentando la ciencia ciudadana en el Monte Tláloc.

Específicos

Definir el protocolo de monitoreo participativo: Diseñar y establecer un protocolo claro y funcional para la recolección de datos de lluvia, utilizando una red de pluviómetros distribuidos estratégicamente en el Monte Tláloc, asegurando un registro confiable de los datos.

Desarrollar el código: Implementar el desarrollo de una aplicación móvil y una plataforma web que integren funcionalidades intuitivas, y herramientas interactivas que permitan a los usuarios registrar, consultar y exportar datos de precipitación de manera sencilla.

Analizar actualizaciones: Proponer un sistema escalable y sostenible para actualizar el software, que permita la incorporación de nuevas funcionalidades, mejoras en la interfaz de usuario y la optimización del procesamiento de datos en función de las necesidades emergentes y los comentarios de los usuarios.

REVISIÓN DE LITERATURA

Precipitación pluvial

En un sistemas meteorológico a pequeña escala, donde participa la formación de nubes del tipo cúmulus dependiendo la presencia de núcleos de condensación; temperaturas cercanas a la del punto de rocío; abasto continuo de vapor de agua; incremento del tamaño de las gotas a través de colisiones; se pueden presentar diferentes fenómenos meteorológicos tales como la lluvia, el granizo, la nieve, las trombas, los tornados, los rayos y los truenos. La precipitación es la caída de agua procedente de las nubes en estado líquido, sólido y semisólido (Breña, 2013). De acuerdo al mecanismo por el cual se origina, la lluvia se puede clasificar en convectiva, ciclónica y orográfica. Se muestra un esquema representativo de cada uno de los tipos mencionados (Figura 1).

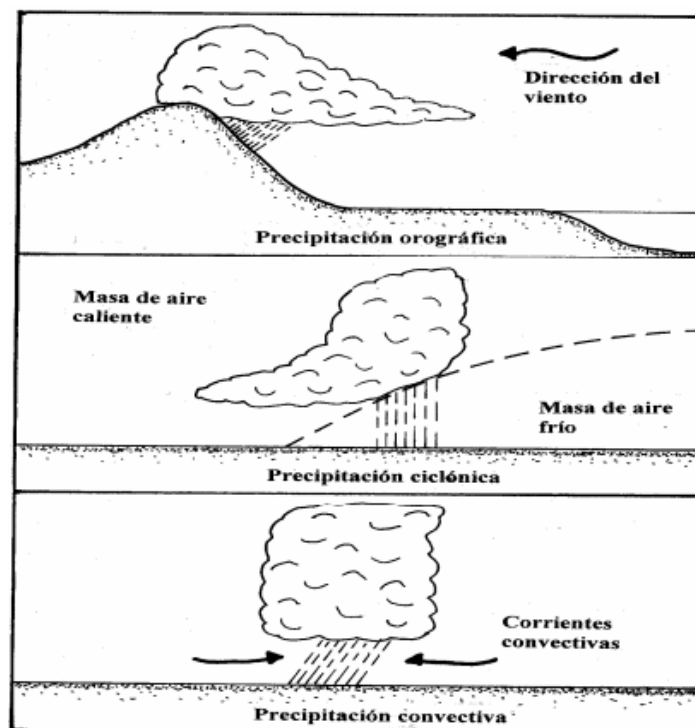


Figura 1. Esquema representativo de los tipos de lluvia. Fuente: Breña, 2013.

El Monitoreo Consiste en la observación de un suceso o fenómeno para recolectar información bajo un método previamente establecido. En el caso del monitoreo de la lluvia, se refiere al registro de los niveles de agua almacenados en los pluviómetros.

En México para la medición de lluvia, se puede medir en forma discreta o continua. En el caso discreto, se hace uso del pluviómetro; en el caso del registro continuo se utiliza el pluviógrafo. El pluviómetro es un instrumento que cuenta con un recipiente cilíndrico graduado, cuya área de captación es diez veces mayor que la del cilindro medidor. Esta relación permite que, por cada milímetro de precipitación captada en el área mayor, se acumule un centímetro en el cilindro, lo que facilita una lectura precisa en décimas de milímetro. Las mediciones de este dispositivo suelen registrarse diariamente a las 8:00 a.m.

Las zonas montañosas tienen un papel importante en los patrones de precipitación debido a su influencia en la circulación atmosférica y en la condensación de la humedad. El proceso general ocurre cuando masas de aire húmedo son forzadas a ascender al encontrarse con la orografía de la montaña, dando lugar a la formación de nubes y precipitación.

En la mayoría de las montañas de México, la lluvia es la principal vía de entrada de agua en las cuencas, por lo tanto, de su ocurrencia depende el funcionamiento del ciclo hidrológico a nivel local. La lluvia es de gran importancia para que ocurran los ciclos biogeoquímicos en los ecosistemas terrestres y para mantener distintos procesos biológicos de los seres vivos. Define en gran medida la distribución geográfica de los ecosistemas forestales y acuáticos, e influye en la disponibilidad de agua que se usa para las actividades humanas (Salado, 2018). Todo esto es muy importante para los ecosistemas naturales y para las comunidades humanas. En el contexto de la sociedad, el abastecimiento de agua potable; agricultura y producción de alimentos; generación de energía hidroeléctrica; gestión de recursos hídricos; prevención de desastres naturales; y las economías locales y regionales, dependen directamente de la cantidad y distribución de la precipitación en una región.

Programación

Una aplicación móvil es un programa informático diseñado para ejecutarse en dispositivos electrónicos portátiles, escrito generalmente en un lenguaje de programación compilado. Estas aplicaciones permiten desarrollar herramientas digitales específicas para atender necesidades particulares de los usuarios.(Vogel-Heuser, 2017).

Flutter es un software development kit para interfaces de usuario de código abierto creado por Google. Se usa para desarrollar aplicaciones cross-platform desde una sola base de código para web, Android, iOS, Fuchsia, Linux, macOS y Windows (Flutter, 2017).

Los componentes importantes de Flutter incluyen:

- Dart platform: Es un lenguaje de programación de código abierto, desarrollado por Google.
- Flutter engine: Está escrito principalmente en C++, proporciona un soporte de bajo-nivel para su representación gráfica que utiliza Google Skia. Además, se vincula con SDKs de Android e iOS.
- Foundation library: proporciona clases básicas y funciones, como APIs para comunicar con el motor.
- Design-specific widgets: Todos los gráficos, incluyendo texto, formas, y las animaciones están creadas utilizando widgets (Flutter, 2017).
- Flutter Development Tools (DevTools): Es un conjunto de herramientas de rendimiento y depuración para Dart y Flutter.

Material Design

El objetivo principal de Material Design es la creación de un nuevo lenguaje visual que combine los principios del buen diseño con la innovación técnica y científica. Material 3 es la última versión del sistema de diseño de código abierto de Google.

UX y UI son términos anglosajones que se refieren a la experiencia de usuario (UX) y la interfaz de usuario (UI). Son aspectos esenciales del diseño web y de cualquier producto digital, como una aplicación o un software.

Firebase

En 2014, Google compró Firebase. Es una plataforma para el desarrollo de aplicaciones web y aplicaciones móviles proporcionadas por Google. Aloja bases de datos, servicios, autenticación e integración para una variedad de aplicaciones, incluidas Android , iOS , JavaScript , Node.js , Dart, Java , Unity , PHP y C++ (Firebase, 2016).

Con Firebase, se pueden crear proyectos para registrar una aplicación e integrar los SDK de Firebase; así como la administración de proyectos para el análisis de permisos y herramientas de lanzamiento a la web; Finalmente es una manera de proteger la privacidad del usuario.

Casos de estudio de apps para el monitoreo de precipitaciones

Un artículo publicado en RMetS por Samuel Michael Illingworth et al., (Illingworth, Roy, & Lee, 2018) titulado “The weather at your station: Citizen-generated weather observations from personal weather stations” describe cómo se utilizó GoogleChart para llevar un registro colaborativo de las precipitaciones. Por otro lado, el artículo “Enhancing Engagement of Citizen Scientists to Monitor Precipitation Phase” (Arienzo, Collins, & Jennings, 2021) menciona la aplicación Mountain Rain or Snow, una colaboración financiada por la NASA entre Lynker, Desert Research Institute y la Universidad de Nevada-Reno. Esta aplicación permite a los usuarios reportar si está lloviendo o nevando en un momento y lugar determinados

En el contexto de África, el artículo “Evaluation of Factors Affecting the Quality of Citizen Science Rainfall Data in Akaki Catchment, Addis Ababa, Ethiopia” (Mengistie, Walklate, & Houghton-Cree, 2018) aborda los factores que influyen en la calidad de los datos sobre precipitaciones recolectados por científicos ciudadanos. Asimismo, la aplicación iFlood, mencionada en el estudio “Coastal Flooding Generated by Ocean Wave- and Surge-Driven Groundwater Fluctuations on a Sandy Barrier Island” (Smith & Jones, 2019), tiene un enfoque similar, pero está diseñada específicamente para reportar inundaciones.

Otras iniciativas destacan el uso de la ciencia ciudadana para monitorear la calidad del agua y llenar vacíos de datos para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, como se describe en el artículo “Using Citizen Science to Understand River Water Quality While Filling Data Gaps to Meet United Nations Sustainable Development Goal 6 Objectives” (Brown et al., 2020). En un enfoque relacionado, el desarrollo de aplicaciones móviles para el monitoreo de aguas subterráneas también ha sido promovido como una herramienta para involucrar a la ciencia ciudadana, según se menciona en el estudio “Groundwater Mobile App Development to Engage Citizen Science” (López-Rodríguez & Chandra, 2021).

Entre los avances más destacados está el proyecto Cooperative Open Online Landslide Repository (COOLR) (Kirschbaum, 2019), que utiliza las aplicaciones Landslide Reporter y Landslide Viewer. Estas herramientas invitan a científicos ciudadanos de todo el mundo a contribuir con reportes de eventos de deslizamientos de tierra, mejorando la investigación y predicción de desastres. Además, la aplicación Sense-it ofrece un kit de herramientas de sensores para la investigación ciudadana, funcionando como una herramienta educativa en dispositivos Android.

Otra categoría importante son los diarios de lluvia, como la aplicación Rain Tracker de Callum Hill (Hill, 2017), que permite a los usuarios gestionar sus propios datos de precipitaciones, aunque estos no son accesibles al público. Aplicaciones similares como Pocket Rain Gauge, Rainlogger y Rain Recorder registran las precipitaciones en función de la ubicación mediante GPS, pero tampoco ofrecen un sistema de registro público de los datos; Para ubicar sus categorías se esquematizan a continuación (Figura 2).

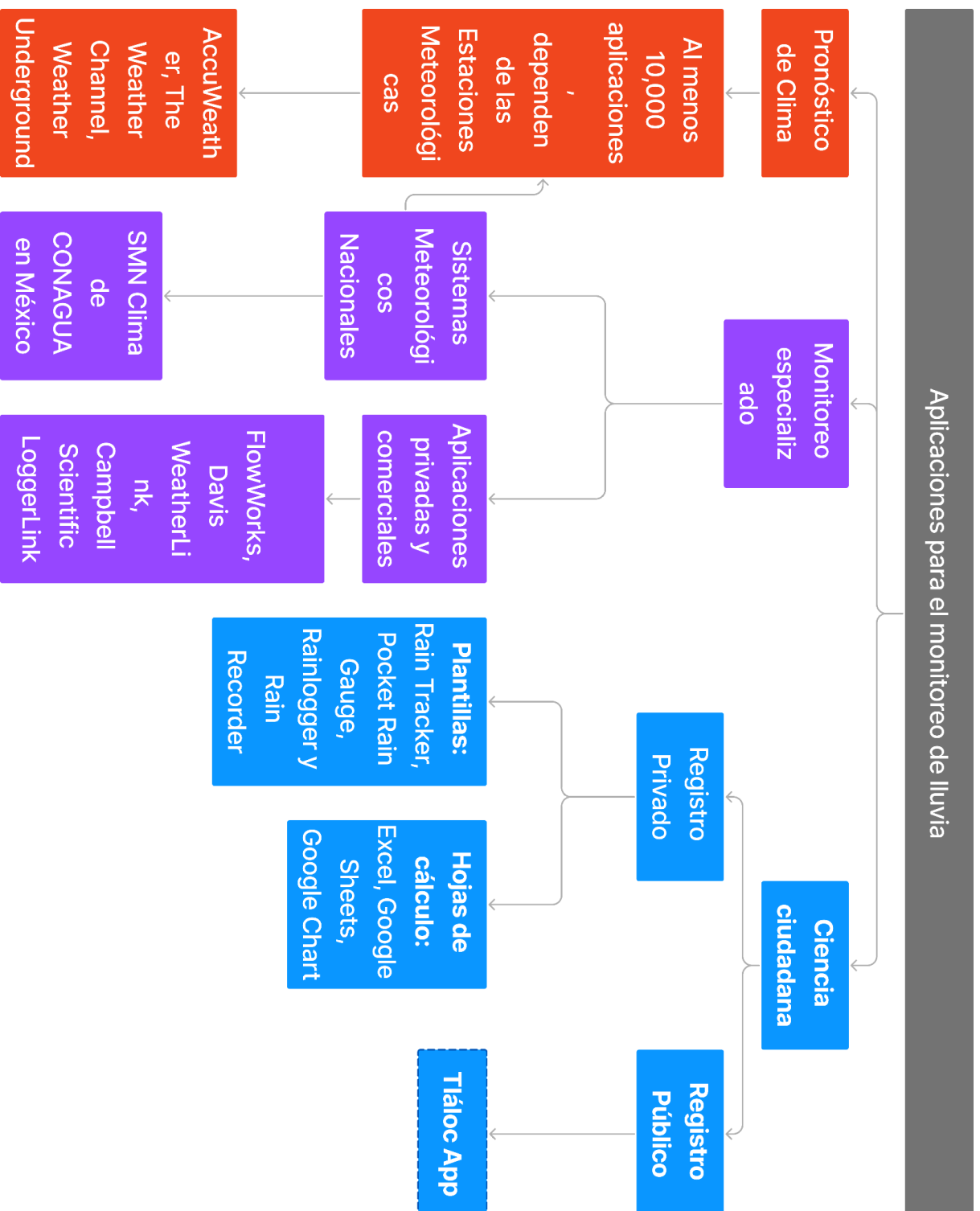


Figura 2. Categorías de aplicaciones para el monitoreo de lluvia. Fuente propia, 2024.

MATERIALES Y MÉTODO

MATERIALES

- El lenguaje de programación multiplataforma Dart, dentro del framework de Flutter, compilado en el SDK de Visual Studio y Android Studio.
- Material design para la interfaz de usuario.
- Base de datos en Firebase.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Monte Tlalóc, es un Volcán formado a partir de las capas de sucesivas erupciones basálticas fluidas; ubicado en el Eje Neovolcánico en el límite entre los municipios de Ixtapaluca y Texcoco al oriente del Estado de México (INEGI, 2009). Las actividades se llevaron a cabo en la cara oeste del Monte Tlalóc (Figura 3), dentro del municipio de Texcoco, estado de México, en el área correspondiente a la Unión de Ejidos de la Montaña (UEM), que integra a seis ejidos: Santa María Nativitas, San Pablo Ixayoc, San Dieguito Xochimalca, Santa Catarina del Monte y Tequexquihuac.



Figura 3. Rutas de monitoreo de la lluvia en el Monte Tlalóc, estado de México, México.

Fuente: Google Earth.

MÉTODO

1. Protocolo de monitoreo participativo

Llevar a cabo un monitoreo de lluvia que involucró tres principales etapas esquematizadas en el sistema de la figura 4.

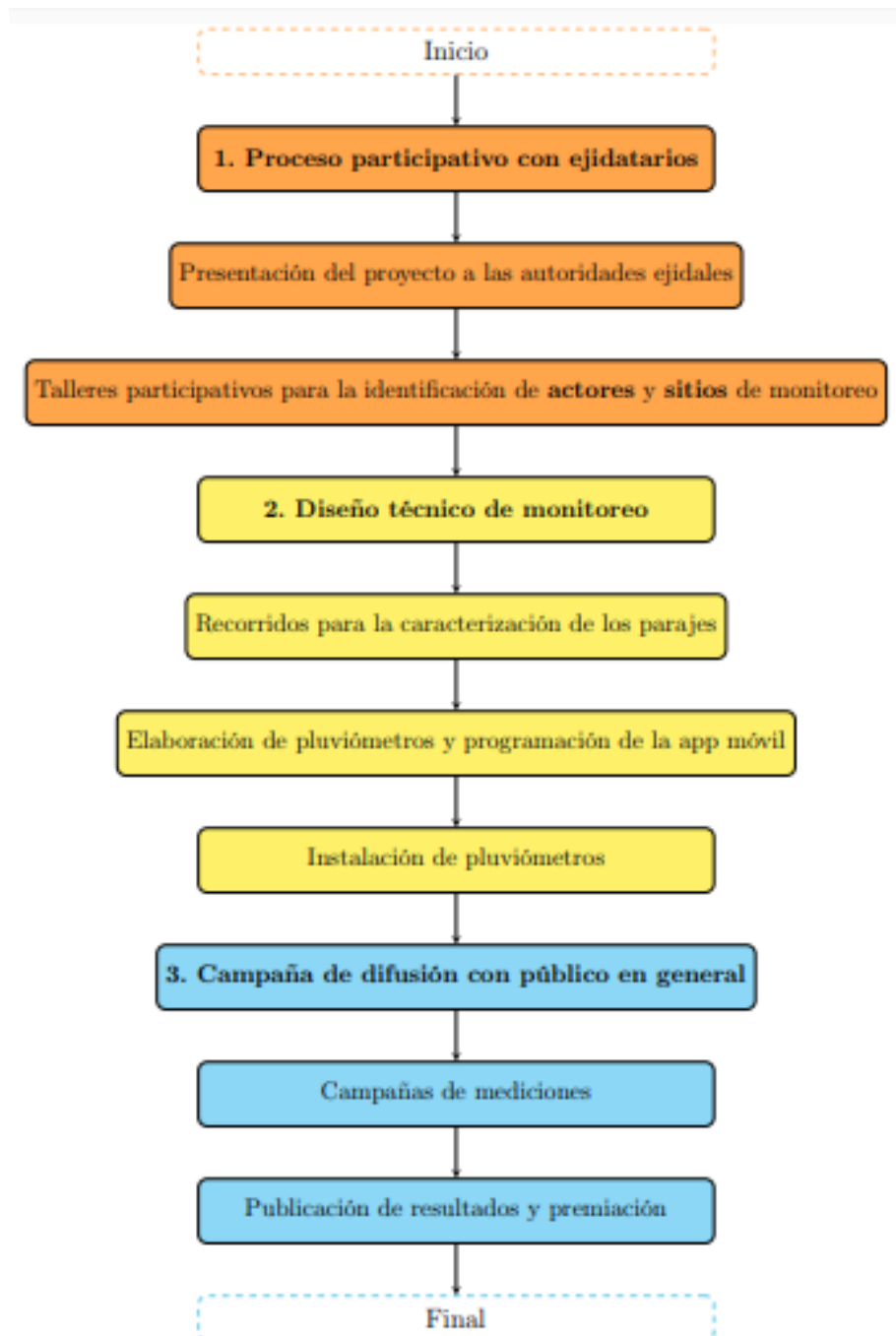


Figura 4. Diagrama de Flujo de las actividades, en naranja se representa la ruta de los procesos participativos con ejidatarios, en amarillo el diseño técnico de monitoreo, y en azul la campaña de difusión con el público en general. Autoría Propia, 2018.

1.1. Procesos Participativos con Ejidatarios

El primer paso consiste en establecer contacto con los miembros de la UEM para presentarles el proyecto y generar alianzas para su desarrollo. Posteriormente llevar a cabo talleres participativos con cada Ejido para identificar a las personas que potencialmente podrían participar en el monitoreo y los lugares para instalar sitios de monitoreo. Luego de visitar los lugares propuestos por los ejidatarios, registrar datos como coordenadas, altitud, pendiente, tipo de vegetación, superficie desprovista de árboles y tamaño de los árboles circundantes. Esta información permite identificar los sitios más adecuados para instalar los sitios de monitoreo, siguiendo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2014). En una etapa posterior se realiza un proceso de capacitación con los Ejidatarios y público en general para el monitoreo de la lluvia. Asimismo, crear un protocolo para facilitar a los Ejidatarios el uso de la información generada en sus actividades de manejo de los bosques.

1.2. Diseño Técnico de Monitoreo

Construir y calibrar pluviómetros con botellas de PET, siguiendo los lineamientos de la Norma Mexicana NMX-AA-166/1-SCFI-2013 (SE, 2013) y la Organización Meteorológica Mundial. La máxima capacidad de almacenamiento es de 153 mm y la escala tiene resolución de un mm, excepto por los primeros 5 mm que tienen resolución de 0.25 mm. Los pluviómetros se colocaron sobre bases de madera a un metro sobre el nivel del suelo. Para evitar pérdidas de agua por evaporación se utilizan 5 mm de aceite comestible vegetal por pluviómetro.

Los pluviómetros se vacían y registran por el equipo técnico con una frecuencia de quince días, a menos que sea necesario vaciar con mayor frecuencia. Los participantes envían sus registros sin una frecuencia específica, por lo que sus observaciones son adicionales a las que realiza el equipo técnico. Cada estación de monitoreo cuenta con letreros que poseen la información necesaria para que las personas puedan participar aunque no se les haya dado una capacitación personal. Se cuenta con siete estaciones de monitoreo en un gradiente altitudinal que va de 2683 a 3870 m.

1.3. Campaña de difusión con público en general

Contar con una campaña permanente de difusión entre la gente que sube a la montaña. Generar material gráfico instalado en campo que invite a la población a participar, trípticos y carteles que se colocan en lugares estratégicos. Utilizar redes sociales para dar a conocer el proyecto y mecanismos para premiar a los participantes activos con regalos.

2. Desarrollo del código multiplataforma

Programar una aplicación móvil y web denominada Tlálloc App, disponible en <https://tlaloc.web.app/> y en Play Store, con el fin de enviar las mediciones a una base de datos pública, que cuente con las siguientes características:

- Registro: Los usuarios podrán crear una cuenta y elegir mediante el escaneo de códigos Qr el paraje o sitio de monitoreo.
- Menú Principal: Disponer de tutoriales, información del proyecto, mapas de las rutas de acceso a los pluviómetros y datos de contacto.
- Envío: Campo para el registro de la precipitación, pluviómetro interactivo, booleano de vaciado, cambio de rol y paraje, fecha y hora de registro.
- Bitácora: Consulta, edita, comparte o elimina las mediciones.

En el sistema de pluviómetros existen tres actores: Usuario, Pluviómetro, multiplataformas. El usuario es el actor principal que se interconecta en primera instancia con los códigos QR de cada paraje, de allí la comunicación entre una laptop, pc y el SmartPhone, el cual es seleccionada por el usuario y puede registrarse bajo el sistema operativo android, ios, huawei, web y windows. El siguiente diagrama (Figura 5) describe la forma operativa del comportamiento del flujo de información del sistema.

Diagrama de flujo de trabajo del sistema de Pluviómetros con Tlálóc App

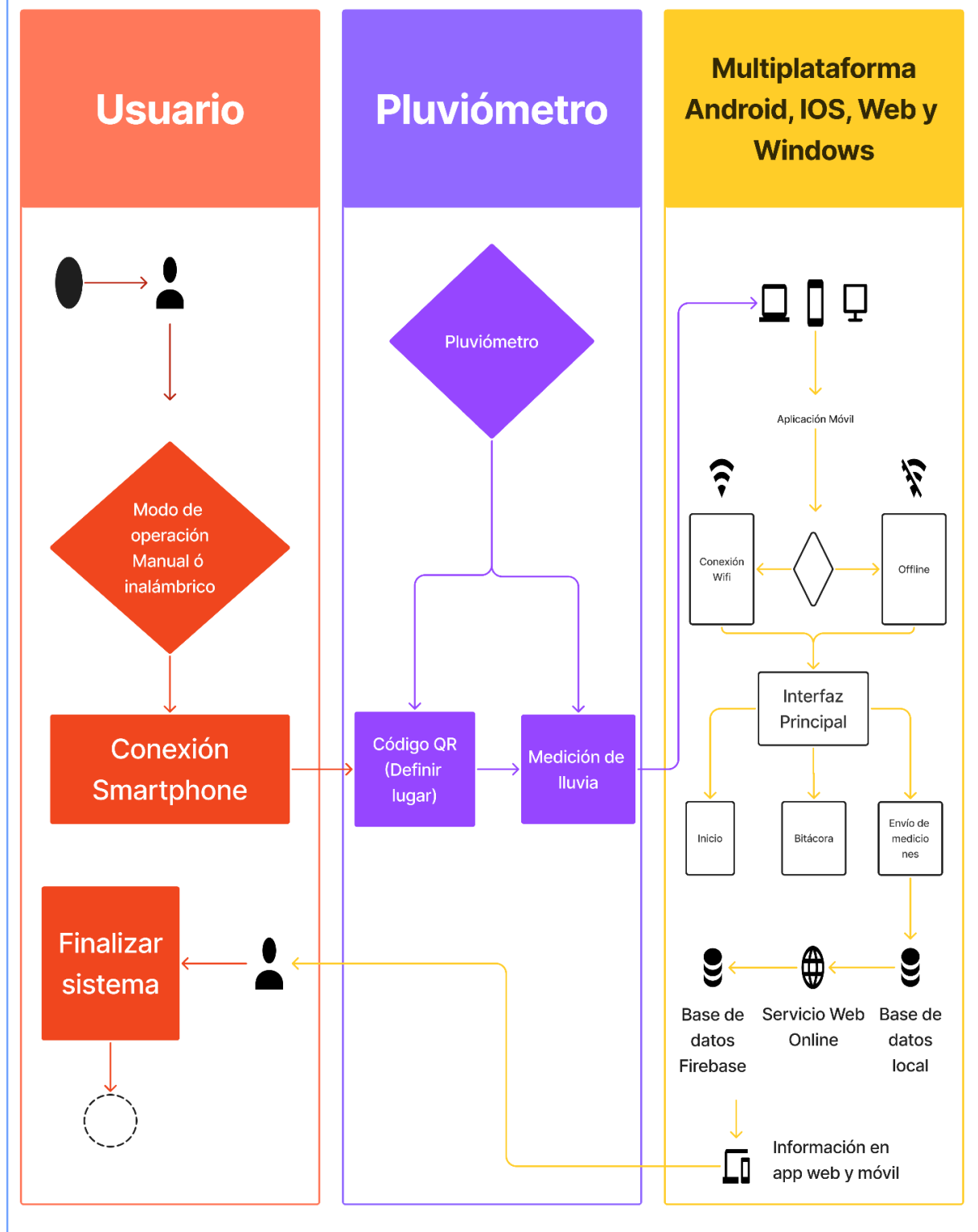


Figura 5. Diagrama de Flujo de Información del Sistema en Tlálóc App. (Autoría Propia)

3. Analizar actualizaciones

Se analizarán los requerimientos del sistema mediante la recopilación de datos de usuarios y tendencias de uso, diseñando soluciones específicas implementadas según un cronograma estructurado. Las actualizaciones son probadas internamente y su adopción monitoreada mediante retroalimentación y análisis de métricas.

Para la visualización de datos, se implementan gráficas interactivas y responsivas mediante bibliotecas especializadas, que permiten interpretar precipitaciones diarias, mensuales o anuales. Estas herramientas se validan para asegurar precisión y actualizaciones en tiempo real.

La generación de reportes consolida métricas clave, como cantidad de envíos y participación geográfica, presentándolos en formatos automatizados como PDF o CSV. Los usuarios acceden a sus reportes desde la app, con validaciones periódicas que garantizan su exactitud.

El módulo de envío de imágenes permite capturar y almacenar fotos en sistemas en la nube, como Firebase, garantizando privacidad y optimización mediante compresión. Las imágenes se asocian a datos geográficos y se validan en diversos dispositivos para asegurar funcionalidad y compatibilidad.

Finalmente, un blog integrado que ofrezca contenido educativo y tutoriales relacionados con el monitoreo de lluvia. Gestionado con un sistema de contenido dinámico, facilita actualizaciones regulares y promueve interacciones mediante notificaciones y opciones de compartido en redes sociales. El impacto se evalúa con métricas como visitas e interacción para optimizar su alcance.

LITERATURA CITADA

1. Aparicio Mijares, F. J. (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. México, D.F.: Limusa.
2. Breña, A. (2013). Principios y fundamentos de hidrología superficial (1ª ed.). Universidad Autónoma Metropolitana. Recuperado de <https://casadelibrosabiertos.uam.mx/gpd-principios-y-fundamentos-de-hidrologia-superficial.html>
3. Cruz Miranda, Y. (2021). Evaluación de modelo de riego y parámetros hidrológicos en cultivos específicos [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. Recuperado de <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/4595>
4. Flutter. (2017a). Foundation library – Dart API. En docs.flutter.io. Archivado el 13 de diciembre de 2017. Recuperado el 13 de diciembre de 2017, de <https://docs.flutter.io>
5. Flutter. (2017b). Material Design Widgets. En flutter.io. Recuperado el 13 de diciembre de 2017, de <https://flutter.io>
6. García, L. G., & Martínez, A. H. (2023). Estructura poblacional y rasgos demográficos de Abies religiosa (Kunth Schltdl. & Cham.) en el Monte Tláloc, Parque Nacional Iztaccíhuatl–Popocatepetl, México. ResearchGate. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/373015641>
7. González, P., Neilson, R. P., & Lenihan, J. M. (2016). Global patterns in biodiversity and climate change. *Nature*, 402(6761), 335–338.
8. Hubp, J. L. (1990). El relieve de la República Mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 9(1), 82–111. Recuperado de

<https://rmcg.geociencias.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/1255>

9. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2009). Texcoco, México. En Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Archivado el 28 de mayo de 2016. Consultado el 16 de octubre de 2016.
10. Instituto Nacional de Investigación. (2021). El quehacer científico en el Monte Tláloc, Texcoco, Estado de México – Simposio. ResearchGate. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/356288963>
11. López-Rodríguez, M., & Chandra, R. (2021). Groundwater mobile app development to engage citizen science. *Water Resources Research*, 57(7), e2020WR028913.
12. Mengistie, A., Walklate, P., & Houghton-Cree, T. (2018). Evaluation of factors affecting the quality of citizen science rainfall data in Akaki Catchment, Addis Ababa, Ethiopia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12), 2765.
13. Salado Álvarez, N. (2018). Diseño de una herramienta hidroeinformática para el análisis de calidad de datos de estaciones meteorológicas automatizadas [Tesis de maestría]. (Información limitada en fuentes disponibles).
14. Santiago, R. (2019). *Mobile learning: nuevas realidades en el aula*. Grupo Océano.
15. Secretaría de Economía (SE). (2013). Norma Mexicana NMX-AA-166/1-SCFI-2013. Estaciones meteorológicas, climatológicas e hidrológicas. Parte 1: especificaciones técnicas que deben cumplir los materiales e instrumentos de medición de las estaciones meteorológicas automáticas y convencionales. México.

16. Vogel-Heuser, B., & Feldmann, S. (2017). Modularity and architecture of PLC-based software for automated production Systems: An analysis in industrial companies. *Information Sciences*, 280, 218–238. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.12.035>
17. Arienzo, M. M., Collins, M., & Jennings, K. S. (2021). Enhancing engagement of citizen scientists to monitor precipitation phase. *Frontiers in Earth Science*, 9, 68. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.617594>
18. Brown, L., Patel, S., Zhang, Y., & Williams, J. (2020). Using citizen science to understand river water quality while filling data gaps to meet United Nations Sustainable Development Goal 6 objectives. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(4), 235.
19. Hill, C. (2017). Rain Tracker: An app for personal rainfall diaries. *Weather Apps Journal*, 4(1), 12–20.
20. Illingworth, S. M., Roy, K., & Lee, A. (2018). The weather at your station: Citizen-generated weather observations from personal weather stations. *Royal Meteorological Society Journal*, 144(726), 2131–2144.
21. Kirschbaum, D., Stanley, T., & Calder, E. (2019). Cooperative Open Online Landslide Repository (COOLR): A global database of citizen-reported landslides. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19, 1215–1229.
22. Smith, J., & Jones, P. (2019). Coastal flooding generated by ocean wave- and surge-driven groundwater fluctuations on a sandy barrier island. *Journal of Coastal Research*, 35(2), 345–358.