



INFORME FINAL

6 de abril de 2022

CONSULTORIA

SERVICIOS DE INDIVIDUAL PARA DIAGNOSTICO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA LA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES EN EL PARQUE WALTER THILO DEININGER.

César Armando Alvarado Batres

Físico e Hidrogeólogo

Contenido

Tabla de figuras.....	3
Tabla de cuadros	4
Tabla de fotografías	5
Introducción.....	6
Objetivo.....	6
Antecedentes del Parque Walter Thilo Deininger	7
Caracterización del Área de Estudio y Diagnóstico	8
Ubicación.....	8
Geología.....	10
Geología histórica de la zona.....	10
Geología Local	10
Formación San Salvador	12
Miembro Q'f	12
Miembros s4 y s3a.....	12
Formación Cuscatlán.....	13
Miembro c3:.....	13
Miembro c1:.....	13
Formación Bálsamo	14
Miembro b1.....	14
Miembro b3.....	14
Hidrografía	15
Cuenca río Amayo.....	15
Microcuenca de la quebrada Chanseñora.....	15
Clima	17
Temperatura	17
Precipitación	18
Evapotranspiración.....	19
Geomorfología	20
Uso de Suelos	22
Características hidrológicas de la cuenca	22
Curva Hipsométrica.....	26
Diagnóstico.....	27

UMBRALES DE EMERGENCIA.....	30
TIPOS DE UMBRALES DE EMERGENCIA	30
UMBRALES DE LLUVIA.....	30
CÁLCULO DE UMBRALES DE LLUVIA.....	33
DEFINICIÓN DE LA LLUVIA CON EL MÉTODO ESTADÍSTICO	34
DEFINICIÓN DE UMBRALES DE RÍO	37
UMBRALES DE NIVEL DE RÍO.....	41
UMBRALES DE CRECIDA.....	41
DEFINICIÓN DE UMBRALES DE NIVEL DE RÍO	44
CAUDAL RÍO AMAYO	46
DEPÓSITOS DE SEDIMENTOS.....	46
INSTRUMENTACIÓN: TIPO Y CANTIDAD DE EQUIPO A SER UTILIZADO	48
ESPECIFICACIONES: DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES	49
UBICACIÓN DE INSTRUMENTOS: UBICACIÓN GEORREFERENCIADA PARA LA COLOCACIÓN DEL EQUIPO	51
CAPACITACIÓN.	53
VULNERABILIDAD COMUNIDAD APOLONIO MORALES	56
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS	58
VISITAS TÉCNICAS	58
CAPACITACIÓN	59
REUNIONES DE SEGUIMIENTO	59
DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE RESPALDO.	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS.	62
CONCLUSIONES.....	62
Recomendaciones	63
Anexos:.....	64
Apuntes de visitas técnicas al parque “Walter Thilo Deininger”	64
Registro fotográfico de visita de inspección.	65
Registro fotográfico de capacitación.....	69
BIBLIOGRAFÍA	72

Tabla de figuras

Figura 1. Muestra la ubicación del Parque Walter Thilo Deininger, la red hídrica y el orden de ríos de las cuencas que abarcan al parque.	9
Figura 2. Muestra el mapa geológico que compone el área del parque Walter Thilo Deininger.	11
Figura 3. Muestra el mapa hidrológico e hidrogeológico de la zona de estudio.	16
Figura 4. Mapa de uso de suelos del parque Walter Thilo Deininger.	23
Figura 5. Muestra el perfil de elevación de la microcuenca del río Amayo.	26
Figura 6. Curva hipsométrica de la microcuenca del río Amayo.	26
Figura 7. Mapa de isoyetas del Parque Walter Thilo Deininger. Fuente: Elaboración propia.	36
Figura 8. Lluvia acumulada. Fuente: Elaboración propia.	40
Figura 9. Mapa de inundaciones. Fuente: Elaboración propia.	42
Figura 10. Caudal crítico. Fuente: Modificado de OEA, 2010.	44
Figura 11. Ubicación de los instrumentos de medición hidrometeorológicos del SAT.	52
Figura 12. Muestra aérea de calle que circunda a la comunidad Apolonio Morales.	56
Figura 13. Mapa de inundación actual y 100 años de periodo de retorno. Fuente: Modificado de Ipresas, 2021.	57

Tabla de cuadros

Cuadro I. Temperaturas (Grados Centígrados)	17
Cuadro II. Precipitación Cuenca Estero San Diego (en milímetros)	18
Cuadro III. Precipitación Cuenca del río Amayo (en milímetros)	18
Cuadro IV. Evapotranspiración Potencial Cuenca Estero San Diego (en milímetros)	19
Cuadro V. Evapotranspiración Potencial Cuenca de Río Amayo (en milímetros)	20
Cuadro VI. Valores hidrológicos determinados para la microcuenca del río Amayo.....	24
Cuadro VII. Umbrales de pronóstico del río Amayo.....	31
Cuadro VIII. Condiciones y descripciones de los tipos de alerta.....	33
Cuadro IX. Factores horarios del USSCS para distribuir lluvia.....	38
Cuadro X. Definición de valores para la Curva Acumulada de Lluvia.....	39
Cuadro XI. Tipos y condiciones de alerta para el nivel de un río.	46
Cuadro XII. Ubicación de los instrumentos del SAT del Parque Walter Thilo Deininger.	51

Tabla de fotografías

Fotografía 1. Sedimentos arenosos de la formación San Salvador en la playa.....	12
Fotografía 2. Ignimbritas de la formación Cuscatlán en talud de la carretera al Puerto de La Libertad.	13
Fotografía 3. Afloramientos de Lavas de la formación Bálsamo sobre carretera del Litoral.....	14
Fotografía 4. Punto propuesto de limnógrafo en quebrada Chanseñora.	58
Fotografía 5. Capacitación sobre SAT en el Parque Walter Thilo Deininger.	59
Fotografía 6. Río Amayo.....	65
Fotografía 7. Dique sobre el río Amayo.	65
Fotografía 8. Manantial “El Pezote”	66
Fotografía 9. Desembocadura de San Diego.....	66
Fotografía 10. Pozo perforado en las instalaciones de “El Casco” del Parque “Walter Thilo Deininger”	67
Fotografía 11. Puente de la quebrada Chanseñora.	67
Fotografía 12. Quebrada Chanseñora.....	68
Fotografía 13. Punto de intersección de la quebrada Chanseñora y el río Amayo.....	68
Fotografía 14. Capacitación de SAT en el Parque Walter Thilo Deininger.	69
Fotografía 15. Personal del Parque Walter Thilo Deininger y comunidad Apolonio Morales recibiendo la capacitación sobre Sistema de Alerta Temprana.....	69
Fotografía 16. Personal del Parque Walter Thilo Deininger y comunidad Apolonio Morales recibiendo la capacitación sobre Sistema de Alerta Temprana.....	70
Fotografía 17. Personal del Parque Walter Thilo Deininger y comunidad Apolonio Morales recibiendo la capacitación sobre Sistema de Alerta Temprana.....	70
Fotografía 18. Personal del Parque Walter Thilo Deininger y comunidad Apolonio Morales recibiendo la capacitación sobre Sistema de Alerta Temprana.....	71
Fotografía 19. Personal del Parque Walter Thilo Deininger y comunidad Apolonio Morales recibiendo la capacitación sobre Sistema de Alerta Temprana.....	71

Introducción

El siguiente documento contempla las valoraciones de información técnica, de campo e histórica del parque “Walter Thilo Deininger” con la finalidad de diseñar un Sistema de Alerta Temprana que pueda mitigar la problemática de inundación que ocurre en el Parque y en la Comunidad Apolonio Morales.

El Sistema de Alerta Temprana contempla un conjunto de elementos relacionados entre sí que proveen información oportuna y eficaz a los individuos y a las comunidades expuestas a una amenaza y a las autoridades correspondientes para actuar con tiempo suficiente y de una manera apropiada, para reducir el riesgo de daño personal, pérdida de la vida, daño a sus propiedades y al medio ambiente. Por lo que este informe propone la adquisición de equipo de monitoreo de precipitación y caudal de ríos que permitan comunicar a tiempo sobre la posibilidad del desastre natural. La distribución de estos esta propuesta en el presente informe, sin embargo, al no ser adquiridos hasta el momento de finalizar la consultoría, no ha sido posible la colocación de los mismos.

Por otro lado, la organización de los empleados del Parque y la comunidad son de vital importancia para la implementación de acciones de respuestas. Estas actividades se aplican basado en las recomendaciones técnicas de umbrales de emergencia que se presentan en este informe.

Finalmente, la meta de realizar el diseño de un Sistema de Alerta Temprana ha sido concluida con los detalles de adquisición de equipo e instrumentación necesario para la correcta aplicación y también se presenta la ubicación geográfica de estos. En todo esto se ha considerado las condiciones físicas y meteorológicas de las cuencas del río Amayo y la quebrada Chanseñora y la estructura organizacional del Parque Walter Thilo Deininger y la Comunidad Apolonio Morales.

Objetivo

Desarrollar el Diagnostico y diseño de un sistema de alerta temprana para la prevención de inundaciones en el Parque Walter Thilo Deininger, ubicado en el Cantón San Diego, Km 55, calle a Comalapa, sobre la Carretera del Litoral Ca-2, Jurisdicción del Municipio y Departamento de La Libertad, El Salvador.

Antecedentes del Parque Walter Thilo Deininger

El Instituto Salvadoreño de Turismo (ISTU) es propietario del Parque Walter Thilo Deininger, que forma parte de la red de 14 parques naturales y recreativos que administra este instituto a nivel nacional. Este parque tiene una extensión territorial de 1.047 manzanas (731,74 Ha) y está ubicado en el cantón Hacienda San Diego, Km 55 de la carretera del Litoral CA-2, en el municipio y departamento de La Libertad. Con una altura máxima sobre el nivel del mar de 297 metros en el sitio conocido como “El Coyolar”, la riqueza natural que presenta este parque es variada, con bosques húmedos perennifolios y secos caducifolios y especies animales como el venado y el coyote, que predominan en la zona. Así mismo en el parque se encuentran bosques de árboles gigantes de conacaste, formaciones rocosas impresionantes, manantiales de aguas cristalinas y los ríos Amayo y Chanseñora, que lo atraviesan de norte a sur y dan vida a los bosques húmedos.

El parque recientemente ha sido inaugurado al público ofreciendo los servicios de aventura extrema, luego de la construcción de nuevas instalaciones e infraestructuras y mejora de algunas de las existentes, en un área aproximada de 7.5 hectáreas en torno al acceso al parque, actuaciones que se agrupan en 4 sectores: Aventura de Naturaleza: centro de atención al visitante, áreas de juegos infantiles y picnic, zip-line y caseta de ingreso; Sector Familiar: área de esparcimiento la cual consta de un área diseñada para picnic, juegos infantiles y servicios para usuarios; Administrativo: instalaciones, servicios y estacionamiento para vehículos y seguridad del parque; Áreas Comunes: mejoras fachada, ampliación de estacionamiento para visitantes, circulación para vehículos y peatones, Instalaciones eléctricas, hidráulicas y disposición de aguas residuales. Incluye, además: resguardo del Área Natural Protegida (ANP) y el funcionamiento adecuado de senderos interpretativos al interior del bosque, en un área total de 732 hectáreas.

El parque presenta problemas de inundaciones ya que se encuentra ubicado entre dos ríos, el Río Amayo que fluye de norte a sur y se ubica al oeste del parque y el Río Chanseñora que atraviesa el parque viniendo desde el este; hasta unirse al Río Amayo. Los niveles altos de lluvias causan el desbordamiento de estos dos ríos afectando algunas obras dentro del parque, y comunidades que se encuentran alrededor del parque, al igual que incendios forestales y caza furtiva dentro de sus linderos.

Caracterización del Área de Estudio y Diagnóstico

Para la evaluación del diagnóstico del parque “Walter Thilo Deininger” ha sido necesario la visita técnica y el análisis de información para definir el estado del sitio en todos sus aspectos y establecer los criterios técnicos necesarios para el diseño de un Sistema de Alerta Temprana que tenga condiciones adecuadas de funcionalidad, integración y durabilidad.

Ubicación

El Parque Walter Thilo Deininger es un área natural protegida de 732 Ha ubicada a 35 Kms al Sur de la capital sobre la carretera del Litoral, en el Municipio del Puerto de La Libertad. Se constituye como una importante reserva de bosque seco caducifolio, bosque de galería y bosque secundario, y una reserva de la biodiversidad en el país que cuenta, de acuerdo a reportes del ISTU, con un estimado de 25 especies de mamíferos, 27 especies de reptiles y 115 especies de aves, así como variedades de plantas medicinales, especies de árboles en peligro de extinción y áreas arqueológicas. El Parque WTD se encuentra inmerso en las cuencas de los ríos Amayo y Chanseñora cuya ubicación se delimita al Norte por la latitud 274780, al Sur, latitud 262523, en las proximidades de la carretera del Litoral y al occidente y oriente por las longitudes 468934 y 472544 respectivamente. En la imagen siguiente se presenta el contorno del Parque y lugares específicos de referencia.

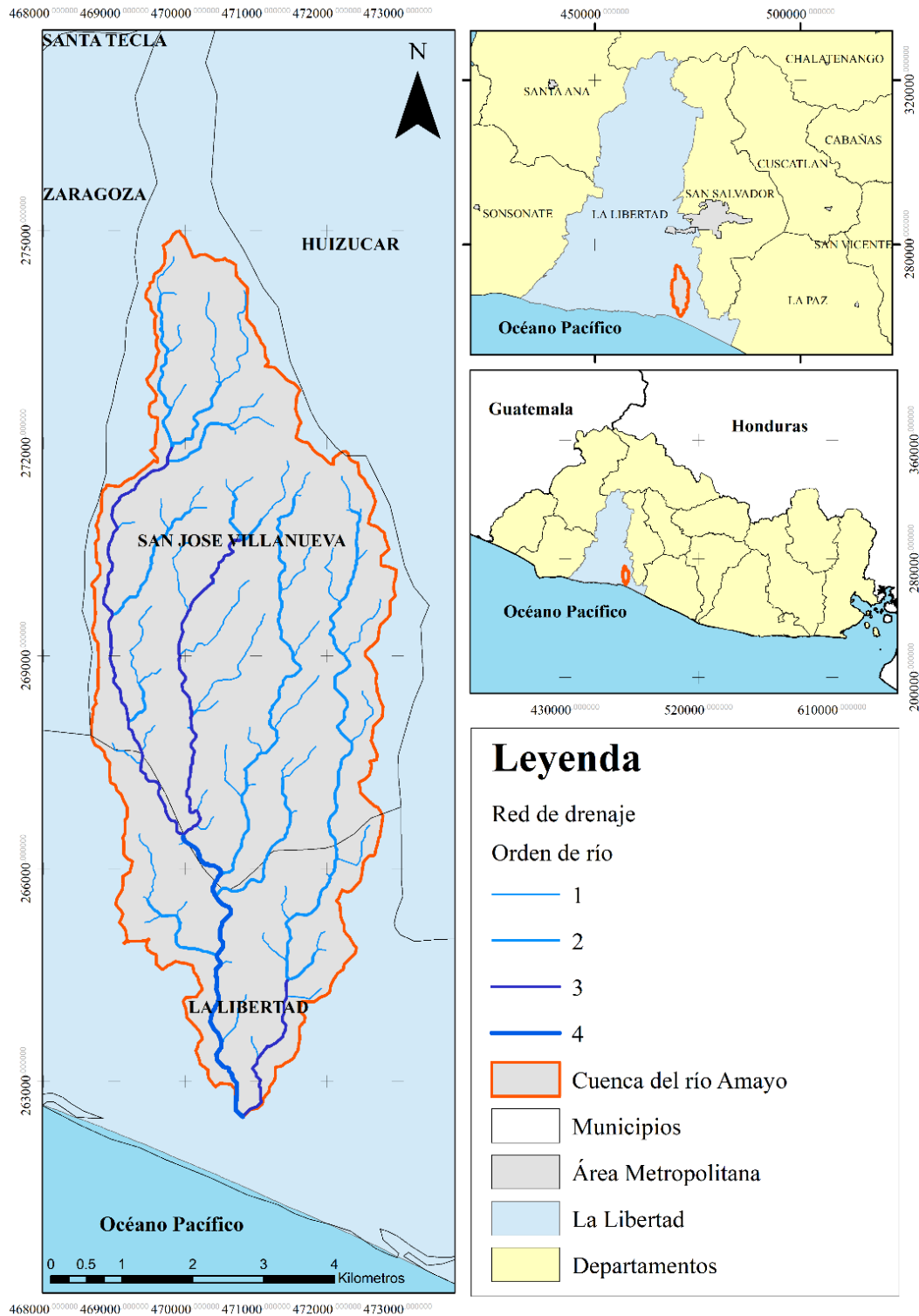


Figura 1. Muestra la ubicación del Parque Walter Thilo Deininger, la red hídrica y el orden de ríos de las cuencas que abarcan al parque.

Geología

Conocer el contexto geológico es de vital importancia para el análisis físico del parque.

Geología histórica de la zona

Durante el terciario, específicamente en el período Plioceno, se produjo en el área centroamericana una actividad volcánica de gran proporción.

Los materiales volcánicos eyectados en esta etapa surgieron a la superficie a través de grietas o fisuras de gran longitud. Estos constituyeron estratos alternados de lavas, tobas y piroclásticos.

Posteriormente a esta actividad volcánica, se produjeron movimientos tectónicos que modificaron la topografía del terreno drásticamente.

Grandes extensiones de terreno, cubierto por materiales terciarios, fueron alzados y otros hundidos, formándose con el tiempo montañas en las zonas altas y valles en las zonas bajas.

Estos movimientos dieron origen a las seis unidades geomorfológicas: Montaña Norteña, Valle Interior, Montaña Interior, Valle Central, Montaña Costera y Planicie Costera (Seeguer). Como fue mencionado, el área estudiada se localiza sobre la Planicie Costera.

Según Seeguer¹, la Planicie Costera, abarca un 12 % del territorio nacional, se compone de dos fajas aisladas entre sí, una central y la otra al Oeste del país. Toda el área recibe los sedimentos que han sido erosionados y arrastrados por las corrientes fluviales y finalmente son depositados en la planicie. A continuación, se describen los materiales geológicos que afloran en la zona.

Geología Local

Las formaciones geológicas más importantes que afloran dentro de las cuencas en estudio son las formaciones San Salvador, Cuscatlán y Bálsamo.

A continuación, se muestra el mapa geológico de la zona de estudio y la descripción de los materiales de cada formación.

1 Anales del Servicio Geológico de El Salvador Diciembre de 1961

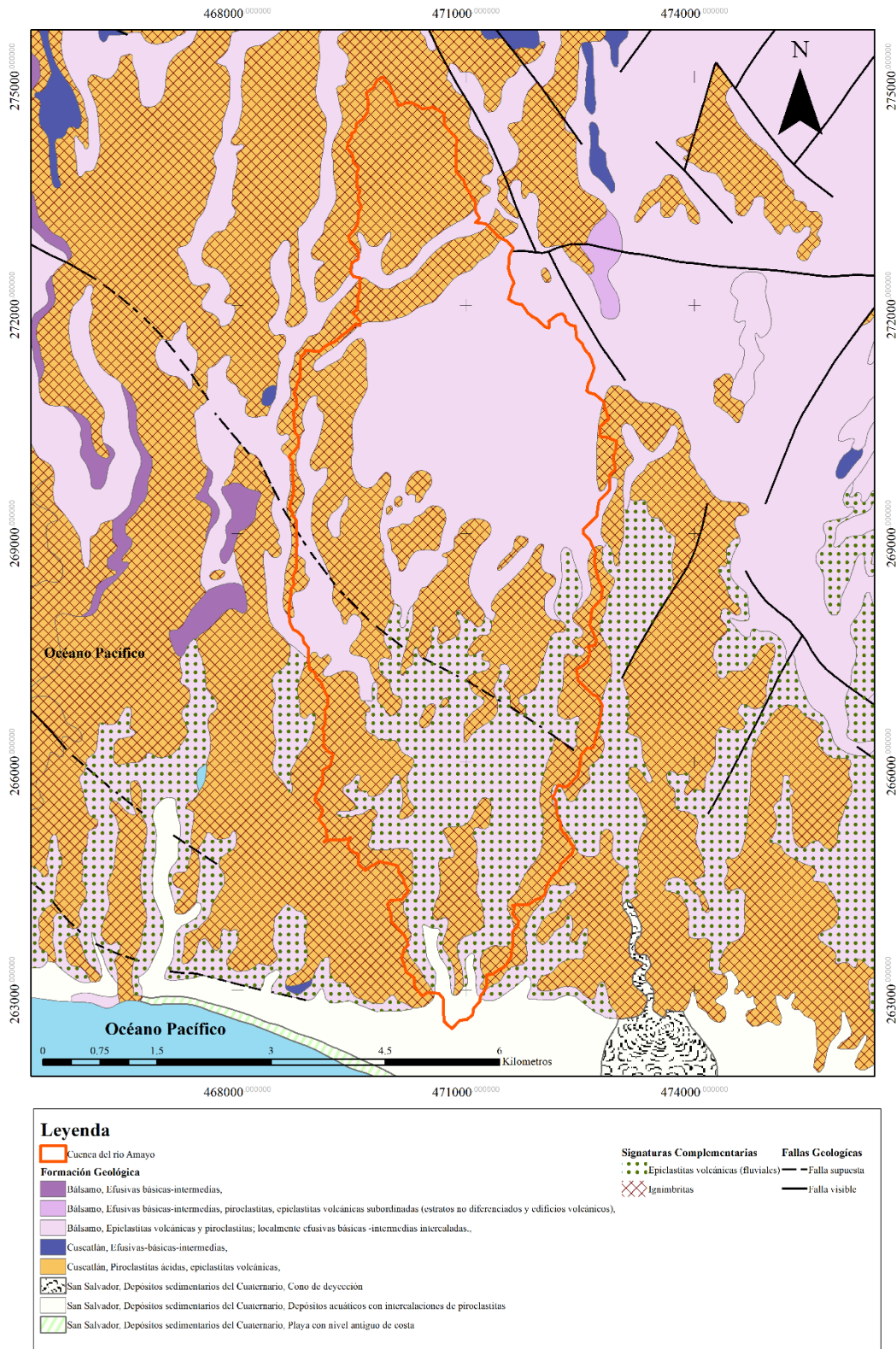


Figura 2. Muestra el mapa geológico que compone el área del parque Walter Thilo Deininger.

Formación San Salvador

Miembro Q'f

Las corrientes fluviales han cortado y arrastrado materiales de la zona montañosa los cuales han sido depositados a lo largo de los cauces de los ríos y sobre toda la superficie de las playas. En la zona están representados por sedimentos de diferente granulometría (incluye los Depósitos de estuario y conos de deyección).

En la parte baja de ambas cuencas se encuentran sedimentos areno-arcillosos, intercalados con sedimentos de materia orgánica, esto se observa en las zonas de esteros y playa. Dado que el terreno del proyecto se localiza sobre este tipo de materiales, se cuenta con una columna litológica de un pozo cercano, con información estratigráfica hasta una profundidad de 79 metros (ver apartado 3. Perfiles de Pozos)



Fotografía 1. Sedimentos arenosos de la formación San Salvador en la playa.

Miembros s4 y s3a.

Estos miembros afloran al Norte del área, en la zona en la cual las cuencas evaluadas colindan con el valle de San Salvador. Son materiales volcánicos semicompactos, fuertemente vulnerables a procesos de erosión y sedimentación, frecuentemente son retrabajados por acciones pluvial y fluvial, y depositados en las partes bajas de las cuencas.

Los piroclásticos son materiales de origen volcánico de textura clástica y estructura suelta, que en el sector está básicamente compuesto por arenas pumíticas. Las Tobas son piroclásticos compactados que dependiendo del tamaño de sus granos pueden ser líticas o

aglomeradas. No afloran en la superficie de la zona del proyecto, sin embargo, se han encontrado estratos de piroclásticos mezclados con sedimentos en el subsuelo.

Formación Cuscatlán

La formación Cuscatlán pertenece al Plioceno y Pleistoceno, entre el Terciario y el Cuaternario. Básicamente son materiales volcánicos menos recientes que los que cubren el valle de San Salvador, ubicado al Norte del área.

Miembro c3:

Efusivas básicas intermedias, básicamente son coladas de Lavas presentes en la zona al norte de las cuencas estudiadas, no se observa un centro eruptivo que sea claramente identificable en el terreno, lo que sí se observan son varias fallas geológicas a través de las cuales pudieron haber brotado las coladas de lava.

Miembro c1:

Las Tobas fundidas o ignimbritas, afloran desde Zaragoza hasta la ciudad de La Libertad, y tienen unos 12 km de largo por 3 km de ancho. La sección tiene un espesor que va de los 30 metros a los 100 metros.



Fotografía 2. Ignimbritas de la formación Cuscatlán en talud de la carretera al Puerto de La Libertad.

Formación Bálsamo

Esta formación abarca una gran parte de las cuencas en estudio; aflora en la zona alta del área investigada, y está constituida principalmente por una secuencia de rocas piroclásticas y epiclásticas, con intercalaciones de corrientes de lava andesítica. Los miembros geológicos presentes en las cuencas de estudio son las siguientes: miembros b1 y b3.

Miembro b1.

Este miembro geológico lo constituyen epiclastitas volcánicas, piroclastitas e ignimbritas, localmente efusivas básicas-intermedias intercaladas, “facies claro” (con lapilli de pómez) y limo rojo, con alteración hidrotermal localmente. Está constituido por tobas aglomeráticas y andesitas; siendo las primeras grandes bloques de 20 a 50 cm o mayores, generalmente redondeados de tipo andesítico, entremezclado con material piroclástico gris claro de grano medio, mientras que las segundas son lavas de tipo andesita hipersténica, augítica y porfidítica.

Miembro b3.

Los materiales de este miembro son rocas efusivas básicas-intermedias, con cierta alteración hidrotermal, silificación y limos rojos. En la zona de estudio se presentan como coladas de lavas, andesitas pigeonita-labradorita de acuerdo a la composición química y como andesita hipersténica según el contenido mineralógico.



Fotografía 3. Afloramientos de Lavas de la formación Bálsamo sobre carretera del Litoral

Hidrografía

La zona investigada se localiza en una ubicación particular la cual presenta la necesidad de hacer una consideración con respecto a cuencas hidrográficas, tomando en cuenta criterios hidrogeológicos; la situación es la siguiente: según las bases de datos de los consultores implicados en esta investigación, el terreno estudiado se localiza sobre la **cuenca hidrográfica identificada como río Amayo y quebrada Chanseñora**, (Ver figura 1) sin embargo, según el alcance del Sistema de Alerta Temprano, debido a la topografía plana del área en el sur, también se consideran la desembocadura de los ríos antes mencionados y el río Aquisquillo (Estero de San Diego).

Cuenca río Amayo.

La cuenca hidrográfica, identificada por el MARN como río Amayo, descarga en el Océano Pacífico, que a su vez es parte de la Región Hidrográfica Mandinga Comalapa.

Microcuenca río Amayo

Área:	26.13 km ²
Perímetro:	31.6 km.
Elevación Máxima:	681.15 msnm
Elevación Mínima:	2.5 msnm

Microcuenca de la quebrada Chanseñora.

La quebrada Chanseñora se origina al norte del área, en la zona montañosa o Cordillera del Bálsamo, y también descarga al Océano Pacífico, pertenece a la Región Mandinga-Comalapa.

Microcuenca de la quebrada Chanseñora

Área:	7.6 km ²
Perímetro:	23.5 km.
Elevación Máxima:	570 msnm
Elevación Mínima:	2.5 msnm

En el siguiente mapa se observan las características hidrológicas e hidrogeológicas de la zona de estudio.

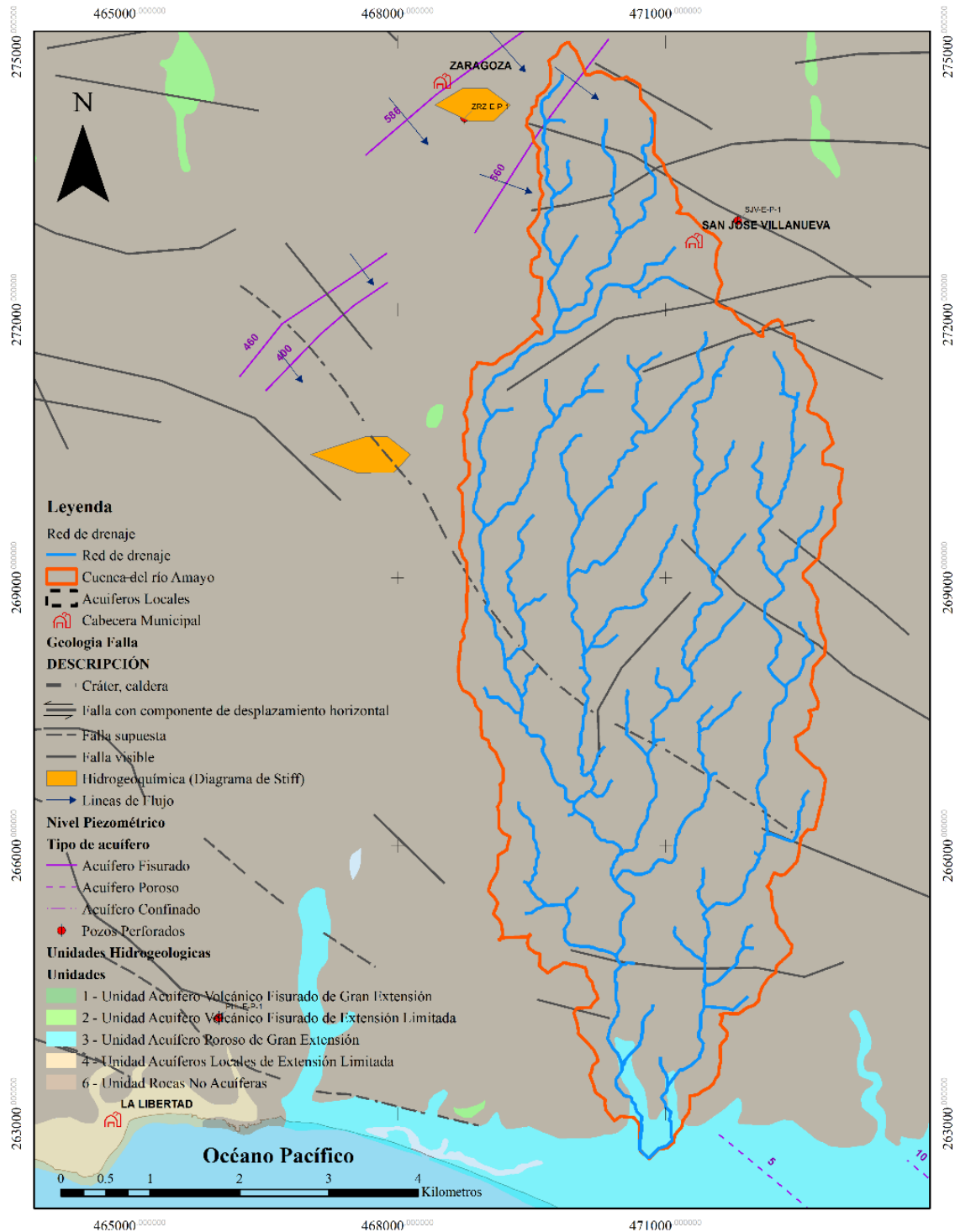


Figura 3. Muestra el mapa hidrológico e hidrogeológico de la zona de estudio.

Clima

El Salvador está situado en la parte exterior del cinturón climatológico del Trópico, donde todo el año existen condiciones térmicas más o menos uniformes; por otra parte, las precipitaciones atmosféricas no se presentan uniformes, por el contrario, varían año con año y aún dentro de la misma estación lluviosa. El país posee dos estaciones: Época seca y época lluviosa.

En las cuencas investigadas la estación seca empieza en noviembre y termina en abril. De acuerdo con las elevaciones del área y utilizando la definición climática de Köppen, Sapper y Lauer, en la cuenca Estero San Diego y Cuenca del Río Amayo, existen dos zonas climáticas, éstas corresponden a Sabana Tropical Caliente o llamada también Tierra Caliente (0 – 800 msnm). En esta zona la temperatura varía en promedio entre 19.9°C y 33.3°C.

La segunda zona corresponde a Sabanas Tropicales Calurosas o Tierra Templada (800 – 1200 msnm). Las temperaturas anuales varían según la altura de 20°C a 22°C.

Temperatura

Con respecto a la temperatura de la zona se ha tomado como base, los registros del MARN referente a la estación climatológica Santa Tecla (L-8), que es la más cercana con información confiable, cuyos registros son los siguientes del cuadro I.

Cuadro I. Temperaturas (Grados Centígrados)

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
MAX.	28.5	29.7	30.6	30.6	29.4	28.1	29.1	29.0	27.9	27.7	27.8	27.9	28.0
MIN.	13.8	14.8	14.8	16.2	17.1	17.2	16.8	17.0	17.1	17.0	15.7	14.5	15.9

Fuente: MARN

Precipitación

Para la estimación de la Precipitación Promedio anual y mensual se ha aplicado el método de cálculo de los polígonos de Thiessen utilizando los registros del MARN de las estaciones pluviométricas Hda. Casa de Piedra, Rosario de Mora, Hda. Amaquilco, San Diego La Libertad y Zaragoza Hda. Veracruz. Los resultados se anotan en el Cuadro II y Cuadro III.

Cuadro II. Precipitación Cuenca Estero San Diego (en milímetros)

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Hda. Casa de Piedra	5	5	9	43	132	357	291	352	423	296	33	6	1952
Rosario de Mora	5	0	16	55	171	361	250	375	353	281	61	8	1936
Hda. Amaquilco	5	2	8	53	147	355	286	346	412	283	59	8	1964
San Diego, La Libertad	4	0	10	35	159	327	224	334	360	232	48	4	1737
Zaragoza Hda. Veracruz	3	-	4	43	135	312	231	280	342	230	41	8	1629
Promedio Thiessen	4	1	9	42	151	335	245	331	375	250	50	6	1799

Fuente: MARN

Cuadro III. Precipitación Cuenca del río Amayo (en milímetros)

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Hda. Casa de Piedra	5	5	9	43	132	357	291	352	423	296	33	6	1952
Rosario de Mora	5	0	16	55	171	361	250	375	353	281	61	8	1936
Hda. Amaquilco	5	2	8	53	147	355	286	346	412	283	59	8	1964

San Diego, La Libertad	4	0	10	35	159	327	224	334	360	232	48	4	1737
Promedio Thiessen*	5	2	12	48	155	354	263	359	382	279	51	7	1917

*Para el cálculo de Precipitación promedio en la cuenca del Río Huiza no se utilizó la información de la estación pluviométrica Zaragoza Hda. Veracruz, debido a que el polígono de Thiessen, correspondiente a la zona influencia de dicha estación, no intercepta a la cuenca antes mencionada.

Evapotranspiración

Este es otro de los factores que influyen en el ciclo hidrológico de una cuenca, se agrupan las pérdidas de agua en el ambiente, incidiendo la radiación solar, la pendiente del terreno, la vegetación, tipo de cultivo, vientos, etc., para su cálculo se utilizó la información de las Estaciones Climatológicas Hda. Astoria y Santa Tecla, aplicando también el método de los polígonos de Thiessen, los resultados para la zona investigada se presentan en el Cuadro IV. y Cuadro V.

Cuadro IV. Evapotranspiración Potencial Cuenca Estero San Diego (en milímetros)

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Hda. Astoria (P-11)	150	149	179	182	176	158	172	164	142	146	140	141	1899
Sta. Tecla (L-8)	119	118	146	113	143	128	142	140	121	121	115	113	1519
Promedio Thiessen	126	125	153	128	150	135	149	145	126	127	121	119	1604

Fuente: MARN

Cuadro V. Evapotranspiración Potencial Cuenca de Río Amayo (en milímetros)

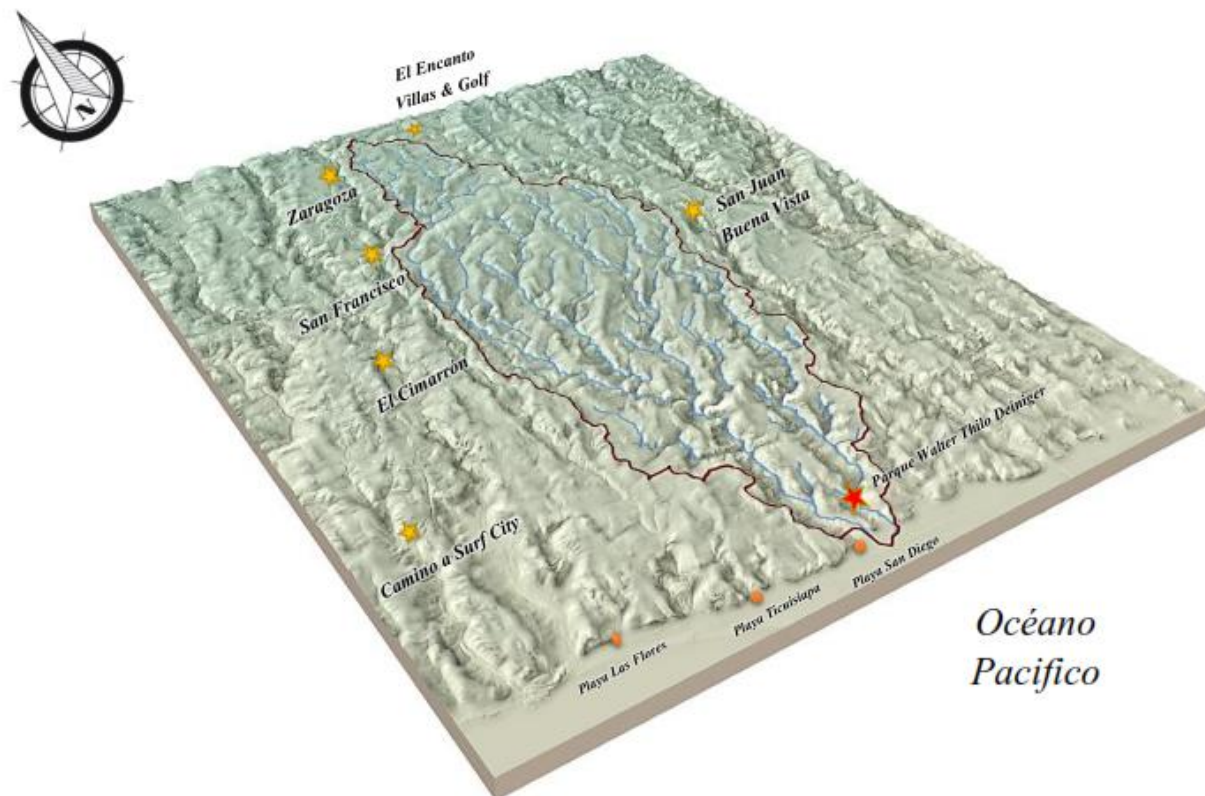
Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Hda. Astoria (P-11)	150	149	179	182	176	158	172	164	142	146	140	141	1899
Sta. Tecla (L-8)	119	118	146	113	143	128	142	140	121	121	115	113	1519
Promedio Thiessen	126	125	154	128	150	134	148	145	126	126	120	119	1601

Fuente: MARN

Geomorfología

En el área de estudio se distinguen dos zonas de geomorfología diferente, las cuales son: al Norte, la Montaña Costera, de geomorfología abrupta, y al Sur, la Planicie Costera, de topografía plana, la cual está cubierta principalmente por materiales aluvionales sedimentarios (incluye Piroclásticos retrabajados), producto del corte y arrastre de las corrientes fluviales, sobre la cual se asienta el terreno investigado.

Mapa de elevación digital de cuenca del río Amayo






"DIAGNOSTICO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA LA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES EN EL PARQUE WALTER THILO DEININGER"

Consultor: M.Sc. César Armando Alvarado Batres.

Fuente: Elaboración propia con modelo de elevación digital (DEM) de 5 metros de resolución por pixel.

Sistema Geodésico de Referencia: NAD27.

Leyenda

-  Cuenca del río Amayo
-  Red de Drenaje Hidrico
-  Localidades
-  Playas

Uso de Suelos

El parque tiene una extensión de 1047 manzanas, es decir 732 hectáreas. Este emblemático lugar es una de las pocas zonas boscosas, con amplia diversidad de especies animales, plantas medicinales y árboles en peligro de extinción, por lo que representa una importante reserva natural de nuestro País. El parque es una zona biológica en la cual se encuentran remanentes de la primera vegetación de El Salvador. Contiene 2 tipos de bosque: bosque de galería y seco caducifolio.

Con base en la información contenida en el Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra; se detalla mejor los diferentes tipos de bosque que contiene el parque, entre los cuales se pueden mencionar: Bosque caducifolio, de galería, mixtos semi caducifolios, siempre verdes y mangle.

En la figura 4 también se puede observar que la mancha de tejido urbano yace en la parte norte de la zona de estudio, lo cual puede generar un riesgo muy alto de contaminación y cambios en la respuesta de la cuenca ante eventos meteorológicos.

Características hidrológicas de la cuenca

Las principales características hidrológicas de la microcuenca del río Amayo son:

Área de la cuenca: 33.8 km²

Orden de corriente: 4 según Strahler

Densidad de drenaje: 2.4 l/km según Horton.

Forma de las cuencas río Amayo y Quebrada Chanseñora: Elongada.

Pendiente media de la cuenca: 25.28 % según Rich.

Pendiente media del cauce principal: 4.7 %

En el cuadro VI se resumen en detalle los valores determinados para la microcuenca del río Amayo y en la figura anterior el perfil de elevación que ha servido para el cálculo de algunos parámetros hidrológicos.

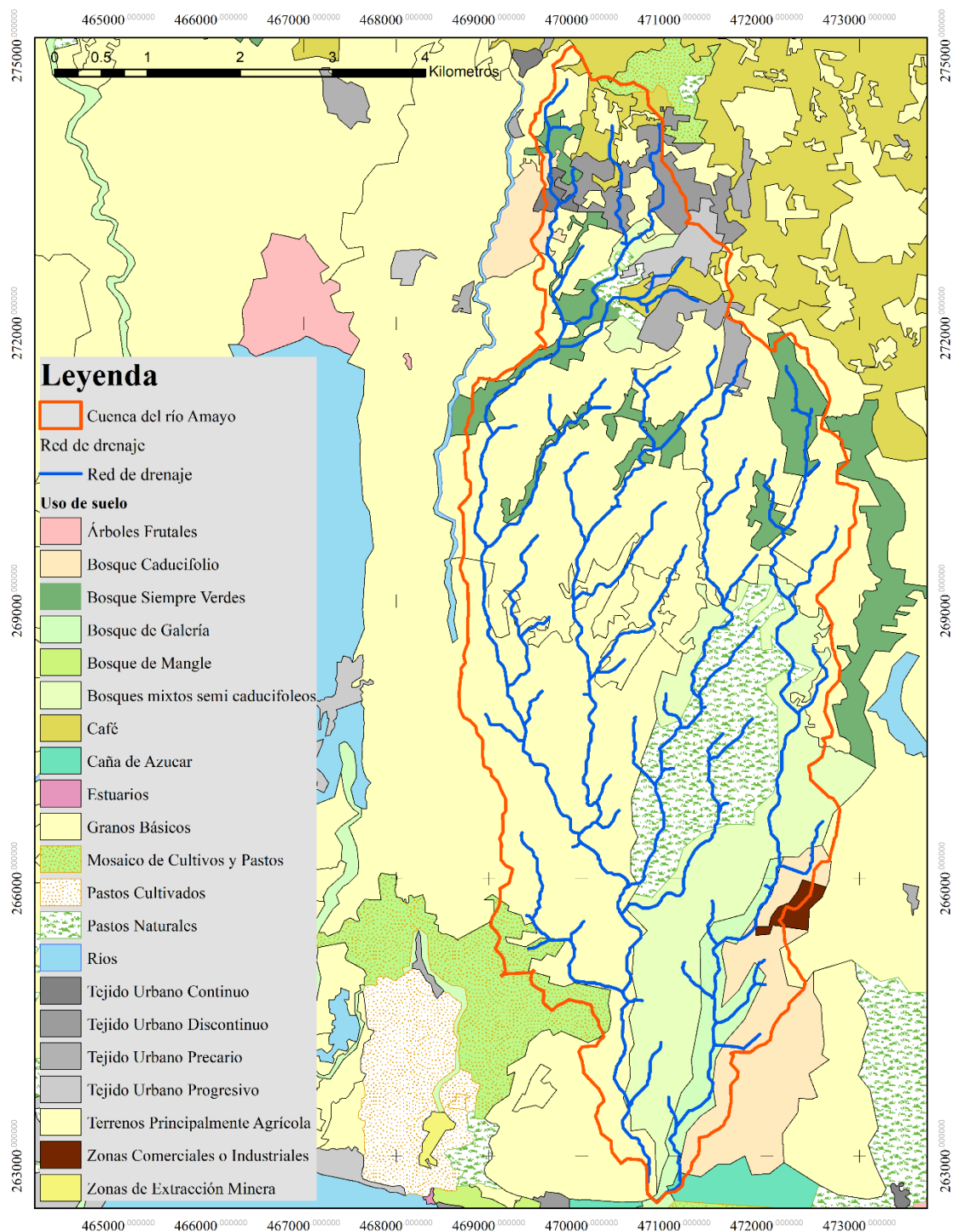


Figura 4. Mapa de uso de suelos del parque Walter Thilo Deininger.

Cuadro VI. Valores hidrológicos determinados para la microcuenca del río Amayo.

Descripción	Unidad	Resultado	Referencia
De la superficie			
Área (A)	Km ²	33.803	GIS (software Analysis (Schumm, 1956))
Perímetro de la cuenca (P)	Km	33.144	GIS (software Analysis (Schumm, 1956))
Perímetro de la cuenca 3D (P3D)	Km ²	33.351	GIS (software Analysis (Schumm, 1956))
Longitud de máximo recorrido (L)	km	14.437	GIS (software Analysis (Schumm, 1956))
Ancho máximo (B)	km	4.181	GIS (software Analysis
Índice de alargamiento (F)		3.453	$F = L/B$ (Villon, 2001)
Factor de forma (Kf)		0.162	$Kf = A/L^2$ (Horton, 1932)
Índice de Gravelius (K)		1.415	$K = 0.28(P/raizA)$ (Gravelius, 1914)
Coeficiente de masividad (tg)		9.944	$tg = Hm/A$
Relación de elongación (Kc)		0.515	$Kc = 1.128 RaizA/L$ (Schumm, 1956)
Cociente Orográfico		3.343	$Co = Hm^2/A$
Cotas (Z)			
Cota máxima (Zmax)	msnm	681.154	GIS software Analysis
Cota mínima (Zmin)	msnm	2.553	GIS software Analysis
Centroide (Nort América 1927)			
X_Centroide	km	470.744	GIS software Analysis
Y_Centroide	km	268.657	GIS software Analysis
Z_centroide	msnm	342.000	GIS software Analysis/DEM

Latitud			
Altitud Media (Hm)	msnm	336	Horton (1932)
Altitud Modal (Hf)	msnm	481	GIS software Analysis/DEM
Altitud Mediana) (Hfm)	msnm	1295	GIS software Analysis/DEM
Pendiente			
Pendiente media de la cuenca (Sm)	%	25.280	GIS Analysis/DEM (Rich, 1916)
Red Hídrica			
Longitud del cauce principal(Lcp)	Km	14.437	GIS software Analysis
Orden de la red hídrica (N)	UND	4.000	Stranhler (1952)
Corrientes de orden 1	UND	65.000	
Longitud de las redes hídricas	Km	81.108	GIS software Analysis
Parámetros generados			
tiempo de concentración (tc)	Horas	1.682	$(0.87 * LCP^3) / (Z_{max} - Z_{min})^{0.385}$ (formula del servicio de carreteras california
Pendiente de cauce principal (Scp)	%	4.701	$Scp = (Z_{max} - Z_{min}) / L$
Agregados			
Densidad de Drenaje	1/km	2.399	Horton (1932)
Coeficiente de torrencialidad	1/Km ²	1.923	Horton (1932)
tiempo de concentración (tc)Williams	Horas	1.81278453 9	$(14.6 * Lcp * (A^{-0.1}) * (Sm^{-0.2})) / 60$

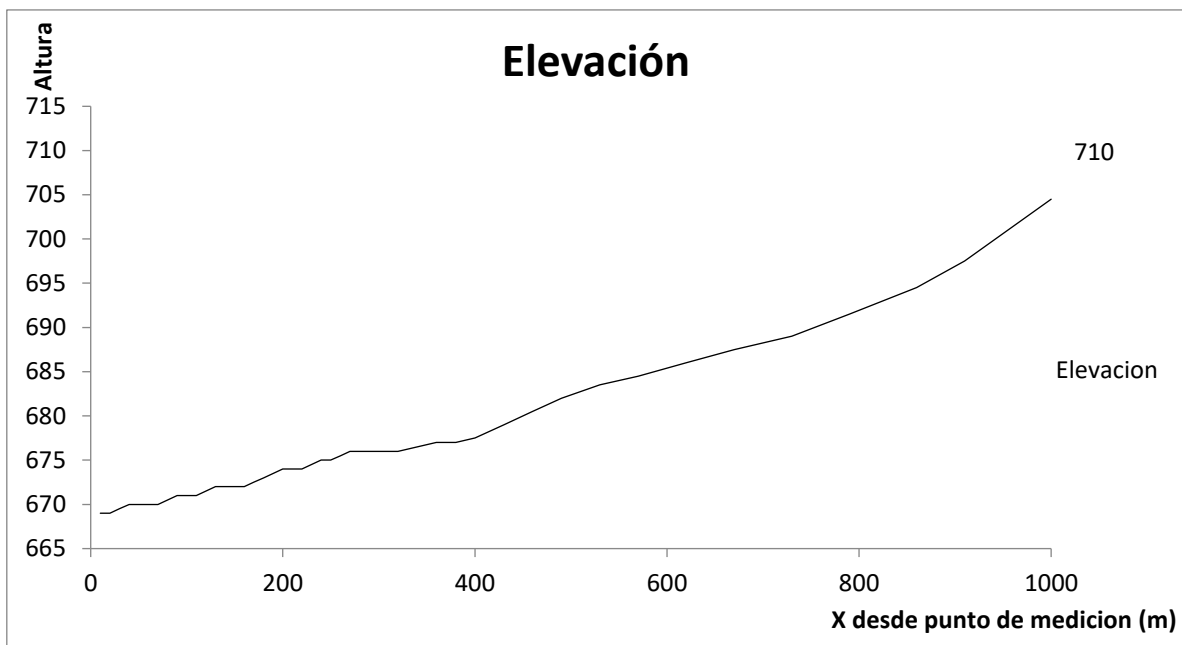


Figura 5. Muestra el perfil de elevación de la microcuenca del río Amayo.

Curva Hipsométrica.

Con base a los datos hidrológicos se procede al desarrollo de la curva hipsométrica, que se muestra en la figura 6.

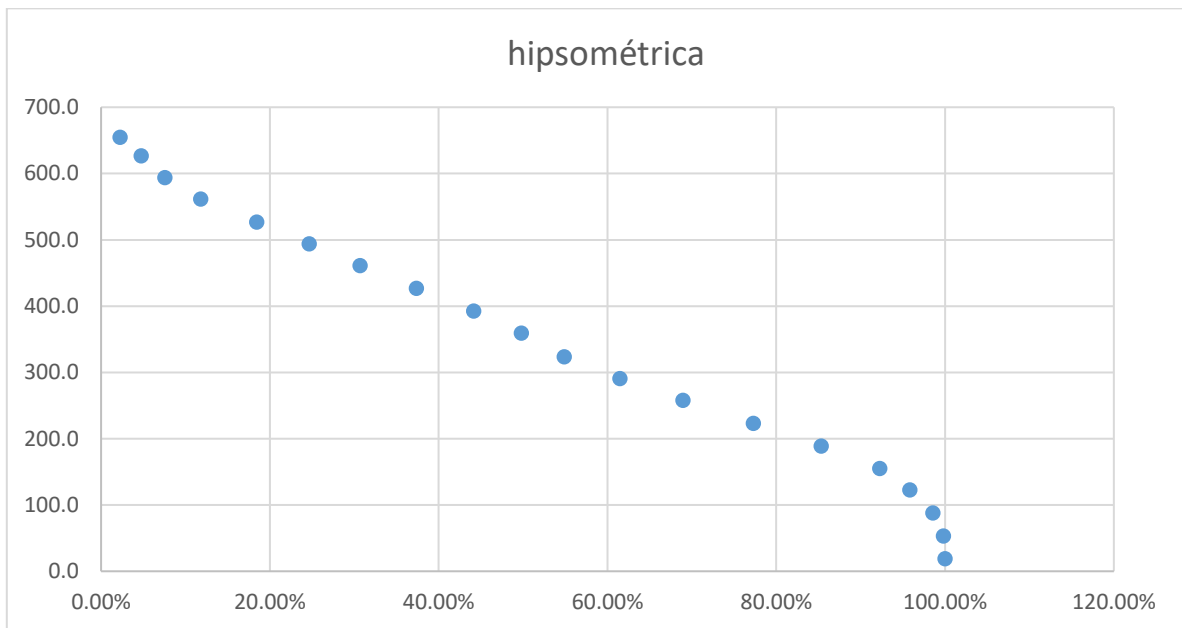


Figura 6. Curva hipsométrica de la microcuenca del río Amayo.

Lo cual presenta una disminución sutil que finaliza en la costa del pacífico, y la variación a la zona montañosa no es muy abrupta.

Diagnóstico

Al analizar la información documental, física, hidrológica e hidrogeológica de la zona del parque “Walter Thilo Deininger”, permite hacer una valoración preliminar de la problemática de inundación y riesgos de incendios forestales.

En primer lugar, la zona se ha caracterizado por muchos años de recibir un caudal de agua proveniente de la zona alta de la microcuenca que supera la capacidad de drenaje de la misma, sobre todo cuando existen lluvias intensas, sin embargo, no hay un registro sistemático de precipitación que permita cuantificar umbrales de riesgo. Agregado a esto, la forma de la cuenca por su elongación, genera que los caudales de escorrentías se incrementen vertiginosamente de tal manera que rebasa las condiciones naturales de descarga. Por otro lado, la intersección de los ríos Amayo y la quebrada Chanseñora, genera el desbordamiento de la quebrada, debido a la oposición de incorporar el caudal de la quebrada con la del río Amayo, adherido a la planicie del punto de unión, posibilita la inundación en la comunidad Apolonio Morales.

La problemática de inundación afecta directamente al parque en la zona llamada “El Casco” y en la comunidad Apolonio Morales, aunque hasta el momento sólo se han cuantificado perjuicios materiales, el riesgo de pérdidas de vida está latente.

En la actualidad, las estrategias de evacuación pasan por la organización de la ADESCO de la comunidad entre sus miembros y Protección Civil, que sirve para la evacuación apresurada de los habitantes. La falta de respuesta se debe principalmente a la carencia de un Sistema de Alerta Temprana (SAT), y todo lo que requiere para su debida ejecución, por ejemplo, instrumentación adecuada, personal capacitado, divulgación temprana, umbrales de riesgo, etc.

Otro factor importante a considerar es la falta de información meteorológica de la zona, ya que la red nacional no abarca al parque y tampoco se tiene un registro confiable de parámetros hidrológicos de manera continua. Por lo que se ha identificado las siguientes estaciones meteorológicas que rodean la zona de estudio y será necesario obtener la información de al menos 10 años de registro. Las estaciones son las siguientes:

Melara, Chilama, Zaragoza, Nuevo Cusclatán, Huizúcar, Panchimalco, Ilopango y Comalapa.

El parque Walter Thilo Deininger, se ha convertido en una opción de entretenimiento para turistas locales y extranjeros, y de ahí la trascendencia de que exista un SAT eficiente que produzca una respuesta confiable a la institución del parque y a la comunidad. También, hay que considerar que el área ha sido declarada “Área Natural Protegida” por lo que se vuelve de suma relevancia tener un control de información de la zona y una continua inspección del parque.

Para la aplicabilidad de un SAT en la zona de interés se puede seleccionar el enfoque UNISDR, que cumpla con los cuatro componentes principales de 1) monitoreo y pronóstico, 2) conocimiento del riesgo y vulnerabilidad, 3) comunicación y difusión y 4) capacidad de respuesta.

Según las características de la zona de estudio se plantea la ubicación de al menos 15 puntos de control de precipitación, 5 puntos de control de caudal y una estación completa meteorológica, que sirvan de registro de información. Además, la organización y capacitación de personal en el registro de medidas y mantenimiento de equipo.

También, se debe de sistematizar la comunicación con la población beneficiada por medio de equipos de rápida respuesta tales como radios, alarmas, megáfonos u otros. En la última etapa del SAT, pero más importante es la identificación de rutas de evacuación seguras que le permita a la población (comunidad, empleados del parque y turistas) abandonar las zonas de alto riesgo.

En visita del 9 de marzo se observó que existen varios árboles a lo largo del río Amayo, que pueden incrementar el problema de inundación gravemente.

Finalmente, se pretende alcanzar la implementación de un SAT sistemática y de larga duración, compromiso de los principales involucrados, como lo son la institución del parque, la comunidad y las instituciones que rigen las directrices en riesgo a nivel nacional, tales como El Estado, MARN, Protección Civil, Municipalidades, etc.

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (SAT)

Un sistema de alerta temprana conocido como SAT, es un conjunto de procedimientos, actores, instrumentos e información técnica o común, a través de los cuales se monitorea y vigila una amenaza o evento adverso, natural o humano, de carácter previsible para producir una alerta a las autoridades competentes y población en general con el mayor tiempo de anticipación posible. Se recolectan y procesan datos e información, ofreciendo pronósticos o predicciones temporales sobre la evolución del evento y posibles efectos. La importancia de un SAT radica en que permite conocer anticipadamente y con cierto nivel de certeza, en que tiempo y espacio, una amenaza o evento adverso de tipo natural o generado por la actividad humana puede desencadenar situaciones potencialmente peligrosas tanto para toda la población como para sus bienes materiales.

El objetivo fundamental de un SAT es reducir o evitar las pérdidas de vidas humanas, percances de salud o lesiones, daños materiales y al ambiente, mediante la aplicación de medidas de Protección Civil, mitigación y reducción de riesgos. Entre las actividades de un SAT están:

monitorear y dar seguimiento permanente a los fenómenos climáticos, emitir oportunamente avisos y/o alertas, sugerir medidas de prevención y mitigación, facilitar la información técnica a los organismos gubernamentales de Protección Civil para la toma de decisiones.

Para el diseño e implementación de un SAT se debe tener en cuenta una serie de elementos y de estructuras sectoriales e institucionales, además de otros componentes que determinan su aplicación y eficacia. Algunas organizaciones internacionales identifican cuatro elementos fundamentales que deben ser tomados en cuenta para la creación de un SAT:

- *Existencia y conocimiento de la amenaza y el riesgo:*

Se debe identificar las amenazas y tener conocimiento de los riesgos, o eventos potencialmente peligrosos que puedan afectar a las poblaciones, infraestructuras y recursos expuestos al impacto de dichos fenómenos.

- *Respaldo técnico e institucional:*

Se debe contar con el respaldo de instituciones científico-técnicas, y aquellas responsables de la toma de decisiones.

- *Difusión y comunicación:*

La difusión y comunicación de la información es un elemento crucial en un SAT, para

motivar y concientizar a los habitantes y a sus autoridades, sobre la importancia del conocimiento de los riesgos, amenazas, vulnerabilidades, planes de emergencia, medidas de prevención y reducción de riesgos, etc.

- *Capacidad de respuesta:*

Es necesario contar con la participación directa de las comunidades, las cuales deben estar organizadas y preparadas con sus planes de respuesta debidamente actualizados para actuar en caso de emergencia.

UMBRALES DE EMERGENCIA.

Los umbrales se convierten en “niveles de alerta”, cuando se hace una aplicación para inundaciones. Facilitan a la población de las comunidades, un tiempo de antelación suficiente para prepararse ante una probable inundación (OEA, 2010).

TIPOS DE UMBRALES DE EMERGENCIA

Cada vez que sucede una inundación hay una superación de los niveles normales de las aguas en los cauces de los ríos y quebradas, que originan desbordamientos y que las planicies de inundación sean inundadas.

Durante la época lluviosa, éstas se traducen en un aumento de nivel de agua en los cauces. Se entiende por umbral el valor de la magnitud física peligrosa a partir de la cual se justifica la aplicación de una determinada medida de protección.

Para fines de alerta temprana ante inundaciones es posible definir dos tipos de umbrales:

- a) Umbral de lluvia: indica a partir de qué cantidad de precipitación acumulada es probable que el río se desborde provocando una inundación;
- b) Umbral del nivel del río: indica el nivel del río a partir del cual es probable que se presente una inundación.

UMBRAL DE LLUVIA.

Los valores de umbrales de alerta dependen del país y de la región de estudio. La escala varía de acuerdo al orden de las lluvias. Dado que las características que identifican las lluvias son la intensidad, la duración y la extensión, algunos países consideran los umbrales para dos tipos de lluvias: la precipitación ocurrida en 1 o 2 horas (en algunas regiones, para media

hora) para las lluvias intensas y las ocurridas en 12 o 24 horas para las lluvias persistentes y, generalmente, extensas (CRID, 2009).

En Centro América y el Caribe los criterios para definir umbrales de lluvia para inundaciones se basan en una combinación del tiempo y de la intensidad de la lluvia.

Una propuesta de nivel de umbrales para una la cuenca del río Amayo y la quebrada Chanseñora están comprendidos entre los valores de escala que indica los límites en el siguiente cuadro:

Cuadro VII. Umbrales de pronóstico del río Amayo

Pronóstico de lluvia	Nivel de alerta	Actividades principales
20 - 40 mm/hr	Verde	<ul style="list-style-type: none"> - Indica que se debe estar atento al comportamiento y evolución del fenómeno o evento monitoreado. - Mayor atención a la red de monitoreo instalada en el Parque.
40 a 50 m/hr	Amarillo	<ul style="list-style-type: none"> - La alerta debe dirigirse a las instituciones de Protección Civil, los encargados del Plan de Emergencia y los habitantes de la Comunidad Apolonio Morales, así como a la prevención de los trabajadores, visitantes y turistas del parque. - Aumenta la alerta y el parque en coordinación con las instituciones inician sus preparativos para ejecutar las acciones correspondientes, dirigidas a la evacuación.
Mayor a 50 mm /hr. O mayor a 64 mm en dos horas	Rojo	<ul style="list-style-type: none"> - Alerta emitida a través de las instituciones responsables o entidades autorizadas, tanto nacionales como locales. - Se activa el Plan de Emergencias, en la mayoría de los casos, se ordenará la evacuación de los pobladores a zonas seguras o albergues, además otras acciones, según las condiciones en que se presenta el evento.

Fuente: Elaboración propia.

Los umbrales de lluvia tienen la ventaja de proveer más tiempo para desarrollar las actividades de respuesta en el SAT, pues hay un tiempo de traslado de lluvia (desde la cabecera de la cuenca hasta el punto de análisis), y el tiempo de traslado de la crecida, desde el punto de análisis (regularmente es una estación de nivel) hasta la comunidad o

comunidades en riesgo de inundación. La ventaja consiste en que los datos de monitoreo de la lluvia llegan a la oficina de monitoreo antes de que estas se conviertan en crecida en el punto de control o medición; y permite el análisis y definir si se procede a dar un aviso o alerta.

El Servicio Geológico de los Estados Unidos y el Servicio Nacional de Meteorología de los Estados Unidos han desarrollado metodologías para identificar valores de umbrales de lluvia que sirvan de guía para determinar cuánta lluvia hace falta para generar una inundación repentina en una zona determinada.

Los pasos para definir una curva de lluvia acumulada-niveles de alerta inician con definir la lluvia máxima diaria estimada, realizando posteriormente una distribución hipotética horaria de la lluvia y finalmente se obtiene la curva de lluvia acumulada.

Se genera una distribución hipotética a falta de otros datos. El mejor criterio para esto es hacer un “estudio de las tormentas”; pero lamentablemente, la información de este tipo es muy difícil de obtener en los Servicios Meteorológicos de los países centroamericanos.

Las crecidas en una cuenca generalmente están asociadas a lluvias de corto tiempo (horas), llamadas tormentas. Una tormenta puede ser una lluvia que inició a las 11:00 horas y finalizó a las 14:00 horas, con un acumulado de lluvia que produce una crecida considerable aguas abajo. El mejor criterio para el estudio de crecidas es encontrar las tormentas asociadas. Los Servicios Meteorológicos operan en sus redes, medidores de lluvia diaria o pluviómetros totalizadores. Son muy pocos los aparatos que registran lluvia continua. Por lo anterior, el dato que comúnmente es obtenido es la lluvia diaria.

Diferentes hidrólogos han realizado estudios de tormentas para definir las distribuciones típicas horarias para algunas regiones hidrológicas. Como resultado, se han propuesto diferentes distribuciones típicas, tales como las distribuciones hipotéticas del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS). El SCS recomienda varios tipos de distribuciones, entre ellas las llamadas tipo I y tipo II. El tipo II es usado por modelos hidrológicos, tal es el caso de HEC HMS.

Los análisis conducen a identificar tres categorías o niveles de umbrales, relacionados con los colores verde, amarillo y rojo. El Cuadro 8 presenta un ejemplo de umbrales de lluvia relacionados con colores.

La condición de alerta verde (Cuadro VIII) está relacionada con la cantidad de lluvia acumulada que determina una crecida en los ríos, pero que no causa su desbordamiento; la condición de alerta amarilla está relacionada con la cantidad de lluvia acumulada que determina crecida en los ríos, aunque no causa desbordamiento del mismo, pero que de continuar lloviendo generaría su desbordamiento; y la condición de alerta roja está relacionada con la cantidad de lluvia acumulada que origina desbordamiento en los ríos.

Cuadro VIII. Condiciones y descripciones de los tipos de alerta.

Tipo de alerta	Condición de alerta	Descripción
Alerta	Verde	Aquella que se declara cuando las expectativas de un fenómeno permiten prever la ocurrencia de un evento de carácter peligroso para la población. Nivel de prevención y notificación a las instituciones del Sistema, implica preparación, pero no movilización de los enlaces.
Alerta	Amarillo	Cuando la tendencia ascendente del desarrollo del evento implica situaciones inminentes de riesgo y situaciones severas de emergencia.
Alarma	Rojo	Cuando el fenómeno impacta una zona determinada, presentando efectos adversos radicales a las personas, los bienes, las líneas vitales o el medio ambiente.

Fuente: OEA, 2010.

CÁLCULO DE UMBRALES DE LLUVIA

Para calcular umbrales de lluvia se utiliza con mucha frecuencia el método estadístico, el cual se basa en los siguientes pasos:

- Se define la cuenca de análisis o estudio y se seleccionan las estaciones de lluvia;
- Se obtienen los registros de lluvia máxima diaria para cada estación seleccionada. Un dato por año.
- Si existen datos de lluvia en 24 horas, estos deben ser utilizados;

- Se procede con el análisis estadístico de la serie de datos máximos (un análisis por estación). Ven Te Chow propone una relación para definir un valor probable para un periodo de retorno 'Tr':

$$X(Tr) = X + K*S$$

- Se define el período de retorno mínimo de recurrencia de inundaciones. Generalmente se establece de 2 años;
- Se calcula el tiempo de concentración de la cuenca de estudio (ver módulo 1 para cálculo). Normalmente se calcula este tiempo hasta la comunidad vulnerable o bien hasta el punto de análisis hidrológico (estación de nivel del río);
- Se obtiene la lluvia media de la cuenca; se puede estimar valorando el promedio (para el caso de dos estaciones, igual a la suma de valores dividido entre dos. Si son tres estaciones, se suman los tres valores y se divide entre tres, etc.)
- Se define una distribución horaria (hipotética) de la lluvia; usando el valor de la lluvia de diseño (calculada a partir de la lluvia media) para el período de retorno de 2 años;
- Se define la gráfica de lluvia acumulada para niveles de alerta y se calculan los umbrales (niveles de alerta). El umbral que podría causar un desbordamiento del río es el definido por el tiempo de concentración.

DEFINICIÓN DE LA LLUVIA CON EL MÉTODO ESTADÍSTICO

Se estima la lluvia que podría causar una crecida que genere una inundación en la cuenca del río Amayo. Para ello:

1. Se definió la subcuenca de análisis: cuenca río Amayo.
2. Se identificaron las estaciones de lluvia y se determinó un mapa de isoyetas con los parámetros de lluvia que contienen. (Figura 7).
3. Se define el tiempo de concentración para la cuenca hasta el Parque Walter Thilo Deininger. El tiempo de concentración definido hasta este punto; y calculado con la ecuación de Kirpich y Californiana, considerando los datos de diferencia de nivel en metros y longitud del río en metros hasta el punto de la estación.
4. Se identificaron las lluvias máximas diarias de las estaciones meteorológicas seleccionadas.

5. Se estimó la lluvia máxima diaria para un retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Para el análisis se han utilizado las Lluvias Máximas Diarias (mm) de las estaciones meteorológicas disponibles y con incidencia en la zona de estudio, a partir de las cuales se llevó a cabo el análisis probabilístico de distribución de frecuencias mediante Gumbel y LogNormal, y posteriormente su distribución mediante líneas de Isoyetas, determinándose las lluvias máximas diarias para los periodos de retorno indicados y según los siguientes resultados: $Pr_2 = 84.5$ mm, $Pr_5 = 137$ mm, $Pr_{10} = 160$ mm, $Pr_{25} = 195$ mm, $Pr_{50} = 214$ mm y $Pr_{100} = 237$ mm.

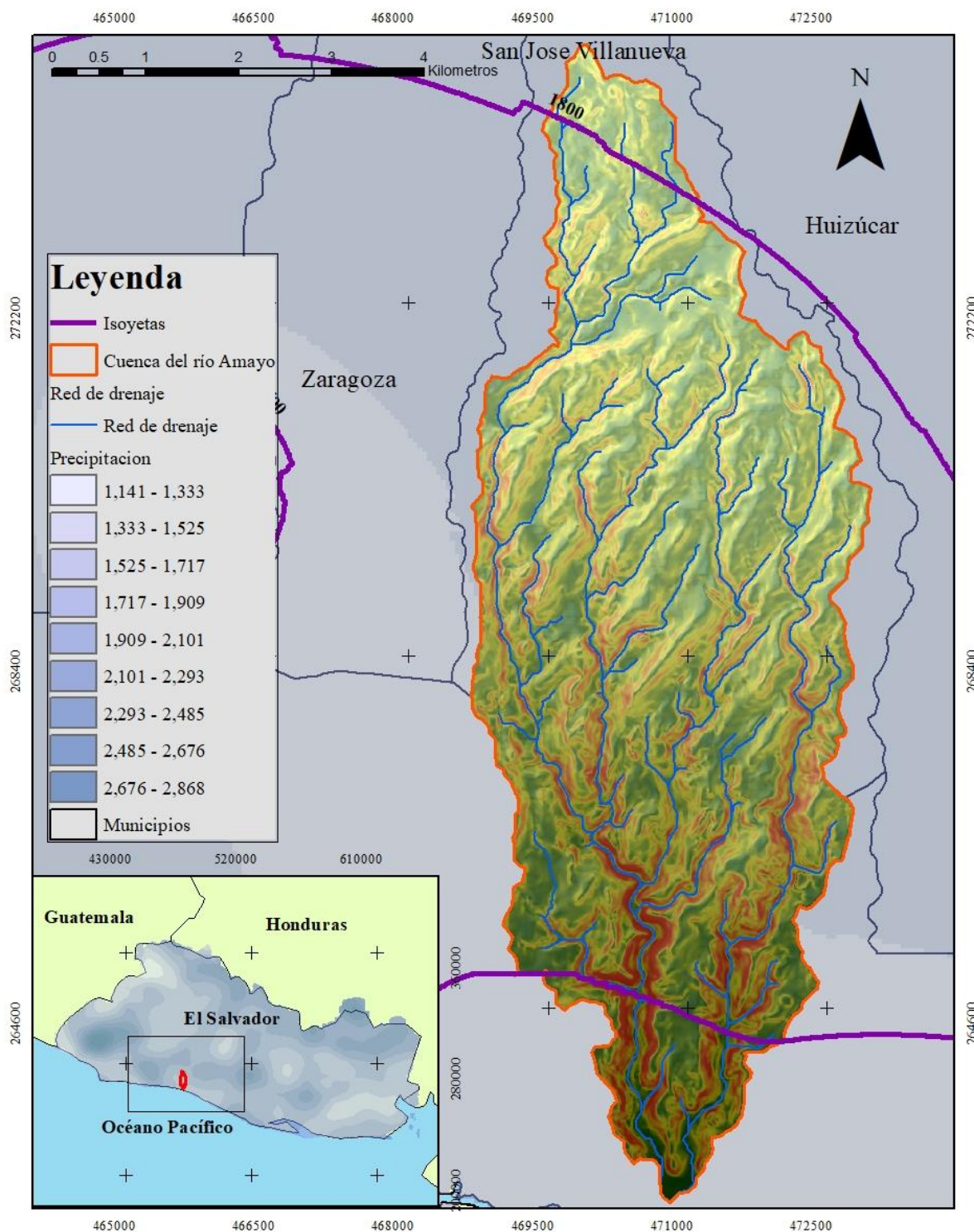


Figura 7. Mapa de isoyetas del Parque Walter Thilo Deininger. Fuente: Elaboración propia.

DEFINICIÓN DE UMBRALES DE RÍO

Con los valores calculados de lluvia máxima diaria estimada, $X(Tr)$ para el retorno de 2 años se valora la lluvia media de la cuenca del río Amayo.

Se procede seguidamente a transformar la P_m a lluvia para un período de 24 horas, y para ello se usa el factor F_{24}

El Manual de Estudios Hidrológicos del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, PHCA, indica que para cálculos rápidos pueden usarse valores similares a los obtenidos en otros países (estimaciones para USA realizados por Hershfield definen F_{24} en 1.13).

Para una aplicación en cualquier país de Centro América o el Caribe se sugiere usar un F_{24} de 1.15.

Adicionalmente se usa un factor F de 1.10 para la definición de lluvia de diseño. El resultado final es la lluvia que hay que distribuir en forma horaria por medio de la distribución hipotética tipo II, del SCS.

Haciendo uso de los datos obtenidos para este caso, se estimaron $X(Tr)$ para las estaciones y se calculó la P_m ; entonces la lluvia de diseño, P es:

$$P = F_{24} * F * P_m$$

$$P = 1.15 * 1.10 * 84.5$$

$$P = 106.89 \text{ milímetros}$$

Se procede a elaborar la distribución horaria de la lluvia para el valor de la lluvia de diseño (P), utilizando para ello el procedimiento sugerido por el SCS.

De la Curva de Distribución Hipotética Tipo II del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, se han tabulado los factores horarios que se listan a continuación en el cuadro IX.

Cuadro IX. Factores horarios del USSCS para distribuir lluvia.

Hora	Factor	Hora	Factor	Hora	Factor
1	0.015	9	0.140	17	0.900
2	0.020	10	0.180	18	0.920
3	0.030	11	0.230	19	0.930
4	0.050	12	0.620	20	0.940
5	0.060	13	0.780	21	0.960
6	0.080	14	0.820	22	0.970
7	0.100	15	0.850	23	0.990
8	0.120	16	0.870	24	1.00

Fuente: USSCS.

Cada factor corresponde a una hora del día, lo que equivale a tener 24 factores para las 24 horas del día. Para obtener la “distribución horaria de la lluvia” se calcula primero la lluvia hora (P-d hora) multiplicando cada factor horario por el valor de la lluvia de diseño (determinada a partir de la lluvia media de la cuenca de estudio). Para este caso que se está ejecutando es la cuenca río Amayo.

En seguida se calcula PH, la lluvia hora puntual; para la hora 1 el valor es de 1.27 (igual al valor de P-d hora para la hora 1); para la hora 2 es igual a $1.69 - 1.27$, para un resultado de 0.42, para el resto de valores se procede de igual manera. Se nota que para obtener PH se restan los valores de P-d hora.

Finalmente se procesa la Curva de Lluvia Acumulada para Niveles de Alerta. Considerando los valores de PH del inciso anterior; se define PH o, lluvia horaria ordenada. Para ello, de la fila de valores de PH se selecciona el mayor valor y se coloca en la hora 1, y se selecciona el valor que sigue al mayor y se coloca en la hora 2. Esto no es más que una ordenación de valores de mayor a menor.

Se define Ph a, lluvia horaria, que se obtiene al acumular los valores de PH o. Para la hora 1 el valor es de 32.96, para la hora 2 se tiene $32.96 + 13.52$, para un resultado de 46.48. Para el resto de valores se procede de igual manera. Los valores de Ph a definen la “Curva de Lluvia acumulada para Niveles de Alerta”.

Un resumen de los valores calculados para los 2 numerales anteriores (definición de la Curva horaria y de la Curva acumulada) se presenta en el cuadro X; con los resultados del factor horario, la lluvia hora, la lluvia hora puntual, la lluvia horaria ordenada y la lluvia horaria.

Cuadro X. Definición de valores para la Curva Acumulada de lluvia.

Hora	Factor h	P-d Hora	PH	PH o	Ph a
1.00	0.02	1.27	1.27	32.96	32.96
2.00	0.02	1.69	0.42	13.52	46.48
3.00	0.03	2.54	0.85	4.23	50.70
4.00	0.05	4.23	1.69	3.38	54.08
5.00	0.06	5.07	0.84	3.38	57.46
6.00	0.08	6.76	1.69	2.54	60.00
7.00	0.10	8.45	1.69	2.54	62.53
8.00	0.12	10.14	1.69	1.69	64.22
9.00	0.14	11.83	1.69	1.69	65.91
10.00	0.18	15.21	3.38	1.69	67.60
11.00	0.23	19.44	4.23	1.69	69.29
12.00	0.62	52.39	32.96	1.69	70.98
13.00	0.78	65.91	13.52	1.69	72.67
14.00	0.82	69.29	3.38	1.69	74.36
15.00	0.85	71.83	2.54	1.69	76.05
16.00	0.87	73.52	1.69	1.69	77.74
17.00	0.90	76.05	2.54	1.27	79.01
18.00	0.92	77.74	1.69	0.85	79.85
19.00	0.93	78.59	0.84	0.85	80.70
20.00	0.94	79.43	0.84	0.84	81.54
21.00	0.96	81.12	1.69	0.84	82.39
22.00	0.97	81.97	0.85	0.84	83.23
23.00	0.99	83.66	1.69	0.84	84.08
24.00	1.00	84.50	0.84	0.42	84.50

Fuente: Elaboración propia.

Se elabora la Curva de lluvia acumulada para niveles de alerta. Tomando los valores de Ph a versus las 24 horas del día se obtiene la gráfica que se muestra en la Figura 2. Esta gráfica es la que se utiliza para definir los valores de lluvia para los umbrales.

Se toma el resultado del tiempo de concentración hasta el casco del Parque Walter Thilo Deininger de 8 horas.

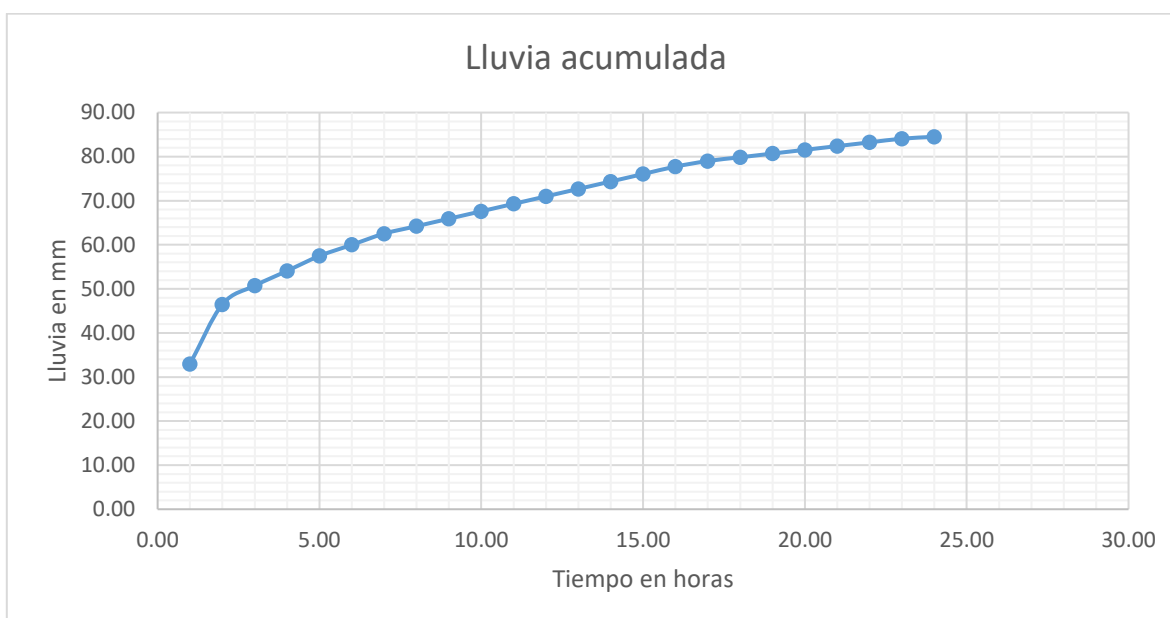


Figura 8. Lluvia acumulada. Fuente: Elaboración propia.

El umbral de crecida se establece para el tiempo de concentración de 8 horas. Con este valor se lee 8 horas en la escala horizontal de la Figura 8 y en la escala vertical se lee 64 mm al cortar la curva trazada. Este valor de 64 se puede obtener también del Cuadro IV, al leer el valor de “Ph a” que corresponde a la hora 8. Para fines prácticos se toma:

64 mm de lluvia para el umbral de crecida en dos horas.

Se presentan finalmente, algunas consideraciones generales que rodean la determinación de umbrales de lluvia: El conocimiento de la cuenca a analizar es muy importante. La revisión de la información hidrometeorológica existente, colectada y analizada, permitirá un éxito en la determinación de los umbrales de lluvia. La información que las comunidades brinden, tal es el caso de los datos de las crecidas importantes, el conocimiento de cómo ocurren las lluvias y su intensidad, la información de las inundaciones históricas, y la investigación de campo, darán al analista el soporte adecuado para el tema de umbrales. Una vez que se establezcan los umbrales de lluvia, estos deben ser validados con los eventos futuros de crecidas y de lluvia.

UMBRALES DE NIVEL DE RÍO

La identificación de un umbral para una probable inundación de un SAT se hace con la determinación de un valor límite de lluvia o un valor límite de nivel del río. Adicionalmente, el estudio de las crecidas registradas puede relacionarse con el acontecimiento de las inundaciones. En la comunidad Apolonio Morales y en el Parque Walter Thilo Deininger normalmente se tiene conocimiento de cuándo sucedió una crecida y se pueden definir los niveles que alcanzó el río.

Si se tiene un registro de inundaciones, se puede calcular el valor mínimo del nivel del río que provoca una inundación pequeña, o bien definir un valor máximo o mayor de nivel del río que provoca una inundación extrema o superior. Con estos valores se puede elaborar una Tabla de Umbrales de nivel de río.

Así mismo, se pueden definir por procedimientos hidrológicos que permiten obtener el tiempo en que un caudal puede presentarse o repetirse.

UMBRAL DE CRECIDA.

Los umbrales de esorrentía se definen del estudio ‘Caudal y Respuesta’ de la cuenca, se analiza una selección de eventos de caudal para cuantificar los valores de las crecidas (estudio de hidrogramas). Los umbrales de desbordamiento se definen con el conocimiento de la topografía de las zonas inundables y se obtienen los puntos críticos de inundación; el proceso puede culminarse con la elaboración de un mapa de Riesgo de Inundaciones Figura 9.

Definición de niveles: Estudios usando la topografía de las secciones transversales permiten definir los niveles del río para un valor de caudal de retorno. Una serie de secciones transversales permite definir un mapa de peligro o de amenaza de inundación. Productos de utilidad para programas de prevención y ordenamiento territorial. Se puede concluir que, para la fijación de umbrales basados en niveles de río, se requiere de un análisis y un proceso más complicado, donde la experiencia del analista es importante. Por ello se ha sugerido el uso de los métodos de definición de umbrales de lluvia claramente explicados en el presente informe. (OEA, 2010).

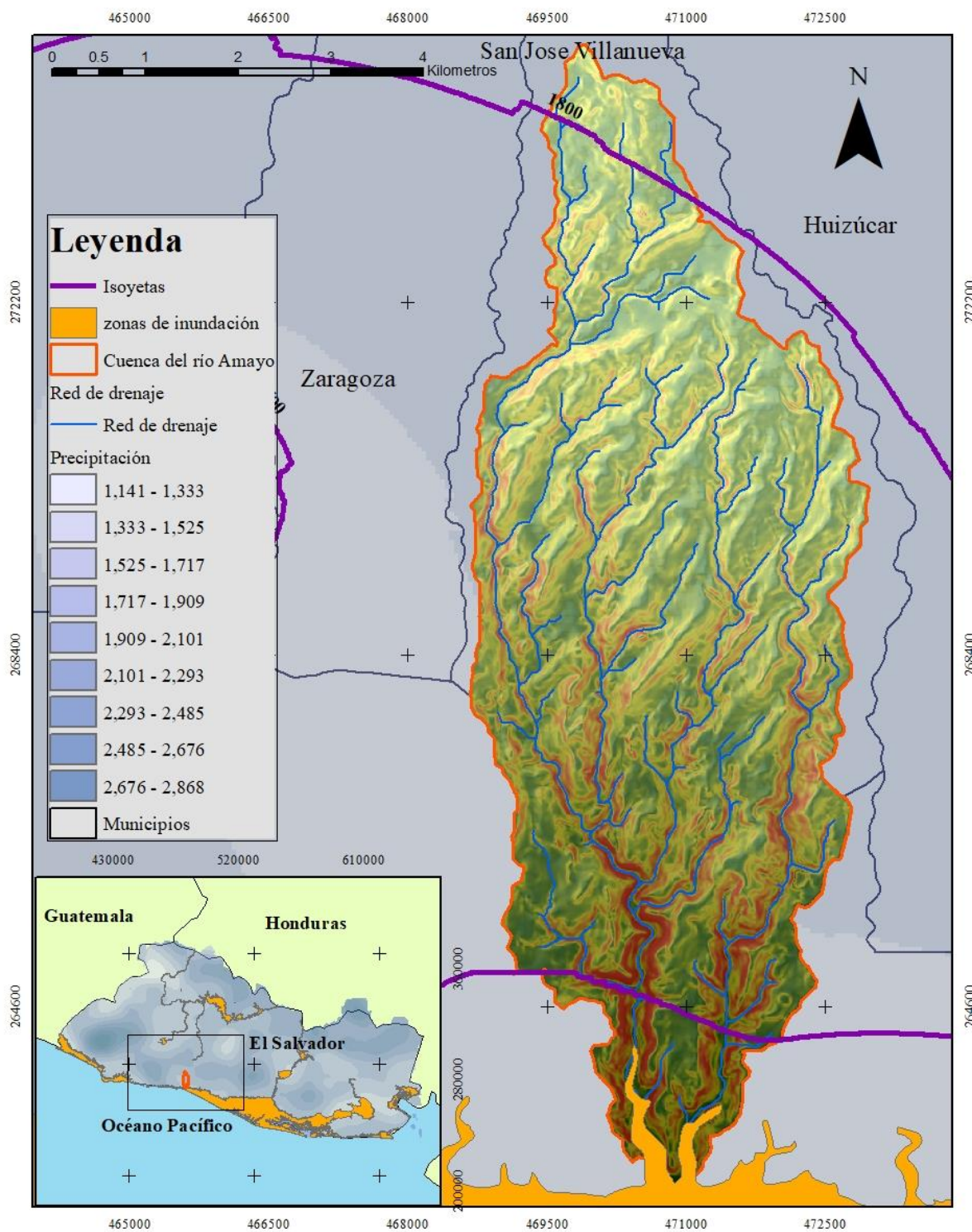


Figura 9. Mapa de inundaciones. Fuente: Elaboración propia.

El SAT puede considerar los siguientes pasos para definir umbrales de nivel de río:

- Determinar el valor del caudal máximo de recurrencia para T_r de 2 años;
- Calcular por hidráulica el nivel que está en correspondencia con este caudal para la sección o perfil transversal del punto de pronóstico (estación de nivel de río);
- El nivel anterior define el Umbral de Crecida (carácter rojo).
- Para el umbral amarillo y verde puede seguirse el criterio de usar un tiempo de retorno, T_r , de 1.1 años.

El umbral de crecida está relacionado con un evento mínimo capaz de producir una inundación. Para el caso de Centro América y el Caribe se sugiere usar un caudal de retorno de 2 años.

Una metodología alterna sugiere el uso del método aplicado por la Universidad de Florencia, Italia, basado en los siguientes conceptos:

- El análisis hidráulico es bueno si el objetivo es la determinación del “caudal máximo que puede transitar en una determinada sección”. Este caudal es útil cuando se instala un sistema de alerta temprana ante inundaciones, ya que ofrece la facilidad de determinar un valor para una señal de alerta. Se le puede llamar entonces “Caudal Crítico”.
- El umbral hidrométrico crítico (y_{lim}), es el nivel del río con el cual se observan daños para la población; valor que representa la cota máxima de la borda en la sección de interés o la altura máxima del cauce del río a sección llena. Ver Figura 10.
- El umbral hidrométrico de alerta (h_{lim}) se ubica generalmente a una cota inferior con respecto al umbral crítico por razones lógicas de precaución. Ver Figura 10.
- Para tramos con borda, se puede tomar el umbral de alerta en correspondencia con el caudal que alcanza la altura máxima de la borda disminuida en un metro.
- Para el caso de tramos sin borda, se considera el umbral de alerta en correspondencia con el caudal que ocupa completamente la sección o cauce analizado.
- Se define entonces un “Umbral de Alerta”, basado en el análisis hidráulico de los cauces. Se sugiere el uso del modelo hidráulico HEC RAS para el análisis de los tramos.

Para usar este método se requiere tener conocimiento de modelación hidráulica y de las tareas de campo para definir los tramos topográficos del canal del río y las secciones transversales de análisis.

Para el desarrollo de un SAT contra inundaciones, donde los voluntarios o comunitarios van a tener una participación activa en la operación y monitoreo de la cuenca, definir umbrales de nivel de río basado en la experiencia de la comunidad es el paso más sencillo a utilizar.

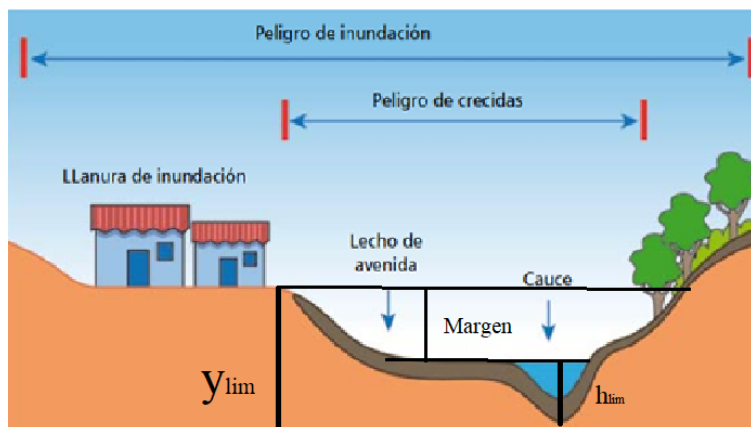


Figura 10. Caudal crítico. Fuente: Modificado de OEA, 2010.

DEFINICIÓN DE UMBRALES DE NIVEL DE RÍO

Un procedimiento más sencillo para definir umbrales de nivel de río es consultar a las comunidades de la cuenca donde se está operando o diseñando el SAT sobre la ocurrencia de las inundaciones.

Los habitantes pueden suministrar valiosa información con la que se puede establecer un nivel de referencia o umbral.

La experiencia de la comunidad y de los trabajadores del Parque Walter Thilo Deininger acerca de las inundaciones puede apoyar la identificación de los lugares más vulnerables a inundaciones dentro de la comunidad y reconocer las características de los eventos de inundación que se repiten en la cuenca. El conocimiento de un nivel del río aguas arriba puede caracterizar un nivel del río.

La referencia histórica comunal (analizada y verificada en el campo con marcas dejadas por las inundaciones) es en este caso la más valiosa información para obtener un umbral de referencia o mínimo para una probable inundación. Esto permitirá definir un umbral de

crecida. Siguiendo las relaciones adecuadas se define una tabla de umbrales; estos valores deben ser validados con la revisión de futuros eventos de inundación. (OEA, 2010).

Los pasos mínimos a seguir son los siguientes:

- Se fija un umbral mínimo con la experiencia de la comunidad y se relaciona con un nivel 7, N7, alerta roja. Este nivel regularmente se maneja con un sensor electrónico sencillo.
- Dependiendo del tamaño de la cuenca de estudio, ancho y profundidad del río en el punto de análisis, se define la longitud del sensor (regularmente es de 2 metros, pero puede tener 3 metros). Los niveles de N1 a N10 se señalan a cada 20 centímetros o 30 centímetros.
- El umbral amarillo que coincide con un nivel 6, N6, queda entonces determinado según el tamaño del sensor, sea a 20 centímetros o 30 centímetros más bajo que el nivel siete.
- El nivel 5, N5, determina la alerta verde. Tal como se definió el umbral amarillo, quedará a un nivel menor que este.
- Para el desarrollo de un sistema comunitario de alerta temprana ante inundaciones, SAT, donde los voluntarios o comunitarios van a tener una participación activa en la operación y monitoreo de la cuenca, definir umbrales de nivel de río basado en la experiencia de la comunidad es el paso más sencillo a utilizar.
- El nivel 5, N5, determina la alerta verde. Tal como se definió el umbral amarillo, quedará a un nivel menor que este.

El cuadro XI muestra la interpretación de la información comunal, expresada en una tabla de umbrales de nivel de río, manejada adecuadamente con un sensor electrónico sencillo.

Para el desarrollo de un sistema comunitario de alerta temprana ante inundaciones, SAT, donde los guarda recursos o comunitarios van a tener una participación activa en la operación y monitoreo de la cuenca, definir umbrales de nivel de río basado en la experiencia de la comunidad es el paso más sencillo a utilizar.

Cuadro XI. Tipos y condiciones de alerta para el nivel de un río.

Tipo de Alerta	Nivel de río	Condición de alerta	Definición
Aviso	Nivel de río en N5	Verde	Dar aviso a las instituciones del Parque para que le den seguimiento al comportamiento de los niveles.
Alerta	Nivel de río en N6	Amarillo	Dar alerta a los encargados para implementar acciones previas a una inundación y aviso a turistas para evacuar el Parque.
Alarma	Nivel de río en N7	Rojo	Dar alarmas a las comunidades (Apolonio Morales) aguas abajo para activar planes de emergencia.

Fuente: OEA, 2010.

CAUDAL RÍO AMAYO

Mediante la aplicación del módulo de transporte de sedimentos del modelo HEC RAS se pudo establecer que la zona baja del río Amayo, son susceptibles al depósito de material sedimentable proveniente de la parte alta de la cuenca. El análisis del comportamiento de los sedimentos en la plataforma de HEC RAS se llevó a cabo precedido por el análisis de flujo casi inestable (quasy unsteady flow), estableciéndose para ello un caudal de 20m³/seg y una duración de 2 horas (Quiñonez Basagoitia, 2016).

DEPÓSITOS DE SEDIMENTOS

De acuerdo al análisis de los resultados de los parámetros de la modelación que se presentan en anexo, se determinó que el cauce del río Amayo en el tramo comprendido por 1.5 km hacia aguas arriba del puente sobre la carretera del Litoral, presenta una tasa mayoritaria de depósitos de sedimentos que se expresa como una depositación de sedimentos neta en el cauce del río en el orden de los 30 cm. anuales y la presencia de alta velocidades en los tramos de meandros, lo que provoca cierta erosión lateral en las riberas del río.

El cauce del río posee en promedio un ancho de 14 m. y 2.50 m. de alto. Sin embargo, se han identificado tres puntos críticos de desbordamiento con alturas de rebose de 1.20 m. y 1.50 m. donde el río se desborda recurrentemente generando flujos que alcanzan las áreas internas del Parque. En eventos de crecidas estos puntos críticos generan un mayor impacto ya que los flujos se incrementan afectando el área de canopy y adventure, la zona de viveros y picnic, y las zonas administrativas. El primer punto se encuentra ubicado a un aproximado de 150 m. al norte de la zona de Canopy y adventure, y se conforma como un punto de drenaje de una pequeña zona de recogimiento interna del parque. El segundo punto se encuentra a un estimado de 300 m. del primer punto en el área conocida como “la poza”, la cual se genera en el tramo de curvatura del río en ese punto, permaneciendo como una acumulación de agua durante todo el año. Posteriormente se encuentra un tercer punto crítico en la zona de “Los Orejones” ubicada hacia aguas arriba a un estimado de 150 m. del segundo punto el cual se caracteriza por una interacción con el terreno aledaño, sin que exista un área definida de borde ribereño.

A partir de la modelación hidrológica en el modelo HEC-RAS se ha determinado que las secciones del río Amayo en el tramo comprendido entre la confluencia con el río Chanseñora hacia aguas arriba en una longitud estimada de 1200 mts, tiene la capacidad de conducir en promedio un caudal entre los 25 m³/s y 37 m³/s. La zona comprendida entre el área de Canopy y adventure y la zona del bosque de los orejones, posee por lo general una menor altura en los bordes ribereños, alcanzando alturas en el orden de los 2.50 m., a excepción de los puntos críticos que poseen una altura de los bordes ribereños de 1.50 m. Para este tramo del río los caudales críticos antes del desbordamiento se establecen en 28 m³/s de acuerdo a la curva de descarga general que se ha determinado. En la misma puede observarse que para una altura relativa de 2.50 m. a partir de la elevación de referencia 1.80 msnm se obtiene caudales en el orden de dicha magnitud. (Quiñonez Basagoitia, 2016)

Por otra parte, para el tramo comprendido entre las áreas administrativas y de parqueo y la zona de Canopy y Adventure, se tienen en promedio alturas de los bordes ribereños de 3.2 m. en promedio, reflejando una mayor capacidad de conducción en tanto que el ancho promedio de las secciones se similar a los anchos del cauce aguas arriba. En este tramo, considerando la curva de descarga determinada en el análisis hidráulico, se pueden conducir

en promedio un estimado de $37 \text{ m}^3/\text{s}$, para una altura relativa de 3.2 m. de los bordes, sobre la elevación de referencia de 1.80 m. Es decir, para la elevación en la curva de descarga de 5.0 m se obtiene un caudal de $37 \text{ m}^3/\text{s}$. La zona de administración y parqueos se encuentra en la elevación relativa de los 5.0 – 5.4 m.

El mismo análisis puede observarse para las condiciones proyectadas al 2030 y para los eventos extraordinarios, donde se tiene un incremento de los caudales y, por consiguiente, una mayor condición de riesgo por inundación en el área de estudio.

INSTRUMENTACIÓN: TIPO Y CANTIDAD DE EQUIPO A SER UTILIZADO

El uso de los datos hidrometeorológicos leídos por los voluntarios en un SAT, es fundamental para definir los pronósticos y tomar la decisión del traslado de avisos y alertas para prevenir las inundaciones.

La participación de los técnicos de los organismos que intervienen en las tareas de operación o de implementación del SAT es importante, pues cumplen la función de ser administradores del sistema, usando criterios técnicos y tecnológicos para los análisis respectivos.

Actualmente existen diversos tipos de equipos para registrar lluvias y niveles de ríos, desde artesanales hasta aquellos que utilizan tecnología satelital. En el pasado se ha contado incluso con instrumentos casero, ahora se cuenta con medidores de lluvia de bajo costo, como el pluviómetro Trucheck fabricado con material plástico.

Fabricantes de equipos hidrometeorológicos ofrecen diversos equipos con tecnología avanzada. Existen equipos con registradores electrónicos y con componentes que permiten transmitir la información desde el equipo a la oficina usando sistemas como el satélite o la telefonía celular. (UN/ISDR, 2006).

Tomando de base la información recibida hasta el momento y las visitas técnicas al Parque Walter Thilo Deininger, se consideran lo siguiente:

- Cuatro estaciones hidrométricas (limnómetros) de escala vertical graduada, ubicados en “El Salto” del río Amayo, “El Salto” de la quebrada Chanseñora, Puente del río Chanseñora y en la intercepción de ambos ríos.

- Siete pluviómetros del tipo STRATUS o COCORAHS, con una capacidad de 11" o 279,4 litros por metro cuadrado, ubicados en el interior del Parque, desde la zona más alta, hasta el casco.
- Dos estaciones Davis Vantage Pro2, con las siguientes variables: Temperatura y humedad interior y exterior, temperatura de sensación y punto de rocío, velocidad y dirección del viento, Lluvia actual y acumulada diaria, mensual y anual, intensidad de lluvia, presión atmosférica actual y tendencia, radiación solar, evapotranspiración, radiación e índice UV, pronóstico meteorológico y fase lunar y hora de puesta y salida del sol.

ESPECIFICACIONES: DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES

La descripción de los equipos e instrumentos se describe a continuación:

Estación Davis Vantage Pro2: Estación meteorológica inalámbrica profesional con actualizaciones de datos meteorológicos cada 2.5 segundos. Contiene una amplia gama de sensores: Mdién lluvia, velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, radiación UV y solar. Alta calidad: diseñado para soportar el sol abrasador, la corrosión, vientos de 200 mph, temperaturas extremas, también posee un escudo de radiación aspirado por ventilador las 24 horas; combina un blindaje pasivo con un ventilador alimentado por energía solar que atrae aire exterior sobre los sensores, y estos inalámbricos están integrados, tiene una pantalla LCD retroiluminada.

El pluviómetro Stratus presenta una capacidad de 280mm, con una probeta interior graduada en sistema métrico internacional de 25mm de capacidad. El sistema de cierre asegura una evaporación mínima, incluso en condiciones estivales. Así mismo el material de construcción en metacrilato de alta calidad resiste perfectamente las condiciones más extremas, incluso en alta montaña y con fuertes heladas.

El cono de recolección está ajustado a los estándares, con el borde biselado hacia dentro y con una optimización de la recepción de precipitación, incluso en intensidades muy elevadas.

Pluviómetro manual All Weather Rain Gauge de precisión, 10,16 cm (4”) de diámetro, de probada fiabilidad fabricado en material transparente que permite una fácil lectura, homologado por la red Meteoclimatic, resolución: 0.2 mm (escala métrica) y capacidad de 279 mm.

Estación hidrométrica (limnómetro). Los controles de nivel de un río pueden establecerse con un sistema de reglas o escalas limnimétricas. Cuenta con un instrumental de medición (escala o mira) que registra el nivel del río respecto a una referencia fija. Generalmente vienen con marcas en centímetros. Sus características básicas son las siguientes: Material anticorrosivo; Longitud de 1 metro; Fácil de instalar y mantenimiento.

UBICACIÓN DE INSTRUMENTOS: UBICACIÓN GEORREFERENCIADA PARA LA COLOCACIÓN DEL EQUIPO

La ubicación para la colocación del equipo inicia con la delimitación de la cuenca, lo cual debe hacerse con el uso de mapas cartográficos con una resolución adecuada, donde se muestran las curvas topográficas o curvas de nivel. Se establecen las coordenadas geográficas de los puntos relevantes y se identifica el río principal y sus afluentes. El conocimiento de los comunitarios es importante para definir los cauces que son más caudalosos durante la época de lluvias. Así mismo, se debe establecer el probable régimen de las lluvias.

En el cuadro XII, se presenta la ubicación en coordenadas geográficas de los equipos e instrumentos para el SAT del Parque Walter Thilo Deininger.

Cuadro XII. Ubicación de los instrumentos del SAT del Parque Walter Thilo Deininger.

Equipo/instrumento	Grados decimales		UTM	
	Latitud	Longitud	Este (X)	Norte (Y)
limnógrafo	13.506055	-89.272515	254016.3915	1494239.265
limnógrafo	13.510765	-89.258952	255489.9774	1494746.938
limnógrafo	13.488069	-89.268056	254480.8732	1492244.314
limnógrafo	13.483055	-89.269633	254304.9528	1491691.001
Pluviómetro	13.572686	-89.258047	255651.2508	1501598.705
Pluviómetro	13.540938	-89.267759	254567.1856	1498094.945
Pluviómetro	13.54761	-89.283217	252900.3157	1498848.906
Pluviómetro	13.545477	-89.256195	255823.9391	1498585.686
Pluviómetro	13.510262	-89.257651	255630.351	1494689.974
Pluviómetro	13.506722	-89.27916	253297.4637	1494319.76
Pluviómetro	13.48302	-89.270161	254247.7325	1491687.656
Estación total	13.519521	-89.267954	254524.1099	1495724.953
Estación total	13.495448	-89.265088	254809.8482	1493057.966

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 11, se puede observar el mapa con los puntos propuestos para la ubicación de los equipos e instrumentos del SAT del Parque Walter Thilo Deininger.

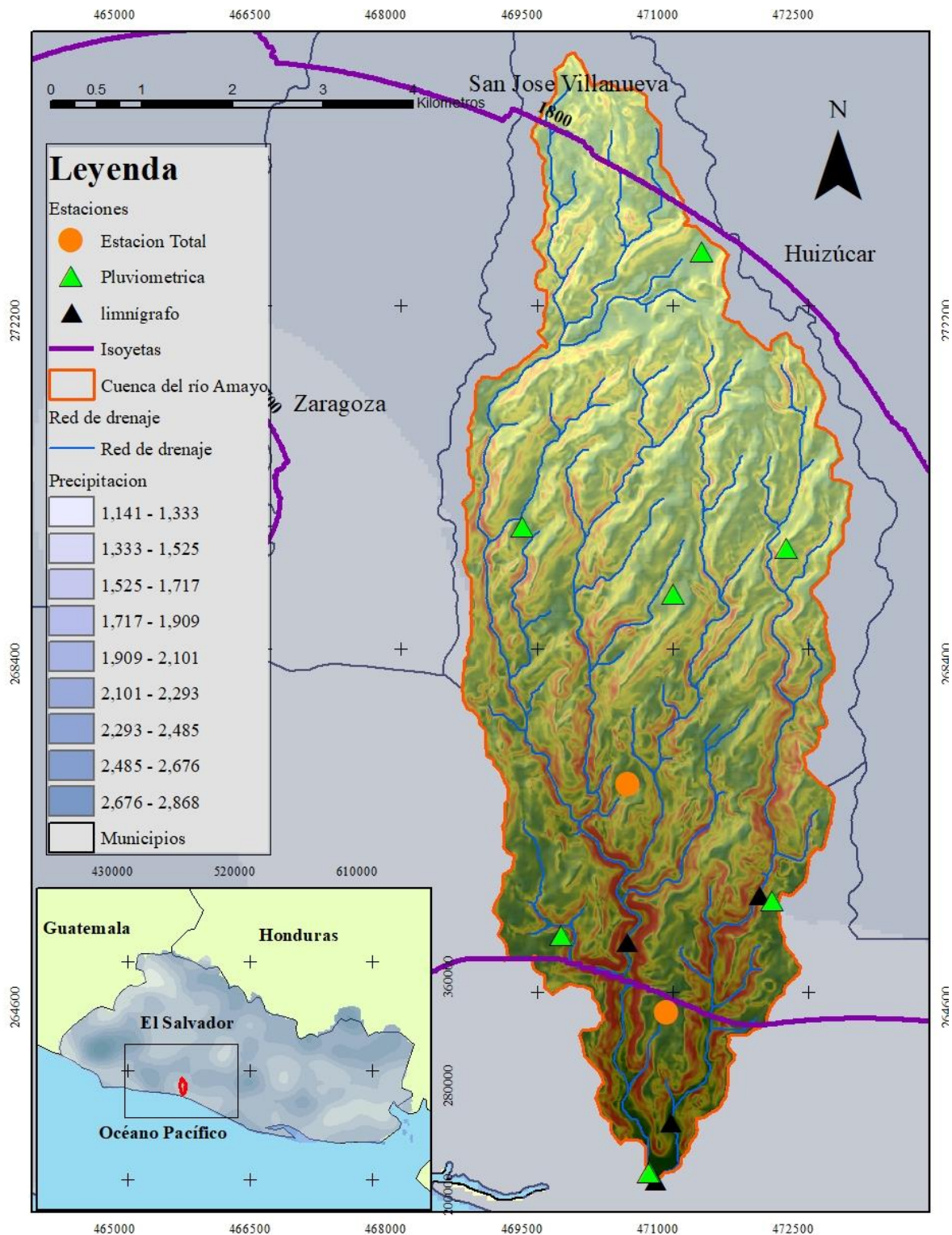


Figura 11. Ubicación de los instrumentos de medición hidrometeorológicos del SAT.

CAPACITACIÓN.

PROPUESTA PARA LA CAPACITACIÓN DE LOS TRABAJADORES DEL PARQUE Y DE LA POBLACIÓN EN PREVENCIÓN Y RESPUESTA, QUE INCLUYA TODOS LOS ACTORES INVOLUCRADOS, SOBRE LA ADMINISTRACIÓN Y USO ADECUADO DE LOS ELEMENTOS DEL SAT

El desarrollo y la implementación de un sistema eficaz de alerta temprana requieren de la contribución y la coordinación de una gran variedad de grupos y personas. La siguiente lista explica brevemente los tipos de organizaciones y grupos que deben participar en los sistemas de alerta temprana, al igual que sus funciones y responsabilidades.

Las comunidades (Apolonio Morales), en particular las más vulnerables, revisten una importancia fundamental para los sistemas de alerta temprana centrados en la población. Es necesario que las mismas participen activamente en todos los aspectos del establecimiento y el funcionamiento de tales sistemas, que conozcan las amenazas y posibles impactos a los que están expuestas y que puedan adoptar medidas para reducir al mínimo la posibilidad de sufrir pérdidas o daños.

Las autoridades locales (Alcaldías de Zaragoza y San José Villanueva), al igual que las comunidades y las personas, constituyen el núcleo de un sistema eficaz de alerta temprana. Los gobiernos nacionales deben facultar a las autoridades locales y éstas deben tener un alto grado de conocimiento sobre las amenazas a las que se exponen sus comunidades y participar activamente en el diseño y el mantenimiento de los sistemas de alerta temprana. Las autoridades locales también deberán comprender la información sobre recomendaciones básicas que reciban y estar en condiciones de asesorar, instruir y hacer participar a la población local a fin de incrementar la seguridad pública y reducir la posible pérdida de recursos de los que depende la comunidad.

Los gobiernos nacionales (Ministerio de Turismo, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ministerio de Salud, Instituto Salvadoreño de Turismo y Policía Nacional Civil) son responsables de las políticas y marcos de alto nivel que facilitan la alerta temprana, y de los sistemas técnicos que prevén y emiten las alertas nacionales de amenaza. Los gobiernos nacionales deberán interactuar con las autoridades y agencias regionales e internacionales para reforzar las capacidades de los sistemas de alerta temprana y encargarse de que las

alertas y las consiguientes respuestas vayan dirigidas a las poblaciones más vulnerables. Otra de sus funciones fundamentales es prestarles ayuda a las comunidades y gobiernos locales para que desarrollen sus capacidades operativas.

Las instituciones y organizaciones regionales (Protección Civil, Cuerpos de Socorro) desempeñan un papel fundamental en la transmisión de conocimientos y asesoramiento especializado en apoyo a las medidas nacionales destinadas a desarrollar y a mantener las capacidades de alerta. Además, estos entes estimulan el establecimiento de vínculos con organizaciones internacionales y facilitan la difusión de buenas prácticas en materia de alerta temprana entre países vecinos.

Los organismos internacionales (Por ejemplo, el BID) pueden ofrecer coordinación, estandarización, financiamiento y asistencia internacional para las actividades nacionales de alerta temprana, y fomentar el intercambio de información y conocimientos entre distintos países y regiones. Este tipo de apoyo puede incluir información sobre recomendaciones básicas y asistencia técnica, organizativa y en materia de políticas. Estos aspectos son necesarios para contribuir a desarrollar capacidades operativas de las autoridades o agencias nacionales.

Las organizaciones no gubernamentales tienen una función de concientización entre las personas, comunidades y organizaciones que participan en la alerta temprana, sobre todo en el ámbito local. También pueden ayudar a la implementación de sistemas de alerta temprana y a preparar a las comunidades a enfrentar los desastres naturales. Además, pueden desempeñar un importante papel en la promoción de la alerta temprana para que se mantenga en la agenda de los gobiernos y los encargados de la formulación de políticas.

El sector privado desempeña un papel muy diverso en este campo. Ello incluye el desarrollo de capacidades de alerta temprana en sus propias organizaciones. Los medios de comunicación juegan un papel fundamental para mejorar el nivel de conocimiento sobre desastres entre la población en general y para difundir alertas tempranas. Asimismo, el sector privado cuenta con un amplio potencial que aún no se ha aprovechado en cuanto al suministro de servicios especializados tales como mano de obra técnica, conocimientos aplicados y donativos (en especie o en efectivo) de bienes y servicios.

La comunidad científica y académica también juega un papel crucial al ofrecer insumos científicos y técnicos especializados para ayudar a los gobiernos y a las comunidades a desarrollar sistemas de alerta temprana. Sus competencias son fundamentales para analizar los riesgos de las amenazas naturales que enfrentan las comunidades, contribuir a la elaboración de servicios científicos y sistemáticos de seguimiento y alerta, fomentar el intercambio de información, traducir la información científica o técnica en mensajes comprensibles y difundir alertas que puedan entender las personas en riesgo.

En este caso específico será necesario que la información base para los parámetros de alerta debe ser difundida y comunicada, entre las autoridades locales ubicadas en la cuenca alta de los municipios de San José Villanueva y Zaragoza, lo cual conforma el Sistema de Protección Civil Municipal (integrado por Encargado de Protección Civil, Alcaldía Municipal, cuerpos de socorro, PNC, Unidades de Salud e Instituciones educativas) y aguas abajo, el personal responsable del Parque Walter Thilo Deininger. Por otro lado, debe existir comunicación permanente entre el personal del parque y el Observatorio Ambiental del MARN. Dicha comunicación debe establecerse a través de celulares o radios de comunicación.

La capacitación de la lectura y registro de instrumentos de medición de los parámetros hidrometeorológicos se planifica llevarse a cabo en la primera semana de abril, así mismo, la capacitación sobre la ejecución del Sistema de Alerta Temprana del Parque Walter Thilo Deininger, con la participación de todos los involucrados. Dicha capacitación se realizará en las instalaciones del Parque.

VULNERABILIDAD COMUNIDAD APOLONIO MORALES

En la comunidad Apolonio Morales, se ha visto afectada por los fenómenos de inundación con mucha frecuencia cada año, por lo que es sumamente urgente la implementación de un SAT que les ayude a prepararse a afrontar dicha problemática.

Por otro lado, la vulnerabilidad en la cual viven se ha incrementado debido a un relleno de una calle circundante a la comunidad que está ubicada al este, según se puede observar en la figura 12. Dicha senda está marcada de color rojo.



Figura 12. Muestra aérea de calle que circunda a la comunidad Apolonio Morales.

Dicha calle tenía una tubería de tres metros de salida, la cual ha sido disminuida y se ha elevado por medio de relleno la calle. Agregado a esto en el estudio de Ipresas, 2021 muestra el modelo de inundación, donde se aprecia la ubicación de la calle rellena y el paso que tiene el agua durante las inundaciones como se puede apreciar en la figura 13.

La que está encerrada en el círculo rojo es el lugar al cual se está haciendo referencia y la línea roja es la calle que circunda a la comunidad y que ha sido elevado su nivel y disminuido los tubos de paso de agua. (Figura 13).



Figura 13. Mapa de inundación actual y 100 años de periodo de retorno. Fuente: Modificado de Ipresas, 2021.

Después de constatar en la zona y los testimonios de los líderes de la comunidad se concluye que este obstáculo será determinante en la frecuencia e intensidad de inundaciones en la comunidad Apolonio Morales y podría impactar de forma directa en el Parque Walter Thilo Deininger.

Según testimonio de ADESCO de la comunidad, ya se han hecho esfuerzos ante municipalidad, MOP y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, para que se modifique la calle en mención y por lo menos tenga las características previas, lo cual serviría para que el paso del agua sea más fluido durante las inundaciones. Por lo que se está a la espera de que las recomendaciones sean tomadas en cuenta.

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

Durante la consultoría individual para diagnóstico y diseño de un sistema de alerta temprana para la prevención de inundaciones en el Parque Walter Thilo Deininger, se realizaron varias actividades, entre ellas visitas técnicas en el parque, capacitación sobre los SAT y reuniones de seguimiento con la administradora de contrato. En los anexos se puede observar el registro fotográfico y resumen de reuniones.

VISITAS TÉCNICAS

Se realizaron 4 visitas técnicas al Parque Walter Thilo Deininger y los alrededores, para la identificación de los lugares y áreas de influencia afectados por la inundación, entre ellos: Comunidad Apolonio Morales, Playa San Diego, El Porvenir, Bocana de San Diego y el Casco del Parque. También, se hizo recorrido por los ríos Amayo y Quebrada Chanseñora, para el reconocimiento de sitios donde se pueden ubicar limnígrafos. Además, un recorrido por las rutas que tiene destinado el Parque y otros senderos con el fin de la propuesta de ubicación de pluviómetros y estaciones completas. Por ejemplo en la fotografía 4.



Fotografía 4. Punto propuesto de limnógrafo en quebrada Chanseñora.

CAPACITACIÓN

El 4 de abril se llevó a cabo la capacitación sobre Sistemas de Alerta Temprana al personal del Parque Walter Thilo Deininger y representantes de la comunidad Apolonio Morales (Fotografía 5), con el fin de que reciban el conocimiento técnico necesario sobre el funcionamiento de un SAT y la participación que deben tener al momento de la implementación.



Fotografía 5. Capacitación sobre SAT en el Parque Walter Thilo Deininger.

REUNIONES DE SEGUIMIENTO

Durante el periodo que se llevó a cabo la consultoría, se tuvo el acompañamiento de la administradora de contrato, Licda. Andrea Pérez Valladares, quien hizo observaciones y comentarios oportunos a los informes entregados y también, coordinó la logística de trabajo en campo y con las otras instituciones.

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE RESPALDO.

Para calcular los valores promedios de precipitación anual en la cuenca del río Amayo y la quebrada Chanseñora se utilizaron valores de precipitación acumulada anual promedio desde el año 2000 hasta el 2018. Como factor de interpolación se utilizó el método de distancia inversa ponderada (IDW) que determina los valores de todas las celdas de un espacio a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra, en este caso estaciones meteorológicas. La ponderación es una función de la distancia inversa, es decir los valores de las celdas generadas decrecen a medida que la distancia radial respecto a la estación meteorológica aumenta. La superficie que se interpola debe ser de una variable dependiente de la ubicación de la estación.

Para calcular las isoyetas representadas por las líneas color morado (Figuras 7, 9 y 10) se utilizaron 24 estaciones a nivel nacional, dichas estaciones contienen la precipitación diaria. Dichos valores fueron utilizados para calcular la precipitación acumulada anual y posteriormente se calculó el promedio dichos valores anuales para cada estación; cuyos valores son los que se propagan en el IDW, generando valores de precipitación que alcanzan máximos 2,868 mm y mínimos de 1,141 mm de precipitación acumulada promedio anualmente en todo el país. A su vez, se utilizó la herramienta contorno para remarcar isolíneas específicas (en este caso isoyetas). Los valores de las isoyetas calculadas se generan cada 100 mm de precipitación

En el caso del área de estudio se identifican 2 isoyetas. La isoyeta de 1,800 mm de precipitación se ubica en la parte alta de la cuenca y con alturas superiores a los 537 msnm, la isoyeta de los 1,700 mm se encuentra hasta la parte baja de la cuenca a unos 8.30 km de distancia promedio con respecto a la isoyeta de 1,800 mm.

La definición del punto de nacimiento del río principal, las elevaciones, longitud de los canales, la pendiente, pueden ser indicadores de corrientes rápidas o lentas. El apoyo que pueden suministrar los mapas de precipitación y los datos hidrológicos y meteorológicos ayudan a entender el conocimiento de la cuenca. Se deberá conocer la cobertura de las estaciones de monitoreo de lluvia y el número de estaciones pluviométricas e hidrométricas que existan. Se colectan estadísticas de datos de lluvia diaria, temperatura, evaporación, y humedad relativa y absoluta.

Se identifican también las zonas más susceptibles a inundaciones, se establece la periodicidad de las mismas, para lo cual los comunitarios son los mejores informantes. Mediante entrevistas se pueden obtener los antecedentes de zonas de inundación, así como los niveles alcanzados; además, pueden suministrar información valiosa sobre el comportamiento de las lluvias. Es conveniente el reconocimiento de campo para complementar el conocimiento de la cuenca.

Una vez establecida la identificación de la cuenca con el trazo del río principal y de sus afluentes mayores, se trazan las sub-cuencas; esto es importante para establecer los puntos de ubicación de los equipos de monitoreo. Completado el trazado de la cuenca, se establece la línea o ruta de flujo de agua que puede provocar una inundación, y cómo puede ser la contribución de cada sub-cuenca o las combinaciones que se pueden dar según la contribución de ellas.

La ubicación de los equipos depende de dos factores: primero, del sitio en donde se espera que ocurran inundaciones. Esto significa que los equipos de medición deben estar ubicados aguas arriba del punto definido como de inundación; y segundo, que exista una vivienda cuyos moradores quieran participar voluntariamente en la observación de las lluvias y/o del nivel del río. Es conveniente instalar el pluviómetro en las cercanías de la casa de un voluntario. Colocados los medidores de lluvia, se establece el plan de lecturas y envío de información. La capacitación es vital para los buenos resultados. Los voluntarios cumplen aquí un papel importante. Los medidores de nivel de río o equipos a instalar se colocan regularmente en el punto definido de inundación y en los puntos para definir los avisos y alertas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS.

CONCLUSIONES

- Las microcuencas que componen al parque “Walter Thilo Deininger” presentan características hidrológicas que propician inundaciones en la parte sur, debido a la red de drenaje, elongación y la hipsometría.
- El parque “Walter Thilo Deininger” y la comunidad Apolonio Morales, no poseen un Sistema de Alerta Temprana eficiente y sistemático, por lo que se mantienen en constante riesgo de pérdidas materiales e incluso vidas humanas.
- La implementación de un SAT permitirá tener información hidrológica suficiente para los planes de respuesta ante las inundaciones.
- El parque “Walter Thilo Deininger” es un área natural protegida, por lo tanto, el control y monitoreo de variables climáticas, hidrológicas e hidrogeológicas son de vital importancia para mantener su protección y conservación.
- El umbral de crecida por precipitación en dos horas fue calculado en 64 mm.
- Existen muchos árboles caídos y ramas como resultados de las lluvias desde los últimos años, que obstruyen el paso en el río Amayo.
- La calle circundante a la Comunidad Apolonio Morales, debe ser modificada, de tal manera que el paso del agua sea fluido durante las inundaciones.
- Deben de acatarse las especificaciones técnicas de la instrumentación a utilizar para la implementación del SAT en el Parque Walter Thilo Deininger.
- La coordinación entre autoridades del Parque Walter Thilo Deininger con la Comunidad Apolonio Morales, Protección Civil, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Municipalidad debe ser eficiente y ágil para la respuesta del riesgo de inundación. Además de seguir los protocolos de evacuación.

Recomendaciones

- Se recomienda un SAT que favorezca salvaguardar vidas humanas y la protección de bienes materiales del parque “Walter Thilo Deininger” y la comunidad Apolonio Morales.
- Se recomienda el uso del SAT con enfoque UNISDR, que permite una mejor valoración de alerta ante las problemáticas de inundaciones e incendios forestales.
- Se recomienda el mantenimiento de limpieza en el río y al borde de los ríos Amayo y la quebrada Chanseñora, sobre todo de árboles que han caído debido a las tormentas de años anteriores.
- Se recomienda la modificación de la calle circundante de la comunidad Apolonio Morales, ya que está, aumenta la vulnerabilidad de la comunidad y podría afectar directamente al Parque.
- Se recomienda el trabajo en conjunto, entre instituciones del Estado (Instituto Salvadoreño de Turismo, Ministerio de Turismo, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Protección Civil, Municipalidades) con la comunidad y la empresa privada para consolidar una organización sólida que enfrente las problemáticas identificadas de inundación e incendios forestales; eventualmente otros desafíos como por ejemplo el cambio climático.

Anexos:

Apuntes de visitas técnicas al parque “Walter Thilo Deininger”

- Problemas de inundación y del dique, se identificaron algunas obras complementarias enfocadas a la disminución de las inundaciones.
- Punto de conflicto en la unión del río Amayo y Chanseñora, que afectan directamente a la comunidad Apolonio Morales.
- Los incendios forestales han sido identificados como otra problemática y este debe ser incluido en el SAT.
- Se deben proponer medidas para mejorar las condiciones del parque y obras de mitigación.
- Puntos de agua como el nacimiento “El Pezote” y pozo perforado (25 m de profundidad) en el estacionamiento.
- La zona del altar pipil y la cueva no son afectados por las inundaciones.
- En la comunidad Apolonio Morales viven alrededor de 83 familias, las cuales se abastecen de agua por medio de punteras, y el nivel del agua se encuentra aproximadamente entre 4 m y 7 m.
- La frecuencia de inundación por año es de alrededor de 5 veces en la época lluviosa.
- En la bocana se unen los ríos Aquisquillo, Amayo y el Amatal.
- Observación de calle circundante a la comunidad Apolonio Morales que obstruye el paso del agua en los casos que hay inundación.
- Identificación de sitios para la colocación de pluviómetros, estaciones totales y limnógrafos en el río Amayo y quebrada Chanseñora.
- Capacitación sobre SAT en el Parque Walter Thilo Deininger.
- Conversación con representantes de la Comunidad Apolonio Morales, donde describían testimonialmente lo que ocurre antes, durante y después de las inundaciones.
- Medición de bases de río Amayo y Chanseñora y aproximación de nivel de umbral de ríos *in situ*.

Registro fotográfico de visita de inspección.



Fotografía 6. Río Amayo.



Fotografía 7. Dique sobre el río Amayo.



Fotografía 8. Manantial “El Pezote”



Fotografía 9. Desembocadura de San Diego.



Fotografía 10. Pozo perforado en las instalaciones de “El Casco” del Parque “Walter Thilo Deininger”



Fotografía 11. Puente de la quebrada Chanseñora.



Fotografía 12. Quebrada Chanseñora.



Fotografía 13. Punto de intersección de la quebrada Chanseñora y el río Amayo.

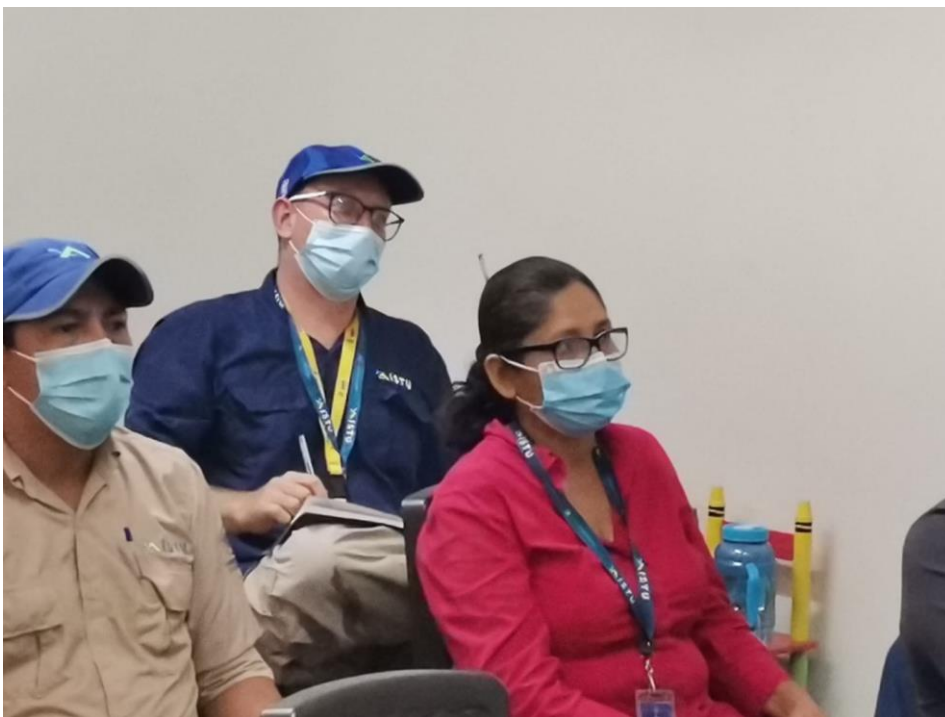
Registro fotográfico de capacitación.



Fotografía 14. Capacitación de SAT en el Parque Walter Thilo Deininger.



Fotografía 15. Personal del Parque Walter Thilo Deininger y comunidad Apolonio Morales recibiendo la capacitación sobre Sistema de Alerta Temprana.



Fotografía 16. Personal del Parque Walter Thilo Deininger y comunidad Apolonio Morales recibiendo la capacitación sobre Sistema de Alerta Temprana.



Fotografía 17. Personal del Parque Walter Thilo Deininger y comunidad Apolonio Morales recibiendo la capacitación sobre Sistema de Alerta Temprana.



Fotografía 18. Personal del Parque Walter Thilo Deininger y comunidad Apolonio Morales recibiendo la capacitación sobre Sistema de Alerta Temprana.



Fotografía 19. Personal del Parque Walter Thilo Deininger y comunidad Apolonio Morales recibiendo la capacitación sobre Sistema de Alerta Temprana.

BIBLIOGRAFÍA

- CIIFEN. (2017). *Implementación de Sistemas de Alerta Temprana (SAT) en las Cuencas Binacionales Suches-Titicaca y Catamyo-Chira*. Guayaquil.
- CRID. (2009). *Catálogo de Herramientas y Recursos de Información sobre Sistemas de Alerta Temprana*. San José.
- INDECI. (2018). *Guía para la Implementación del Sistema de Alerta Temprana Comunitario*. Lima.
- iPresas Risk Analysis. (2021). *Informe Justificativo sobre la no Construcción de Bordos en Margen Izquierda del río Amayo para el Control de Inundaciones en el Parque Walter Thilo Deininger*. Valencia.
- ITCA/FEPADE. (2018). *Desarrollo de Sistema Digital para Detección Temprana y Anuncio Oportuno de Alto Riesgo de Inundaciones para la Evacuación y Resguardo de las Vidas de Residentes en Orillas del Río Grande de San Miguel*. San Miguel: ITCA.
- MARN. (2015). *Sistema de Alerta Temprana por Inundaciones: Cuenca Río El Rosario*. San Salvador.
- MARN. (2016). *Sistema de Alerta Temprana por Inundaciones: Cuenca río Huiza*. San Salvador.
- MOP. (2021). *Obras de Protección en Cauce de Río Amayo en el Parque Walter Thilo Deininger*. San Salvador.
- OEA. (2010). *Manual para el diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas comunitarios de alerta temprana ante inundaciones*. Organización de los Estados Americanos.
- Quiñonez Basagoitia, J. C. (2016). *Estudio Hidrológico y Obras de Protección contra Inundaciones en el Parque Walter Thilo Deininger*. San Salvador.
- Suelos y Materiales S. A. de C. V. (2016). *Estudio Geotécnico*. San Salvador.
- UN/ISDR. (2006). *Desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana: Lista de Comprobación*. Bonn.