

Fabi1karl

DIAGNÓSTICO GENERAL DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA - GAMLP



Documento que contiene los aspectos fundamentales que componen el Sistema de Alerta Temprana del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz, así como la descripción de cada uno de estos elementos, brindando un diagnóstico integral y actual de su funcionamiento.

FUNDEPCO

Carlos F. Barrera Uría

Consultor Geógrafo

La Paz - Bolivia

1. Introducción	3
2. Antecedentes	3
a. Aspectos Geográficos	3
b. Aspectos Geológicos	5
c. Aspectos Hidrográficos	7
d. Aspectos Político Administrativos	9
e. Ocurrencia de eventos adversos	11
3. Componentes del SAT – GAMLP	12
3.1 Módulo de infraestructura de la Red	13
3.1.1 Centro de Operaciones de Alerta Temprana - COAT	16
3.2 Módulo de instrumentos y sensores	16
3.2.1 Sensores radares	17
3.2.1.1 Transmisión de datos	19
3.2.1.2 Período de registro de datos	20
3.2.2 Pluviómetros digitales	22
3.2.2.1 Período de registro de datos	24
3.2.3 Cámaras de vigilancia	25
3.2.3.1 Período de registro de datos	27
3.2.4 Estaciones totales	28
3.2.5 Gps's diferenciales de doble frecuencia	28
3.2.6 Equipo de tomografía	29
3.3 Módulo de Comunicación	29
3.3.1 Transmisión de información	31
3.4 Módulo de procesamiento de información	32
3.4.1 Monitoreo Hidrometeorológico	33
3.4.1.1 Niveles de Alerta para sensores radares	34
3.4.1.2 Niveles de Alerta para pluviómetros	36
3.4.1.3 Base de datos hidrológica-hidráulica	36
3.4.1.4 Aplicación de SIG	37
3.4.1.5 Simulación hidrológica - hidráulica	37

3.4.2	Monitoreo Geodinámico	37
3.4.2.1	Metodología aplicada	38
4.	Conclusiones	39
5.	Recomendaciones	39

1. Introducción

Este documento de diagnóstico, ha sido elaborado en una sola fase de trabajo de gabinete, en función de la disponibilidad de información proporcionada por el Ing. Oscar Sandoval Cáceres, Jefe de Unidad Especial de Análisis y Política de Riesgos, así como de otras dependencias del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz. Debido principalmente a razones de tiempo y recursos, no se realizó un trabajo de campo ni visitas de observación a la infraestructura, equipamiento y redes del Sistema de Alerta Temprana. Toda la información acá expresada se deriva de la revisión bibliográfica, reportes de actividades, informes, registros, manuales y otra documentación elaborada por el GAML¹.

2. Antecedentes

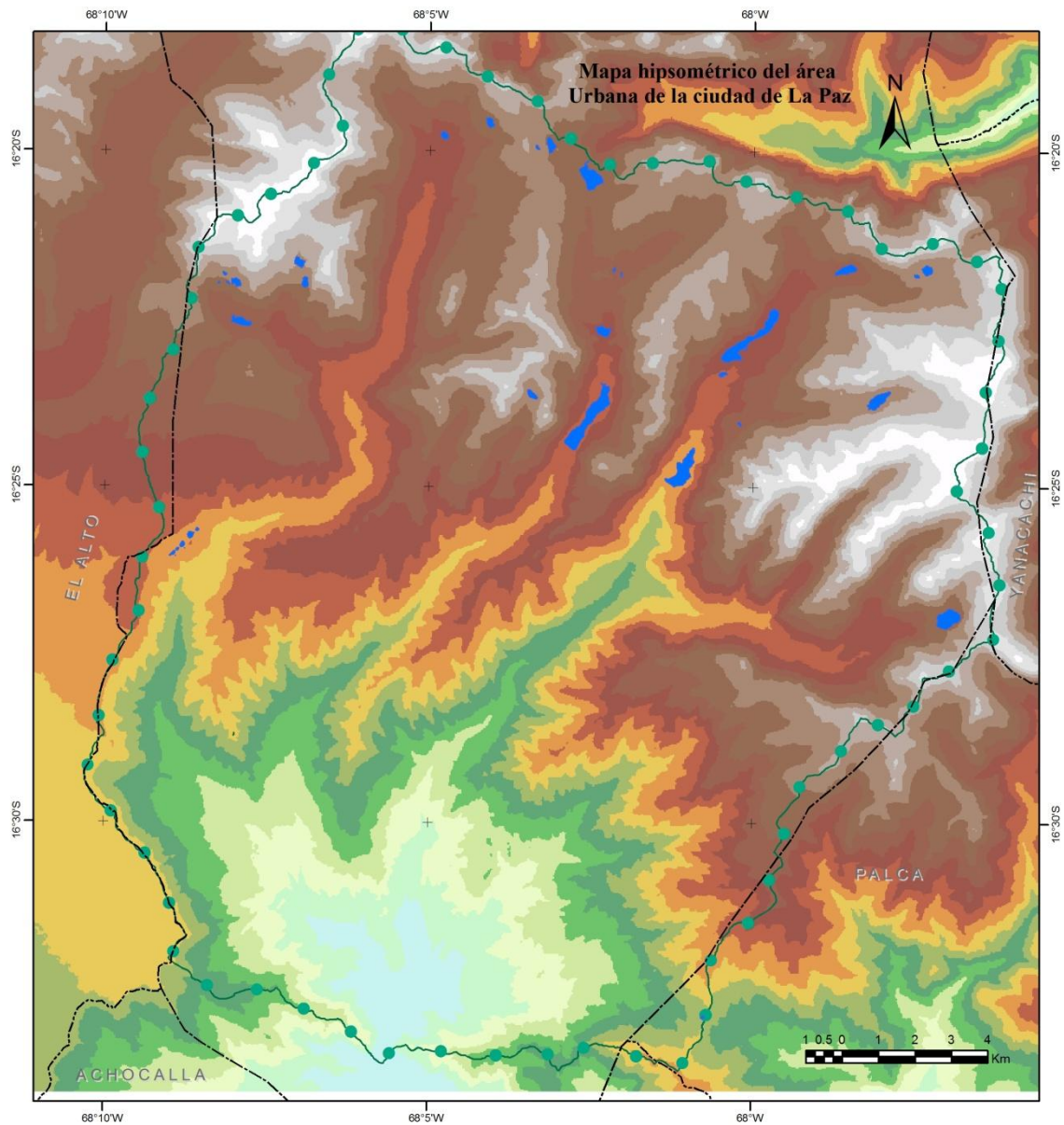
a. Aspectos Geográficos

El valle de la ciudad de La Paz es una gran depresión de origen cuaternario, drenado por los ríos principales Choqueyapu y Orkojahuira que nacen en la Cordillera Real y de numerosos tributarios. Presenta una topografía accidentada en sus laderas y una geomorfología muy particular producto de la erosión regresiva de agentes externos en terrenos poco favorables para el asentamiento urbano. Este tipo de erosión superficial e interna, deforman la estructura de materiales y depósitos, originando formas denominadas “badlands” (tierras malas), características de las laderas del sur de la ciudad: el Valle de la Luna, Mallasilla, etc.

Se encuentra rodeado por cerros y montañas de mediana y gran altitud. Topográficamente el valle de La Paz presenta una orientación Norte Sur, separada por cordones montañosos, alcanzando en su parte más elevada una altitud de 5392 msnm. El centro de la ciudad se halla a 3600 msnm aproximadamente (km “0” Plaza Murillo), condición que va decreciendo en dirección Sur, siguiendo el flujo natural de la cuenca hacia la Zona Sur y la Zona de Río Abajo de nuestra ciudad, llegando a oscilar entre altitudes del orden de los 3200 msnm e inferiores (Florida, Aranjuez).

¹Gobierno Autónomo Municipal de La Paz

• **Mapa 1.**



Referencia		
Cuenca del Río La Paz	3,590 - 3,680	4,160 - 4,290
Altura msnm	3,690 - 3,800	4,300 - 4,410
3,160 - 3,360	3,810 - 3,920	4,420 - 4,520
3,370 - 3,470	3,930 - 4,040	4,530 - 4,640
3,480 - 3,580	4,050 - 4,150	4,650 - 4,750
		4,760 - 4,840
		4,850 - 4,940
		4,950 - 5,050
		5,060 - 5,170
		5,180 - 5,420



Fuente: FUNDEPCO 2012

En esos valles, el desarrollo de la ciudad ha sido paulatino a través del tiempo desde su fundación en 1548, ocupando preferentemente las planicies poco inclinadas, como las de la parte central del valle Choqueyapu y posteriormente del valle Orkojahuirá, abarcando lentamente las laderas abruptas de los numerosos tributarios en terrenos poco consolidados, que alcanzó a los bordes de la cuenca hasta unirse con el límite del Altiplano al noroeste, donde se sitúa la ciudad de El Alto.²

b. Aspectos Geológicos

La ciudad de La Paz presenta condiciones geológicas especiales y muy complejas, tal es así que varios especialistas de renombre realizaron estudios de su composición y estructura geológica, y hay algunos que señalan en sus informes sobre sedimentos del valle de origen diluvial, descripción de la CineritaChijini como traquita, torrente de barro de Achocalla, sedimentos de edad Pleistocena y estudios geológicos sobre el origen del valle de La Paz.

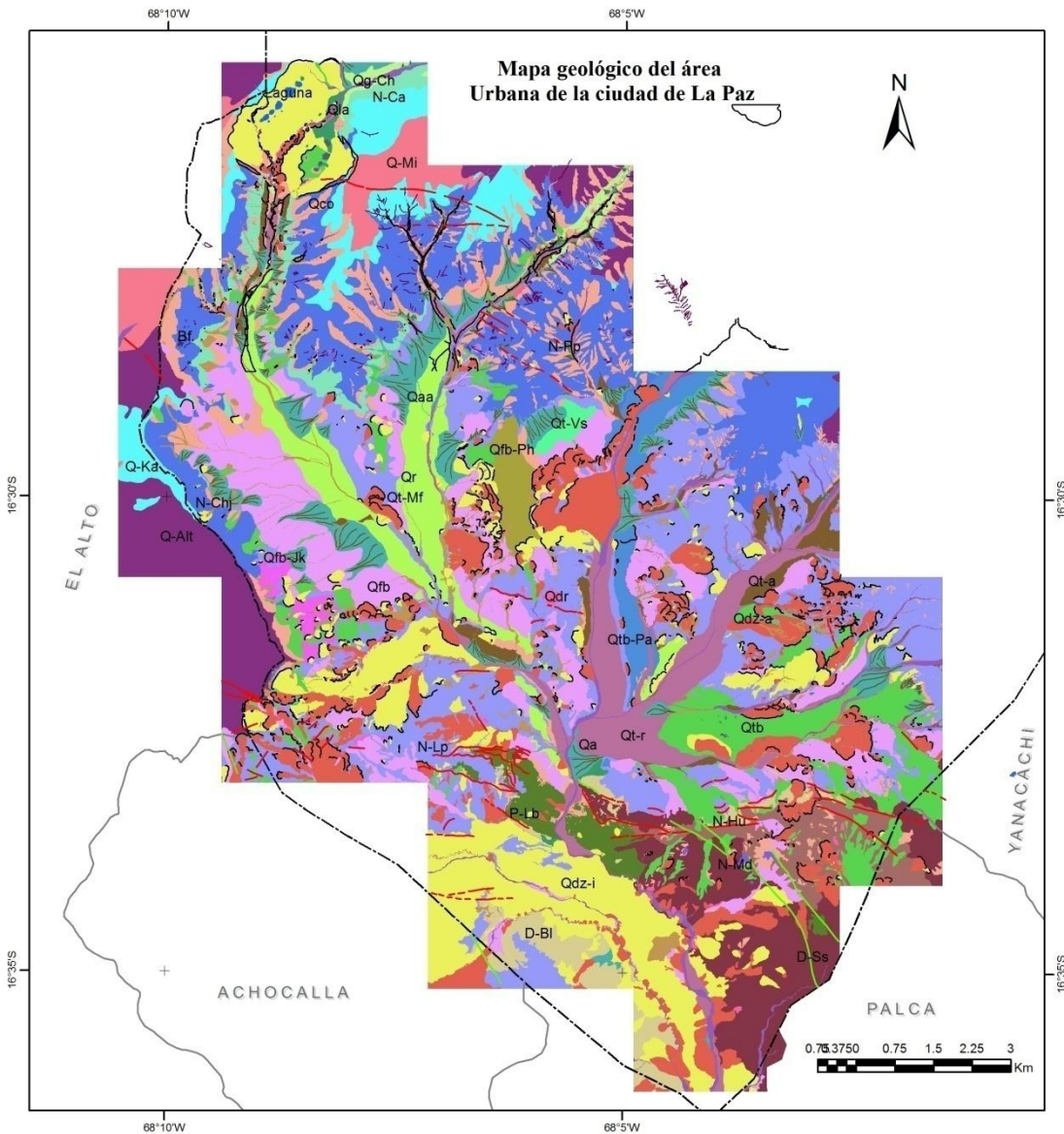
La ciudad se asienta sobre diversas estructuras y formaciones de diverso origen geológico. Aqueñas de origen Devónico, Terciario Superior (*Formación La Paz*), hasta los depósitos Cuaternarios; Drift Patapatani, CineritaChijini, Formación Calvario, Formación Purapurani, Drift Milluni; Gravas de las terrazas Pampajasi, Irpavi y Miraflores; Deslizamiento de Laikakota, Deslizamientos recientes, Torrentes de Barro, Depósitos Lacustres, Depósitos coluviales y aluviales.³

Esta configuración geológica y geomorfológica del Valle de La Paz, hace que gran parte de los terrenos de la ciudad presenten una alta susceptibilidad ante la ocurrencia de eventos adversos como diversos tipos de movimientos en masa, afectando directamente a la infraestructura de vivienda, caminera, etc.

² “Estudios Geológicos en la Ciudad de La Paz” – Oscar Bustillos Campos

³ “Informe de Geología del Valle de La Paz” – Ing. Ernest Dabrovolny, 1962.

• **Mapa 2.**



Referencia

Bf	N-Hu	Q-Ka	Qdz-a	Qla	Qtb
D-BI	N-Lp	Q-Mi	Qdz-i	Qr	Qtb-Pa
D-Ss	N-Md	Qa	Qfb	Qt-Mf	Anticinal y sinclinal
Laguna	N-Pp	Qaa	Qfb-Jk	Qt-Vs	Falla normal e inversa
N-Ca	P-Lb	Qco	Qfb-Ph	Qt-a	Escarpe
N-Chj	Q-Alt	Qdr	Qg-Ch	Qt-r	Avanicos aluviales
					Carcavamiento



Fuente: FUNDEPCO 2012

c. Aspectos Hidrográficos

La cuenca del Río La Paz forma parte de cómo sub cuenca de la cuenca amazónica y es del tipo exorreica, es decir, que tiene la cualidad de verter sus aguas en una tercera entidad, en una desembocadura, mar u océano.

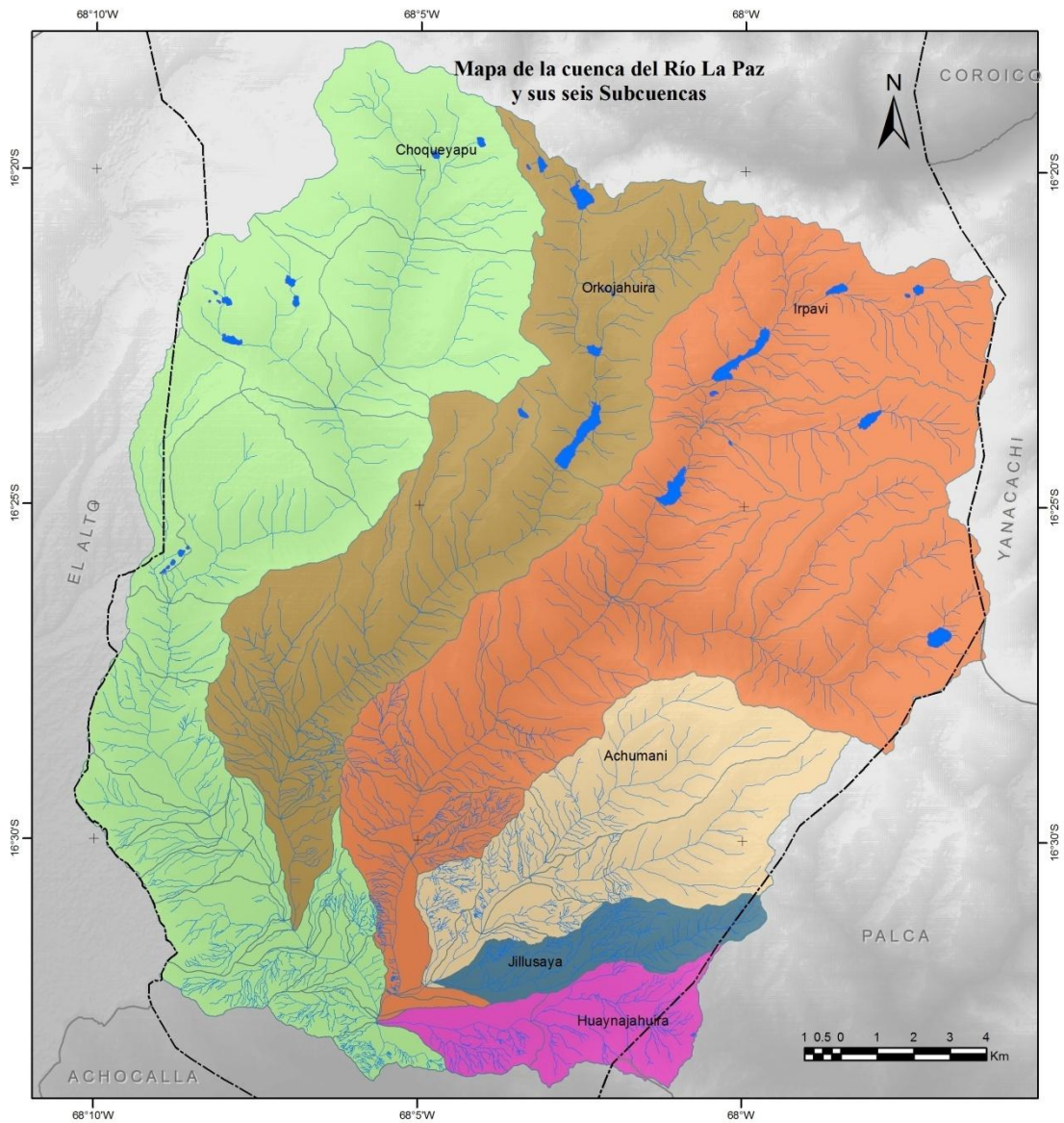
Los principales ríos que drenan la cuenca son: el Río Choqueyapu, el Río Orkojahuirá, el Río Irpavi y el Río Achumani, así como otros de menor importancia como el Río Jillusaya y Huayñajahuirá. Todos estos ríos mencionados conforman las subcuencas de la Cuenca del Río La Paz. El río principal de esta cuenca es el Choqueyapu, que nace en las faldas del nevado Chacaltaya, con una longitud aproximada de 35 kilómetros.

La cuenca tiene un área de 495.1 km², la longitud del curso más largo es de 37 km y presenta un desnivel de 2175 m desde sus nacientes a aproximadamente 5300 msnm hasta 3125 m en Aranjuez⁴, dando lugar a que la cuenca tenga una pendiente promedio de 7 % que caracteriza la predominancia de una topografía de cabecera de valle.

Al mismo tiempo la cuenca está drenada por más de 200 ríos y riachuelos y por un número similar de tributarios, muchos de los cuales son temporales, otros permanentes y/o producto de aguas subterráneas, como los ríos Cotahuma y Tacagua y es en estos puntos críticos donde se origina la infinidad de riesgos naturales, en cuyos flancos se producen deslizamientos, erosión regresiva, profundización y acumulación de materiales en sus lechos, que al ser saturados ceden a la presión del agua fluvial, formando de este modo mazamorra que arrasan pendiente abajo todo lo que encuentran a su paso, causando en la mayoría de los casos daños materiales a la infraestructura urbana, tal como ocurre frecuentemente y con mayor intensidad en los ríos de la zona Sur de la ciudad.

⁴ “Informe diagnóstico Área de Monitoreo Hidrometeorológico” – DEGIR, GAMLP

• **Mapa 3.**



Referencia		
	Red hidrográfica	
	Lagos y lagunas	
	Limite municipal	
	Subcuencas Río La Paz	Choqueyapu
		Achumani
		Huaynajahuira
		Irpavi
		Jillusaya
		Orkojahaira



Fuente: FUNDEPCO 2012

d. Aspectos Político Administrativos

El municipio de Nuestra Señora de La Paz limita al norte con el municipio de Guanay; al noreste con el municipio de Caranavi; al este con los municipios de Coroico y Yanacachi; al sureste con el municipio de Palca; al sur con los municipios de Achocalla y Mecapaca; al noroeste con el municipio de El Alto y al oeste con los municipios de Pucarani y Batallas.

Para una mejor y eficiente administración el Gobierno Autónomo Municipal de La Paz, divide su territorio en ocho (8) Macrodistritos y 546 Organizaciones Territoriales de Base OTB's.⁵

- **Tabla 1.** Detalle de OTB's por Macrodistrito.

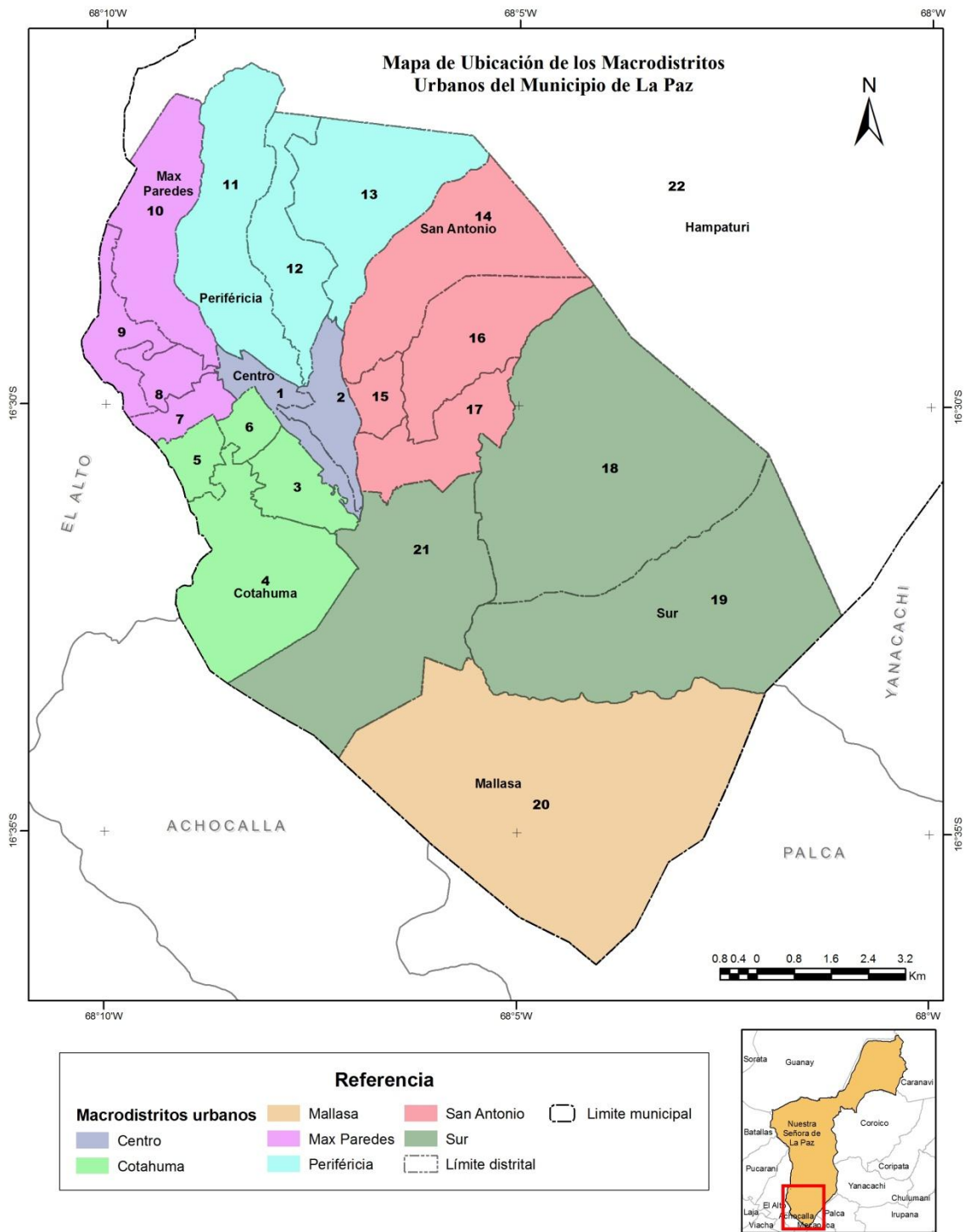
Nº	MACRODISTRITO	CANTIDAD DE OTB's
1	COTAHUMA	80
2	MAX PAREDES	96
3	PERIFÉRICA	124
4	SAN ANTONIO	72
5	SUR	139
6	MALLASA	8
7	CENTRO	17
8	HAMPATURI	3
TOTAL		539 (*)

Fuente: Atlas Sociodemográfico del Municipio de La Paz

(*) Es el número de OTB's que cuentan con datos de población y fueron incluidos en la publicación del Atlas Sociodemográfico del Municipio de La Paz

⁵«Atlas Socio demográfico del Municipio de La Paz» – GAML P, Dirección de Planificación y Control

• **Mapa 4.**



.Fuente: FUNDEPCO 2012

Al mismo tiempo y a través de un proceso de descentralización, cuenta con nueve (9) Sub alcaldías, las cuales poseen atribuciones y funciones diversas, desde la otorgación de licencias de funcionamiento hasta la aprobación de planos de construcción.

- **Tabla 2.** Población y densidad poblacional por Sub – Alcaldía

Nº	SUBALCALDÍA	POBLACIÓN	DENSIDAD (hab/ha.)
1	COTAHUMA	142.293	88,3
2	MAX PAREDES	164.566	123,6
3	PERIFÉRICA	159.123	68,90
4	SAN ANTONIO	115.695	51,21
5	SUR	127.228	19,8
6	MALLASA	5616	0,01
7	CENTRO	53.643	321,2
8	HAMPATURI	14.900	0,35
9	ZONGO	3007	0,01
TOTAL		786.071	

Fuente: Web oficial del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz

e. Ocurrencia de eventos adversos

El fenómeno de las lluvias, los deslizamientos y mazamorras no es un fenómeno reciente en la ciudad de La Paz, según documentación hemerográfica, se registra un primer deslizamiento en 1582 cuando se produjo un hundimiento en AngoAngo y Canoma en el mismo murieron aproximadamente 200 personas y se salvan apenas 3 personas (Cabeza de Vaca, 1991; Cuadros, 2003).

Como estos casos la historia de La Paz reporta hechos significativos, si solo se considera la década del 90 (del siglo pasado) la recurrencia de estos hechos es recurrente: el deslizamiento de Cotahuma en 1995 con la pérdida de 99 vidas, deslizamientos complejos: Obispo Bosque (1992), Cuarto Centenario (1997), Kupini (1998); eventos extraordinarios como la granizada del 19 de febrero de 2002 que tuvo como resultado de esta inundación 68 muertes, 14 personas perdidas y 130 personas heridas, y una pérdida económica directa en la infraestructura urbana de alrededor de diez millones de dólares; y finalmente el mega deslizamiento del Complejo Pampahasi – Callapa, ocurrido en la mañana del día sábado 26 de febrero de 2011. Este deslizamiento se produjo en 3 instancias diferentes, cuya inercia de la masa ha llegado hasta la parte baja del área donde se encuentra el lecho del río Irpavi, cruzando el valle del río hasta la zona Irpavi II.

El deslizamiento de aproximadamente 70.000.000 m³ de material térreo tuvo como resultado más de 6000 personas damnificadas, de las cuales 4525 tuvieron que establecerse en albergues, 148 hectáreas de superficie afectada y un daño económico cuantificado en casi 93 millones de dólares americanos, se puede afirmar que el deslizamiento complejo Callapa – Pampahasi es el movimiento geodinámico más grande suscitado en la ciudad de La Paz.⁶

El problema de las inundaciones y deslizamientos periódicos que se presentan en la ciudad y con especial énfasis en las laderas de la ciudad de La Paz (en menor medida, pero no menos significativos sifonamientos y mazamorras) se agrava por: un acelerado proceso de urbanización acompañado por una segregación social y espacial profunda, manifestada en la existencia de áreas geológicamente inestables ocupadas y desarrolladas por gente pobre o muy pobre que vive en casas muy frágiles y en condiciones ambientales deficitarias.⁷

Toda esta configuración del entorno de la ciudad, hace que sea imprescindible y necesaria la implementación de un Sistema de Alerta Temprana eficiente y efectivo, como medida inicial para la toma de decisiones para la correcta planificación del espacio urbano.

3. Componentes del SAT – GAMLPS⁸

Tal como lo define la Ley Municipal Autonómica, el Sistema de Alerta temprana es la herramienta que tiene el propósito de proporcionar información oportuna de eventos hidrometeorológicos adversos para la población, utilizando para ello tecnología de última generación.⁹

Denominado Sistema de Alerta Temprana ante Inundaciones y Deslizamientos para la ciudad de La Paz, es un espacio dependiente de la Unidad de Análisis y Política de Riesgos de la DEGIR, encargada de analizar, gestionar y elaborar políticas públicas Municipales orientadas a la administración, atención y prevención de riesgos que involucren a la ciudadanía en su conjunto. Así también es la encargada de la Planificación de la DEGIR, siendo la encargada de emitir información, instrumentos, generar talleres que contengan un análisis del riesgo y trabajos para la Reducción de Riesgos a implementarse por las otras unidades especiales, para lo cual gestiona al Sistema de Alerta Temprana, al COE municipal entre otros.

⁶“Plan de Prevención y Atención de emergencias – Período 2012-2013”, DEGIR-GAMLPS

⁷“Riesgos y vulnerabilidades en las laderas de La Paz”. Luis Salamanca

⁸Sistema de Alerta Temprana del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz

⁹“Ley Autonómica Municipal G.A.M.L.P. No. 005/2010” Art. 19 inc. a

Este sistema fue implementado en el marco del proyecto PNUD¹⁰ – BOL 58537, principalmente ante la necesidad de contar con información que permite tomar decisiones orientadas a mitigar y reducir los daños ocasionados por un evento adverso potencial, a los cuales permanentemente está expuesta la ciudad de La Paz, por sus condiciones mencionadas de topografía, geología e hidrología.

De acuerdo a la información proporcionada por la DEGIR, este sistema se encuentra estructurado en cuatro componentes:

- Monitoreo hidrometeorológico
- Monitoreo geodinámico
- Actualización del mapa de riesgos
- y Relacionamiento Externo y comunicación

Sin embargo para fines específicos del presente diagnóstico, presentaremos la descripción actual del funcionamiento del SAT – GAMLP en función de cuatro módulos definidos:

- Módulo de infraestructura de la Red
- Módulo de instrumentos y sensores
- Módulo de comunicación
- Módulo de procesamiento de información y alertas

3.1 Módulo de infraestructura de la Red

La infraestructura de la red cuenta con puntos de monitoreo emplazados en las seis subcuencas de la cuenca del Río La Paz. Con una infraestructura de 37 puntos de monitoreo, los cuales fueron distribuidos tomando en cuenta dos criterios para su ubicación espacial:

- El criterio de puntos críticos determinados por el Plan Maestro de Drenaje, los cuales coinciden con puentes, bóvedas y otros,
- Y el criterio de localización de la red de pluviómetros del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, lo que garantizó no duplicar estaciones de medición donde ya existía uno.

Los criterios de *Accesibilidad* y *Comunicación*, no fueron tomados en cuenta de manera inicial ya que la necesidad de instalar finalmente la infraestructura de la red fue mayor. Por ello prácticamente se instaló un equipo en un lugar de difícil acceso y al mismo tiempo esta condición garantizaba que el equipo instalado no se estropeado o robado por un tercero.

¹⁰Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

• **Tabla 3.** Distribución de los puntos de monitoreo SAT.

Cuenca	Punto de monitoreo	Instrumento	Conexión	Ubicación
Choqueyapu	CHOHI001	Radar	Fibra óptica	Av. ROMA CASI ESQ.C.25ALTURA PASARELA.ZONA BAJO SEGUENCOMA
Choqueyapu	CHOHI001	Cámara	Fibra óptica	Av. ROMA CASI ESQ.C.25ALTURA PASARELA.ZONA BAJO SEGUENCOMA
Choqueyapu	CHOHI002	Radar	Fibra óptica	AV.COSTANERA CASI ESQ.C 20ALTURA PASARELA DEL PERIODISTA Z.BAJO SEGUENCOMA
Choqueyapu	CHOHI003	Radar	Fibra óptica	AV.COSTANERA ESQ.C.1Y HÉCTOR ORMACHEA ALTURA INTENDENCIA MUNICIPAL Z.OBRAJES
Choqueyapu	CHOHI004	Radar	Fibra óptica	AV.COSTANERA ALTURA CEMENTERIO JARDÍN.Z.OBRAJES
Choqueyapu	CHOHI005	Pluviómetro	Fibra óptica	C.COLON ESQ.C.JUAN DE LA RIVA ALTURA ALCALDÍA MUNICIPAL.Z.CENTRAL
Choqueyapu	CHOHI006	Radar	Radio enlace	AUTOPISTA LA PAZ-EL ALTO CARRIL DE BAJADA ALTURA DEPENDENCIAS DE EPSASZ.ACHACHICALA
Choqueyapu	CHOHI007	Radar	Radio enlace	C.LUPULO ALTURA CANCHA DEPORTIVA ZONA LAS NIEVES
Choqueyapu	CHOHI007	Cámara	Radio enlace	C.LUPULO ALTURA CANCHA DEPORTIVA ZONA LAS NIEVES
Choqueyapu	CHOHI008	Pluviómetro	Radio enlace	DENTRO LAS DEPENDENCIAS DE READY MIX Z.SAN ROQUE
Choqueyapu	CHOHIB001	Radar	Fibra óptica	BÓVEDA DEL RÍO CHOQUEYAPU, AV. MONTES ESQ. URUGUAY
Orkojahuirra	ORKHI001	Radar	Fibra óptica	AV.HÉCTOR ORMACHEA ESQ.CALLE 0ALTURA SURTIDOR ZONA OBRAJES
Orkojahuirra	ORKHI002	Radar	Fibra óptica	PASOS KANKY CASI ESQ.COSTANERA ALTURA PISCINA DE ORKOJAHUIRA ZONA SIMÓN BOLÍVAR ALTURA PUENTE
Orkojahuirra	ORKHI002	Cámara	Fibra óptica	PASOS KANKY CASI ESQ.COSTANERA ALTURA PISCINA DE ORKOJAHUIRA ZONA SIMÓN BOLÍVAR ALTURA PUENTE
Orkojahuirra	ORKHI003	Radar	Fibra óptica	AV.COSTANERA CASIESQ.AV.F.REQUE ALTURA CANCHA MARISCAL BROWN.PUENTE MCAL BRAUN
Orkojahuirra	ORKHI004	Radar	Fibra óptica	PUENTE ROSAL NORTE ZONA ROSAL NORTE
Orkojahuirra	ORKHI004	Cámara	Fibra óptica	PUENTE ROSAL NORTE ZONA ROSAL NORTE
Orkojahuirra	ORKHI005	Pluviómetro	Radio enlace	AV.LA PAZ-COTAPATA UNIDAD EDUCATIVA KALAJAHUIRA ZONA CHUQUIAGUILLO
Irpavi	IRPHI001	Radar	Radio enlace	ZONA CALIRI ALTURA CALLE 1
Irpavi	IRPHI001	Cámara	Radio enlace	ZONA CALIRI ALTURA CALLE 1
Irpavi	IRPHI003	Pluviómetro	Radio enlace	UNIDA EDUCATIVA EDUARDO AVAROA ZONA KARPANI
Achumani	ACHHI001	Radar	Fibra óptica	AV.GENERAL INOFUENTES ESQ.RAFAEL PABON ALTURA COL.MILITAR Z.CALACOTO
Achumani	ACHHI001	Cámara	Fibra óptica	AV.GENERAL INOFUENTES ESQ.RAFAEL PABON ALTURA COL.MILITAR Z.CALACOTO
Achumani	ACHHI002	Radar	Fibra óptica	AV.TOMASA MURILLO ASI ESQ.GABRIEL SOTO ALTURA PUENTE INGRESO A KOANI
Achumani	ACHHI002	Cámara	Fibra óptica	AV.TOMASA MURILLO ASI ESQ.GABRIEL SOTO ALTURA PUENTE INGRESO A KOANI

Achumani	ACHHI003	Radar	Fibra óptica	PASARELA ASILO SAN RAMÓN
Achumani	ACHHI003	Cámara	Fibra óptica	PASARELA ASILO SAN RAMÓN
Achumani	ACHHI004	Radar	Radio enlace	CONFLUENCIA KELLUMANI HUAYLLANI
Achumani	ACHHI004	Cámara	Radio enlace	CONFLUENCIA KELLUMANI HUAYLLANI
Achumani	ACHHI005	Radar	Radio enlace	ALTURA ALMACENES DE LA DGIRZ.KELLUMANI BAJO
Achumani	ACHHI005	Cámara	Radio enlace	ALTURA ALMACENES DE LA DGIRZ.KELLUMANI BAJO
Achumani	ACHHI006	Radar	Radio enlace	UNIDAD EDUCATIVA PANTINI Z.KELLUMANI ALTO
Achumani	ACHHI007	Pluviómetro	Radio enlace	UNIDAD EDUCATIVA PANTINI ALTURA PUENTE Z.KELLUMANI ALTO
Achumani	ACHHI008	Radar	Radio enlace	Z.HUAYLLANI HUMAPALCA
Achumani	ACHHI008	Cámara	Radio enlace	Z.HUAYLLANI HUMAPALCA
Achumani	ACHHI009	Radar	Radio enlace	Z.HUAYLLANI HUMAPALCA
Achumani	ACHHI010	Pluviómetro	Radio enlace	Z.HUAYLLANI HUMAPALCA
Huañajahuira	HUAHI001	Radar	Fibra óptica	AV.LOS ALAMOS CASI ESQ.COSTANERA ALTURA PUENTE Z.LA FLORIDA
Huañajahuira	HUAHI002	Radar	Radio enlace	AV.COSTANERA ESQ.C.PABLO GUILLEN ALTURA PUENTE Z.AUQUISAMAÑA
Huañajahuira	HUAHI002	Cámara	Radio enlace	AV.COSTANERA ESQ.C.PABLO GUILLEN ALTURA PUENTE Z.AUQUISAMAÑA
Huañajahuira	HUAHI003	Radar	Radio enlace	AV.PANAMERICANA ESQ.C.53ALTURA PUENTE KUPILLANI ZONA LAS LOMAS DE KUPILLANI
Huañajahuira	HUAHI003	Cámara	Radio enlace	AV.PANAMERICANA ESQ.C.53ALTURA PUENTE KUPILLANI ZONA LAS LOMAS DE KUPILLANI
Huañajahuira	HUAHI004	Cámara	Radio enlace	C.LAS RETAMAS ESQ.AV.14DE SEPTIEMBRE ALTURA PUENTE ARENAL Z.ARENAL OVEJUYO
Huañajahuira	HUAHI005	Pluviómetro	Radio enlace	Z. APAÑA
Jilluyasa	JILHI001	Radar	Radio enlace	C.35ZONA CHASQUIPAMPA
Jilluyasa	JILHI002	Radar	Radio enlace	AV.WILACOTA ESQ.C.NEMESIO ARROYO ALTURA PUENTE WILAKHOTA Z.CASEGURAL
Jilluyasa	JILHI002	Cámara	Radio enlace	AV.WILACOTA ESQ.C.NEMESIO ARROYO ALTURA PUENTE WILAKHOTA Z.CASEGURAL
Jilluyasa	JILHI003	Radar	Radio enlace	Z.LAS ROSAS DE WILAKHOTA ALTURA PUENTE WILAKOTA
Jilluyasa	JILHI004	Radar	Radio enlace	Z.LAS ROSAS DE WILAKHOTA
Jilluyasa	JILHI005	Pluviómetro	Radio enlace	AV.14DE SEPTIEMBRE CASI ESQ.3DE MAYO UNIDAD EDUCATIVA SANTA ROSA DE LIMA Z.VIRGEN DE LA MERCED
Río La Paz	RLPHI001	Radar	Fibra óptica	AV.ARANJUEZ ALTURA PUENTE Z.AMOR DE DIOS

Fuente: Registros de la DEGIR – GAMLP

3.1.1 Centro de Operaciones de Alerta Temprana - COAT

Es el recinto ubicado en las oficinas de la DEGIR (Av. Uruguay esq. Av. Montes, Zona Challapampa) donde se almacena la información a través del software DEMAS, herramienta que procesa los datos para convertirlos en información (imágenes, gráficas, etc.). Ubicado en las oficinas de la DEGIR de la Calle Uruguay casi esquina Av. Montes. Tiene como responsabilidad principal todo el monitoreo tanto Hidrometeorológico como Geodinámico, con el objetivo de advertir de manera oportuna en caso de eventos adversos, tales como inundaciones o movimientos en masa. Su trabajo es conjunto y coordinado con el personal encargado para la atención de emergencias.

3.2 Módulo de instrumentos y sensores

La red de instrumentación y sensores del SAT – GAML P, está constituida por una serie de instrumentos dispuestos a lo largo de las subcuencas del Río La Paz. Estos instrumentos son de tres tipos:

- Sensores radares
- Pluviómetros digitales
- Cámaras de vigilancia

Precautelando el normal funcionamiento de los sensores radares, se realiza de manera permanente dos tipos de mantenimiento por parte de la DEGIR:

- Mantenimiento preventivo.- consiste en prever y anticiparse a los fallos de las máquinas y equipos, empleando una serie de datos obtenido de evaluaciones del sistema. Bajo esa evaluación se diseña el programa con frecuencias calendario para realizar acciones tales como: cambio de partes, reparaciones, ajustes, cambios de aceite y lubricantes, limpieza, etc., con la finalidad de evitar fallos. El mantenimiento preventivo podrá en un futuro ser potencialmente mejorado por medio de la incorporación de un programa de Mantenimiento Predictivo. En una evaluación realizada el año pasado se distinguieron los siguientes factores de prevención:

Mejoramiento de la seguridad de los puntos de monitoreo:

- ✓ Elevación de puntos de monitoreo.
- ✓ Protección a enmallados.
- ✓ Rejilla para gabinetes
- ✓ Rejilla para medidores

- ✓ Electrificado de puntos de monitoreo
- ✓ Iluminación.
- ✓ Mejoramiento del estado de conectividad de los puntos de monitoreo.
- ✓ Viñeteado para identificación de puntos de monitoreo.
- ✓ Limpieza completa de equipos de monitoreo.
- ✓ Separación cable de red y cable eléctrico.

El personal de la DEGIR elabora periódicamente un cronograma de actividades dirigidas a realizar este tipo de mantenimiento para garantizar el correcto funcionamiento del sistema y la red de equipos del SAT.

- **Mantenimiento correctivo.-** Es aquel mantenimiento que se realiza con el fin de corregir o reparar un fallo en el equipo o instalación, debe llevarse a cabo con la mayor celeridad para evitar que se incrementen costos e impedir daños materiales y/o humanos. Si se presenta una avería imprevista, se procede a repararla en el menor tiempo posible para que el sistema, equipo o instalación siga funcionando normalmente sin generar perjuicios. Un inconveniente en este tipo de mantenimiento es que debe preverse un capital inmovilizado y disponible para las piezas y elementos de repuesto, visto que la adquisición de los mismos puede no ser resuelta con rapidez, y requiere de una gestión de compra y entrega que no coincide con los tiempos reales para poner en marcha nuevamente los equipos en el tiempo más corto posible.¹¹

En este caso la DEGIR no puede elaborar un cronograma de actividades destinadas a este tipo de mantenimiento, ya que las fallas e inconvenientes ocurren de manera imprevista y sorpresiva, como ser robo de equipos, robo de fibra óptica, etc.

3.2.1 Sensores radares

El SAT – GAMLP cuenta con una red de 28 sensores radares distribuidos en el territorio de la ciudad de La Paz. La totalidad de estos instrumentos corresponden a equipos Sensores Radares SEBA PULS, de fabricación y tecnología alemana, adquiridos por el GAMLP, y que son instrumentos de alta precisión diseñados para detectar y medir las variaciones del nivel del tirante de agua presente en el cauce natural o canalizado de un curso de agua.

El sistema de medida consta de un sensor con salida analógica, Puede ser equipado con un registrador de valores de medida (p.e. SEBA-Data Logger MDS-Dipper). De montaje sencillo, alta precisión bajo cualquier condición de humedad relativa del aire y temperatura

¹¹ “Reporte Final, Época de lluvias 2010-2011”. DEGIR - GAMLP

dentro de los rangos establecidos de medición, bajo consumo energético, cortos intervalos de medida, sin zonas muertas.

- **Tabla 4.** Distribución de sensores radares por subcuenca.

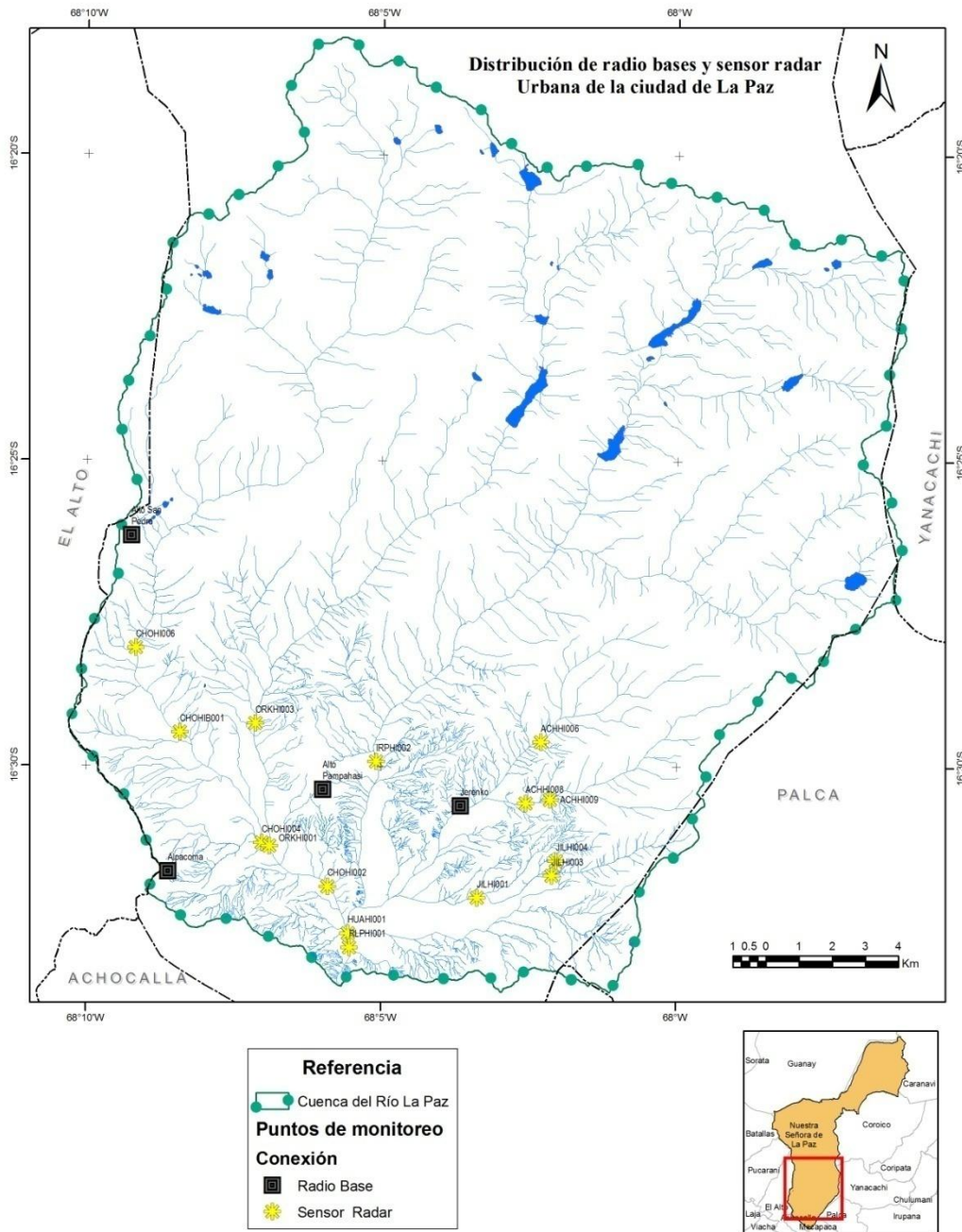
Nº	SUBCUENCA	RADARES
1	CHOQUEYAPU	7 (*)
2	ORKOJAHUIRA	4
3	IRPAVI	1
4	ACHUMANI	8
5	HUAÑAJAHUIRA	3
6	JILLUYASA	4
7	RÍO LA PAZ	1
TOTAL		28

Fuente: Registros de la DEGIR - GAMLP

(*) Originalmente eran solo 6 sensores radares distribuidos en la subcuenca del Choqueyapu, sin embargo, después del mega deslizamiento del complejo Pampahasi – Callapa, uno de los dos sensores ubicados en la subcuenca Irpavi, tuvo que ser reubicado del punto de monitoreo IRPHI002 (puente Soriscora, Irpavi II) hasta el punto de monitoreo CHOHIB001 (bóveda del Río Choqueyapu, Av. Montes esq. Uruguay).

La totalidad de los 28 sensores radares se encuentra en la actualidad en perfecto funcionamiento permanente en el monitoreo y registro de la información de los niveles de los tirantes de agua de los ríos mencionados.

• **Mapa 5.**

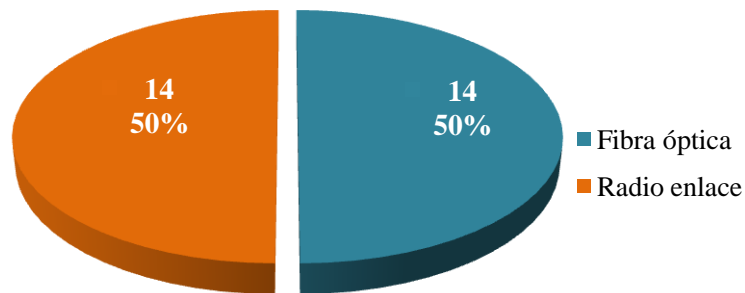


3.2.1.1 Transmisión de datos

La modalidad de transmisión de datos de estos sensores radares está determinada por dos tipos: vía fibra óptica y un sistema de radio enlace. En este caso particular la mitad (14) de

éstos transmiten mediante fibra óptica y los restantes 14 a través de radio enlace con las repetidoras del GAMLP (Achachicala, Pampahasi, Meseta de Achumani y Alpacoma).

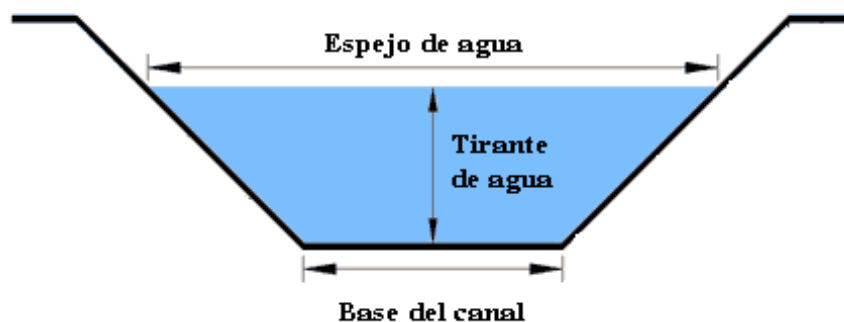
- **Gráfico 1.** Tipo de transmisión de datos de los sensores radares.



Fuente: "Informe diagnóstico Área de Monitoreo Hidrometeorológico" – DEGIR, GAMLP

La unidad de medida de los datos registrados por la red de sensores radares es milímetros (mm) de las variaciones en los niveles de tirante del agua de los ríos. Entendemos por tirante de agua a la altura que adquiere el agua del curso de un río, en su sección transversal.

- **Figura 1.** Esquema del tirante de agua.



Fuente: portal www.ingenieriacivilinfo.com

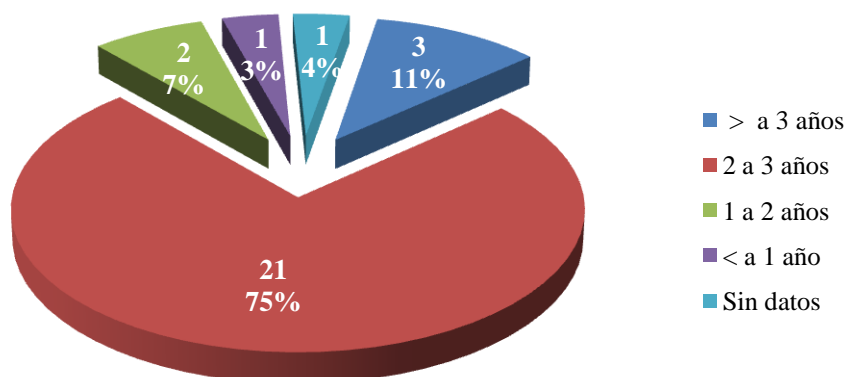
3.2.1.2 Período de registro de datos

La mayoría de los sensores instalados (24) tienen un tiempo de vida actual superior a los 2 años, y el número restante (4) menor a este período de tiempo. En todos los casos el tiempo de vida esperado de estos equipos es de 5 años, de acuerdo a las especificaciones técnicas proporcionadas por la empresa CORIMEX, proveedora de este equipamiento.

Sin embargo, este tiempo de vida es prolongable siempre y cuando se realice un mantenimiento periódico de los equipos por parte de los técnicos de la DEGIR. Este mantenimiento y calibración de los sensores radares se da de manera semanal en época de lluvia y emergencia, y de manera periódica en época de estiaje, precautelando el normal funcionamiento de los equipos.

En cuanto a los períodos de registro de datos por parte de cada uno de los sensores radares, estos oscilan entre los 11 meses y los 3 años, de acuerdo al siguiente detalle:

- **Gráfico 2.** Tiempo de registro de datos de sensores radares.



Fuente: Registros de la DEGIR - GAML P

Una característica de estos equipos de alta precisión es que funcionan de manera permanente, registrando las variaciones de niveles de tirante de agua de manera periódica, realizando lecturas de acuerdo a la siguiente calibración:

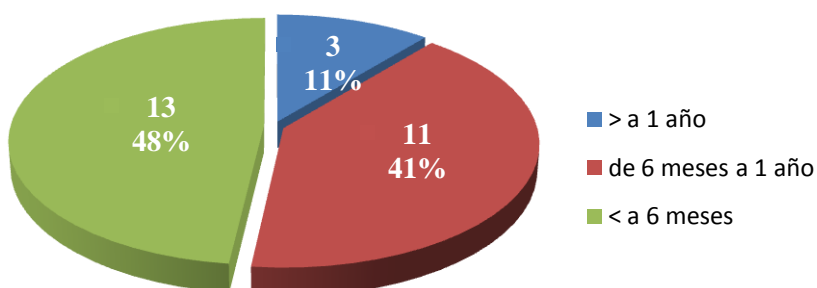
- Cada 2 minutos en época de lluvias
- Cada 30 minutos en época de estiaje

Cabe resaltar que este tipo de redes de instrumentos de medición, siempre existen “lagunas” de registro de datos, debido a diferentes fallas en los equipos, robo de fibra óptica,

accidentes y eventos adversos, etc. Estos períodos se encuentran registrados en las fichas de diagnóstico adjuntadas en la parte de Anexos de este documento.

Es de remarcar que un 52 % de los sensores radares, tiene un período de lagunas de registro de datos superior a los 6 meses e incluso tres de ello mayor a un año; contra un 48 % que solo tiene un período de lagunas de registro de datos menor a medio año.

- **Gráfico 3.** Períodos de lagunas en el registro de datos de sensores radares.



Fuente: Registros de la DEGIR - GAMLP

Según explicaciones del personal técnico responsable del SAT – GAMLP, estas lagunas se deben a las oscilaciones del curso de los ríos en las distintas épocas del año. El sensor radar emplazado en un punto de monitoreo específico, no tiene la capacidad de seguir el cambio del curso y del espejo de agua, que va migrando a sectores de menor pendiente en períodos de estiaje. Esta configuración hace que el sensor registre en el DataLogger valores igual a “0”, que no son transmitidos al servidor del COAT.

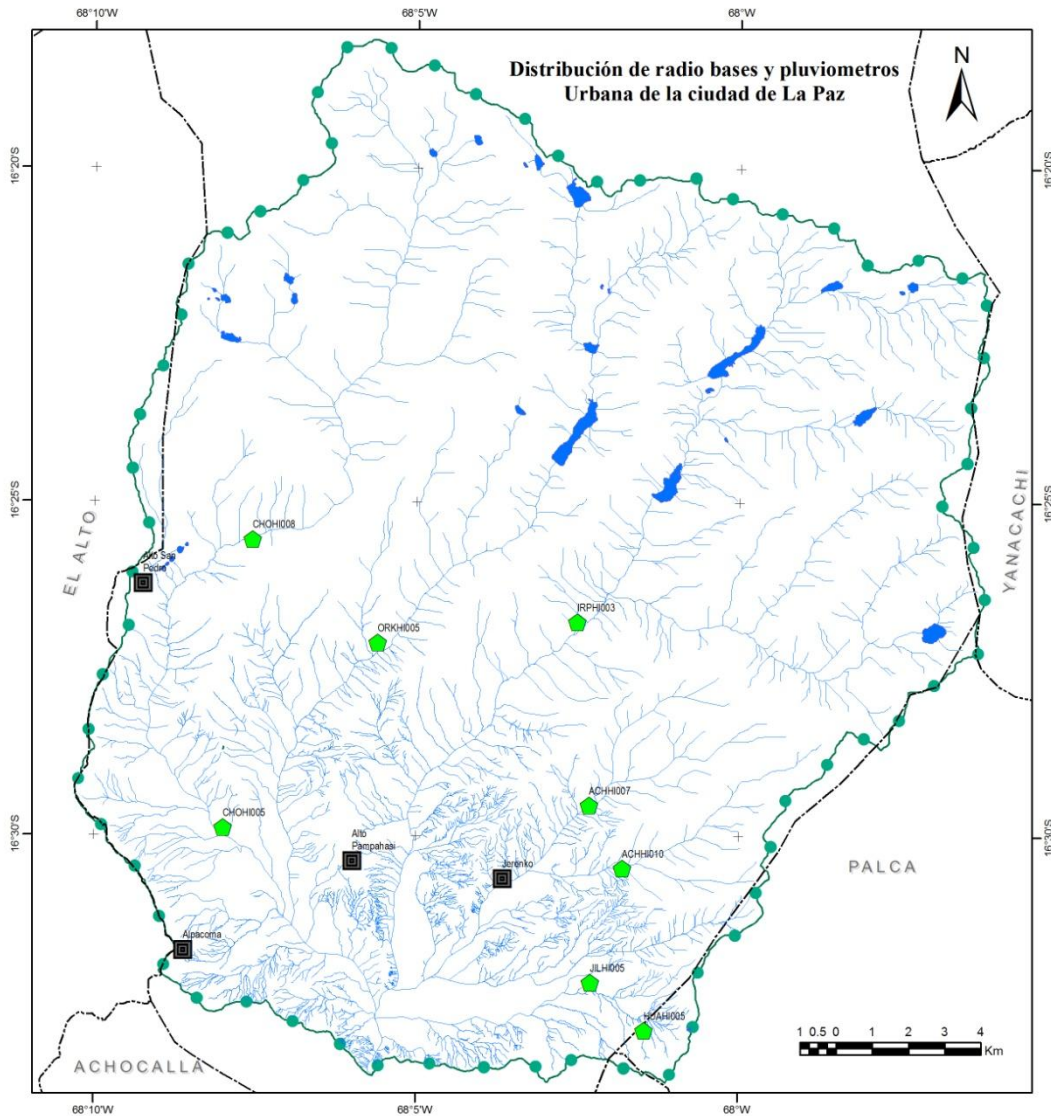
Al mismo tiempo existen también fallas en la red de comunicación que ocasionan estas “lagunas” de información.

3.2.2 Pluviómetros digitales

En la actualidad la red del SAT – GAMLP cuenta con 8 pluviómetros digitales en perfecto estado de funcionamiento, debidamente instalados en los puntos de monitoreo, principalmente localizados en las secciones media – alta de la cuenca del Río La Paz, que proporcionan los niveles de precipitación y agua acumulada en cada punto. Son

pluviómetros de alta precisión con salida por impulsos, para ser conectados asistemas de almacenamiento y teletransmisión de datos; sin depósito colector de agua.

- **Mapa 6.**



Referencia

—●— Cuenca del Río La Paz

Puntos de monitoreo

Conexión

■ Radio Base

■ Pluviómetro Digital



Estos instrumentos realizan lecturas y registran la cantidad de agua precipitada acumulada en rangos de 0,1 mm, en cada evento de lluvia. Así como el cálculo de históricos diarios, mensuales y anuales.

- **Tabla 5.** Distribución de pluviómetros digitales por subcuenca.

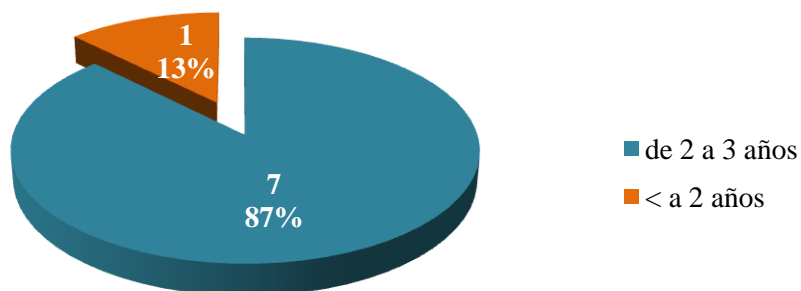
N°	SUBCUENCA	PLUVIÓMETROS
1	CHOQUEYAPU	2
2	ORKOJAHUIRA	1
3	IRPAVI	1
4	ACHUMANI	2
5	HUAÑAJAHUIRA	1
6	JILLUYASA	1
TOTAL		8

Fuente: Registros de la DEGIR - GAMLP

3.2.2.1 Período de registro de datos

Casi la totalidad de los pluviómetros instalados, posee un rango temporal de registros de mayores a 2 y hasta los 3 años, es decir, un 87 % (7) corresponden a este grupo. El equipo restante tiene un período de registro de datos entre 1 y 2 años.

- **Gráfico 4.** Tiempo de registro de datos de pluviómetros.



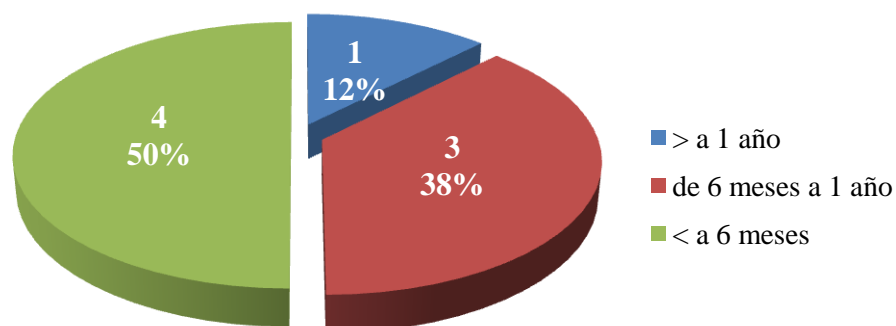
Fuente: Registros de la DEGIR - GAMLP

Sin embargo, de manera similar al caso de los sensores radares, existen también períodos de tiempo en que los equipos no funcionan de manera adecuada, a lo que llamamos “lagunas” de registro de datos, debido a diferentes fallas en los equipos, robo de fibra óptica, accidentes y eventos adversos, etc. Estos períodos se encuentran registrados en las fichas de diagnóstico adjuntadas en la parte de Anexos de este documento.

Cabe resaltar que un 50 % de los pluviómetros digitales, tiene un período de lagunas de registro de datos superior a los 6 meses y uno de ellos mayor a un año; el otro 50 % solo tiene un período de lagunas de registro de datos menor a medio año.

Estas lagunas de información de la misma forma que en los sensores, se debe en la mayoría de los casos a un período de estiaje, en el cual no hay registros de agua precipitada ni acumulada.

- **Gráfico 5.** Períodos de lagunas en el registro de datos de pluviómetros.



Fuente: Registros de la DEGIR - GAMLP

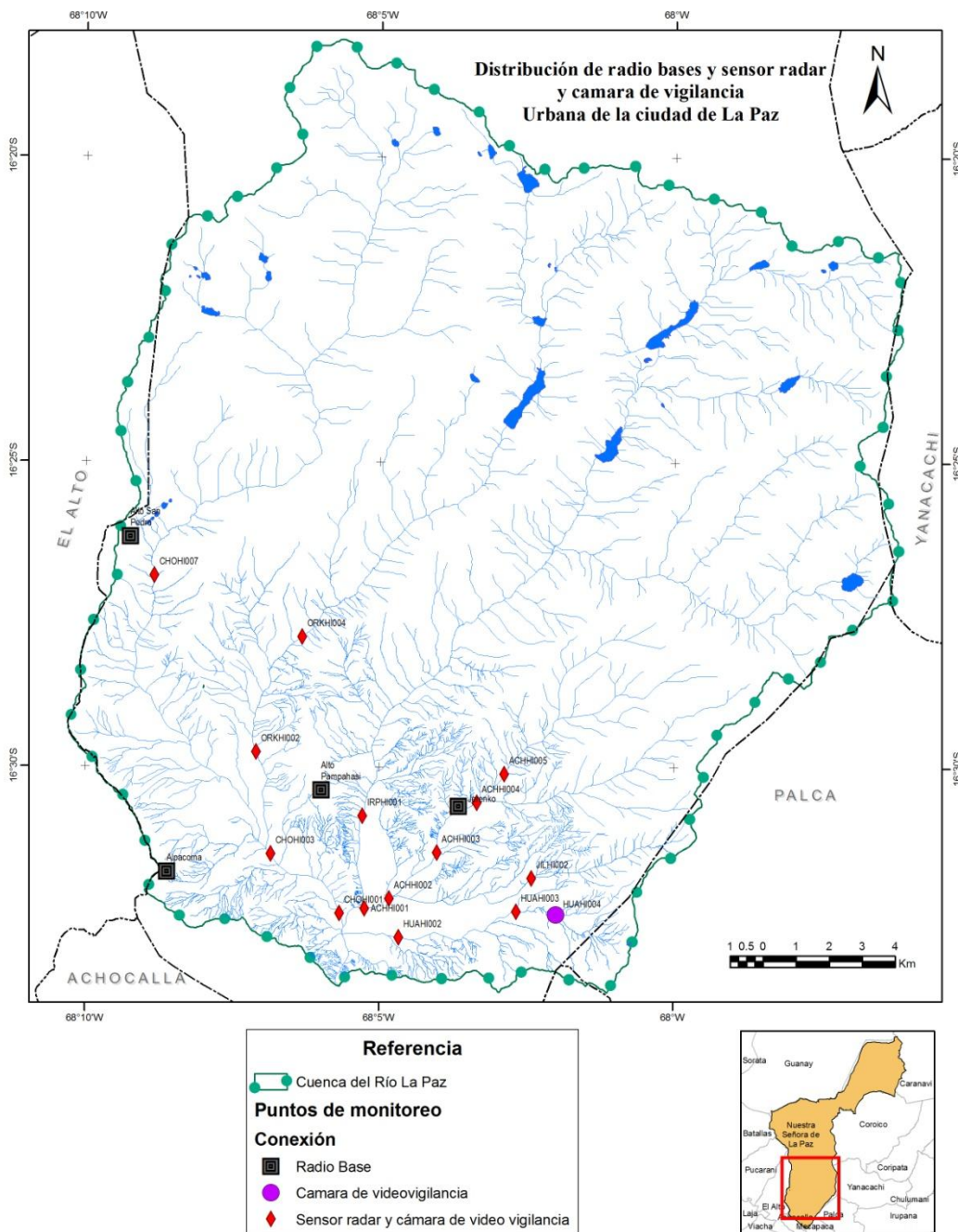
La frecuencia en la toma de datos de estos equipos de alta precisión, es permanente y activada en el momento en que se produce el fenómeno de precipitación. Para este propósito, cada pluviómetro digital viene equipado con una batería de litio con una duración de hasta 10 años, según las especificaciones técnicas de la empresa CORIMEX, proveedora de estos equipos.

3.2.3 Cámaras de vigilancia

La incorporación de 15 equipos de cámaras de vigilancia, ubicados en puntos estratégicos de la ciudad., es el complemento ideal para la red de equipos antes descritos, ya que estos

equipos de video permiten contar con apoyo visual en tiempo real, garantizando el correcto reporte de los sensores radares, situados en puntos específicos distribuidos en las diferentes cuencas, los que ayuda apreciar incrementos importantes tras eventos de lluvia, y dar un correcto y anticipado reporte al personal que requiere la información del reporte, para tomar acciones posteriores.

- **Mapa 7.**



Cada una de éstas, son cámaras de red AXIS 214 PTZ, con visión diurna/nocturna, de alta gama para aplicaciones profesionales de vigilancia y monitorización remota. Se trata de cámaras acolor de alta calidad que incorpora las funciones de movimiento vertical/horizontal/zoom a distancia. Al incorporar un zoom óptico de 18x con enfoque automático, permite al usuario utilizar el zoom para visualizar un objeto pequeño o alejado con una claridad excepcional.

Permiten el monitoreo en tiempo real del estado del galibo de puentes¹² y los distintos niveles de alerta establecidos para los ríos principales de la cuenca.

- **Tabla 6.** Distribución de cámaras de vigilancia por subcuenca.

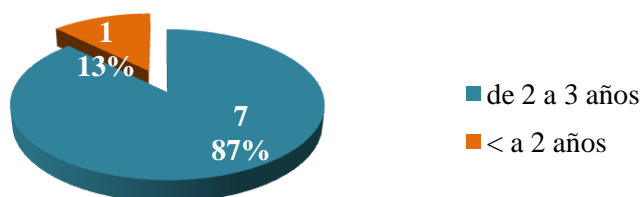
Nº	SUBCUENCA	CÁMARAS
1	CHOQUEYAPU	2
2	ORKOJAHUIRA	2
3	IRPAVI	1
4	ACHUMANI	6
5	HUAÑAJAHUIRA	3
6	JILLUYASA	1
TOTAL		15

Fuente: Registros de la DEGIR - GAMLP

3.2.3.1 Período de registro de datos

La red de 15 cámaras de vigilancia se encuentra en la actualidad en perfecto funcionamiento y transmitiendo imágenes las 24 horas del día durante los 365 días del año.

- **Gráfico 6.** Tiempo de registro de imágenes de cámaras de vigilancia.



Fuente: Registros de la DEGIR - GAMLP

¹² Altura libre entre el agua y la superestructura del puente.

3.2.4 Estaciones totales

La DEGIR cuenta con un equipo de estación total, para el apoyo básicamente del monitoreo geodinámico. Una estación total es un instrumento electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico. La estación total, cuenta con niveles electrónicos que facilitan la tarea de instalación del equipo.

El instrumento realiza la medición de ángulos a partir de marcas realizadas en discos transparentes. Las lecturas de distancia se realizan mediante una onda electromagnética portadora (generalmente microondas o infrarrojos) con distintas frecuencias que rebota en un prisma ubicado en el punto a medir y regresa. Este instrumento permite la obtención de coordenadas de puntos respecto a un sistema local o arbitrario, como también a sistemas definidos y materializados. Para la obtención de estas coordenadas el instrumento realiza una serie de lecturas y cálculos sobre estas y demás datos suministrados por el operador.

Estos equipos no tienen una ubicación física fija, sino más bien poseen características móviles en función de las zonas o áreas susceptibles de estudio y monitoreo.¹³

3.2.5 Gps's diferenciales de doble frecuencia

El equipo es un receptor en tiempo real RTK GNSS de generación GR-5. Este equipo incorpora la tecnología 3G con rastreo de hasta 216 canales (GPS / GLONASS / GALILEO), tiene la capacidad de rastrear todas las señales disponibles en la actualidad y las que estarán disponibles en el futuro. Utiliza una tecnología combinada entre la tecnología G3 de los tres sistemas de posicionamiento original - GPS, GLONASS y GALILEO. Aunque el uso comercial de Galileo se encuentra todavía en el futuro.

Posee una sofisticada tecnología para el seguimiento de datos RTK con posiciones actualizadas hasta 100Hz. Integrado de doble sistema de comunicación con múltiples combinaciones de radio y celular.¹⁴

- Precisión HZ L1-L2 3mm + 0.5ppm
- Precisión V L1-L2 5mm + 0.4ppm
- Precisión RTK Hz 10mm + 1 ppm
- Precisión RTK V 15mm + 1 ppm

¹³ “Documento Componente Geodinámico”. DEGIR-GAMLP

¹⁴ “Documento Componente Geodinámico”. DEGIR-GAMLP

3.2.6 Equipo de tomografía

El equipo permite realizar estudios en 2D, 3D y 4D, cuya principal aplicación se encuentra en el monitoreo y control geoambiental; permite ejecutar tomografías resistivas robustas y confiables en las mediciones de resistividad y estudios en el dominio de tiempo en IP (Potencial Inducido) y SP (Potencial Espontáneo).

Cuenta con un GPS integrado y tiene la capacidad de realizar diagnósticos en el sistema y tolerancia de fallas para asegurar la calidad en la adquisición de datos. Ofrece una calidad superior en la adquisición de datos con un transmisor potente y un receptor multicanal de amplio rango dinámico. Cuenta además con una plataforma de comunicación abierta para el intercambio de datos, conexión a internet y diagnósticos remotos (TCP/IP, USB)

Entre otras características, el instrumento permite observar y revisar los datos en el campo durante la realización del estudio. Puede también observarse la pseudosección a medida que se realiza el estudio. Además, el instrumento permite manejar hasta 12 canales de entrada para la mayor flexibilidad y productividad posible para mediciones tanto en 2D, 3D y 4D. Registra y almacena las ondas completas que posibilitan posteriores estudios a detalle.¹⁵

3.3 Módulo de Comunicación

El sistema de comunicación entre los equipos y la base COAT se inicia con datalogger's los cuales se encargan de recolectar información in situ, esta información es transmitida de dos formas, y a lo que se conoce como *Red Híbrida*:

- Red de Fibra Óptica, a través de un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permite enviar gran cantidad de datos a una gran distancia.
- Red inalámbrica, medio de comunicación a través del aire: mediante ondas electromagnéticas. Las ondas electromagnéticas, son aquellas que no necesitan un medio material para propagarse. Las microondas son ondas definidas en un rango de frecuencia determinado, el medio físico que genera este tipo de ondas es una Antena, en el caso del SAT se emplea la Antena Micromax tipo Panel, esta

¹⁵“Documento Componente Geodinámico”. DEGIR-GAMLP

transforma la energía eléctrica en energía Electromagnética para emitir o recibir ondas electromagnéticas moduladas y con información hacia y del equipo in situ.

Existe un convenio con la Universidad Mayor de San Andrés, a través del cual, esta superior casa de estudio, facilita el uso de dos hilos de su red de fibra óptica para el funcionamiento y transmisión permanente y en tiempo real de la de equipos del SAT. Al mismo tiempo el GAMLP realiza la ampliación de su propia red de fibra óptica para ampliar la capacidad de transmisión y abarcar mayor cantidad de equipos sensores radares que transmitan datos por este medio.

- **Tabla 7.** Tendido aéreo de fibra óptica.

Tramo aéreo para la fibra óptica	Longitud aérea tendida de fibra óptica (mts.)
COAT	275
Ex - Banco del Estado	120
Calle Cisneros	180
Tramo 1: Puente Mscal. Braun a la Av. Busch esq. Av. Pasos Kanki	1850
Tramo 2: Puente Pasos Kanki a la Av. Busch esq . Av. Pasos Kanki	740
Tramo 3: Av. Pasos Kanki es Av. Busch al Mercado Miraflores	686
Tramo 4: Calle "0" de Obrajés a la Calle 17 de Obrajés	1884
Tramo 5: Calle 17 de Obrajés al Puente Amor de Dios	2685
Tramo 6: Asilo San Ramón al Puente de ingreso a Irpavi	3472
LONGITUD TOTAL	11892

Fuente: "Informe diagnóstico Área de Monitoreo Hidrometeorológico" – DEGIR, GAMLP

Esta red de telecomunicaciones SAT está optimizada en función de tres criterios:

- Garantizar la calidad y confiabilidad del transporte de datos para todos los puntos de medición
- Garantizar un ancho de banda de al menos 10 Mbs/s para todos los puntos de medición
- Garantizar la confiabilidad de la red y su fortaleza ante eventuales fallas¹⁶

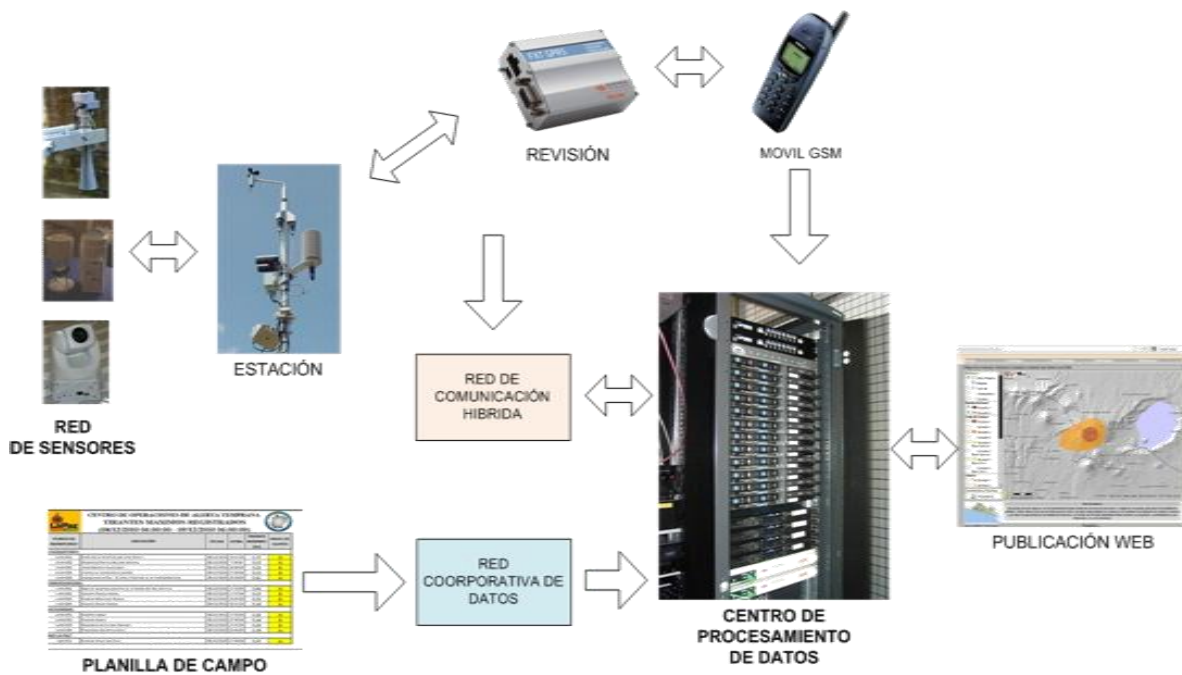
¹⁶ "Revista Gestión de Riesgos ¡tarea de tod@s!; Edición N° 1

3.3.1 Transmisión de información

El COAT tiene por objetivo relevar la información registrada por cada uno de los instrumentos de la red de monitoreo, para almacenarla y procesarla en el servidor de información.

El proceso de transmisión de datos comienza en la red de estaciones remotas, que recogen los datos de las variables hidrológicas e hidráulicas de manera permanente; posteriormente envía estos datos, a través de la *red híbrida*, hasta la estación base COAT. Allí cuenta con un servidor de seguridad apto para la captura de esa información, que interactúa con las estaciones remotas para proveer de servicios de autenticación, autorización y contabilidad de usuarios. Este servidor de seguridad es capaz de gestionar un gran número de estaciones remotas.

- **Figura 2.** Esquema de comunicación..



Fuente: "Revista Gestión de Riesgos ¡tarea de tod@s!"; Edición N° 1

Las características técnicas de este servidor son:

- Marca: DELL
- Modelo: T74XX

- Procesador: Intel Xeon de núcleo cuádruplo
- Velocidad: 3,40 Ghz
- Controlador: RAID
- Sistema operativo: Windows Vista Business Service Pack 1

Una vez almacenados los datos son procesados a través del software original adquirido junto a la compra de los equipos de la red de monitoreo, tanto para el monitoreo de las cámaras de vigilancia como para los instrumentos hidrometeorológicos.

Este software proporciona:

- Interfaz gráfica
- Configuración flexible
- Generador de gráficos y ecuaciones, con opciones de programación de criterios matemáticos de predicción
- Edición de curvas (ajuste matemático de la información)
- Generación de reportes y manejo de datos

3.4 Módulo de procesamiento de información

Toda la estructura de la Red SAT – GAMLP es monitoreada y supervisada por un equipo de personal técnico, quienes son los responsables tanto del mantenimiento (software y hardware) como del procesamiento de los datos registrados.

- **Tabla 8.** Personal responsable del SAT - GAMLP.

Nº	APELLIDO PATERNO	APELLIDO MATERNO	NOMBRES	PUESTO
1	POZO	LUNA	PAMELA DIANA	RESPONSABLE SAT
2	ROMECIN	MOLLINEDO	ADRIANA ROCIO	TECNICO MONITOREO HIDROMETEREOLOGICO- ENCARGADO MODELACION
3	UGARTE	VEGA	JOSE MIGUEL	MONITOR
4	CALLIZAYA	QUISPE	CLARA	MONITOR
5	ARUNI	LIMA	BENJAMIN	MONITOR
6	LIMACHI	CASTRO	SONIA ELVIRA	MONITOR
7	MAYDANA	MAYDANA	JORGE ANTONIO	ENCARGADO DE MANTENIMIENTO SOFTWARE

8	BARRA	RODRIGUEZ	MARIA JEANETH	TECNICO DE MANTENIMIENTO FIBRA OPTICA
9	HUANCA	ALEJO	IVAN GROVER	TECNICO DE MANTENIMIENTO HARDWARE EQUIPOS
10	GUTIERREZ	LLIULLI	ANGEL FELIX	APOYO ELECTRONICO
11	GONZALES	MORALES	RUBEN HECTOR	APOYO ELECTRONICO
12	MENDEZ	COLQUE	JOHN JULIO	TECNICO MONITOREO GEODINAMICO
13	MARTINEZ	LEDEZMA	VLADIMIR	TECNICO MONITOREO GEODINAMICO
14	MAMANI	APAZA	DAVID	TOPOGRAFO
15	TORREZ		ARTURO ALVARO	APOYO TOPOGRAFICO
16	GUTIERREZ	VILLANUEVA	ADALID	APOYO TOPOGRAFICO
17	CORONEL	YUPANQUI	BRAULIO	APOYO TOPOGRAFICO

Fuente: Registros de la DEGIR, GAMLP

Para contextualizar el procesamiento de información, dividiremos en dos partes:

- Monitoreo Hidrometeorológico
- Monitoreo Geodinámico

3.4.1 Monitoreo Hidrometeorológico

Este componente del SAT, tiene por objetivo principal generar información en tiempo real respecto de los datos transmitidos por la red de 37 puntos de monitoreo distribuidos dentro de la cuenca del Río La Paz; el personal del COAT es el encargado de reportar y alertar sobre posibles desbordes o inundaciones, permitiendo de esta manera al personal de la DEGIR, implementar planes de contingencia ante situaciones críticas.

Esta red de monitoreo cuenta, como habíamos mencionado, con una serie de instrumentos de medición hidrometeorológico y visual, es decir, 28 sensores radares, 8 pluviómetros digitales y 15 cámaras de vigilancia.

La información transmitida por esta red instrumental, es recibida y monitoreada por cuatro técnicos del COAT, quienes trabajan de manera escalonada las 24 horas del día. Ante eventos hidrológicos, el monitor de turno es el encargado de informar, mediante conducto regular, al Director de la DEGIR sobre la situación y el estado de los instrumentos. Los

reportes realizados son la base para la planificación y ejecución de acciones, tales como movimiento de personal, maquinaria, coordinación con unidades especiales, etc.

La información transmitida por los pluviómetros apenas inicia el evento de precipitación, la cual se va registrando en una planilla de registro, indicando la hora de inicio del evento. En la estación de monitoreo se realiza la verificación mediante la inspección de la pantalla que deberá indicar el registro en curso o la última lectura de precipitación.

En el caso de los sensores radares, éstos identifican si existe un incremento abrupto en el registro de los niveles en los ríos principales, dependiendo de su emplazamiento, la información provista proporciona una idea de la ubicación de ocurrencia del evento. Se calcula en base a estos datos el porcentaje de nivel de alerta al que corresponda el tirante registrado. La comprobación del correcto funcionamiento de los instrumentos se verifica desde la estación de monitoreo, mediante la visualización de la pantalla que debe mostrar el registro de tirante coincidente con la hora y fecha de lectura.

Finalmente mediante la visualización de las cámaras de vigilancia, se determina el emplazamiento del evento, además se puede realizar la verificación del incremento de tirante por medio de la lectura visual ubicada al frente de las cámaras, de esta forma se puede realizar el control aguas arriba y aguas abajo del punto de monitoreo, sobre todo en aquellos lugares donde exista confluencias.

3.4.1.1 Niveles de Alerta para sensores radares

Se han establecido tres niveles de alerta que varían en función del tipo de río y de los caudales de diseño estimados en el Proyecto Revisión y Actualización del Plan Maestro de Drenaje para el área urbana de la Ciudad de La Paz (2007).

- **Tabla 9.** Niveles de alerta para sensores para el Punto de Monitoreo CHOHI001

PUNTO DE MONITOREO	EQUIPO	UBICACIÓN	NIVEL DE ALERTA		
			AMARILLA	NARANJA	ROJA
Cuenca Choqueyapu					
CHOHI001	C,R	DISTRITO POLICIAL NO 4	0,00 - 1,60	1,61 - 3,00	3,01 - 3,50
CHOHI002	R	PASARELA BARRIO DEL PERIODISTA	0,00 - 1,60	1,61 - 3,00	3,01 - 3,50
CHOHI003	R	INTENDENCIA MUNICIPAL	0,00 - 1,60	1,61 - 3,00	3,01
CHOHI004	R	FRENTE AL CEMENTERIO JARDIN	0,00 - 1,30	1,31 - 2,40	2,41 - 2,90
Cuenca Orkhojawira					
ORKHI001	R	BAJO EL PUENTE DE OBRAJES	0,00 - 0,90	0,91 - 1,40	1,41 - 2,40
ORKHI002	C,R	PUENTE PASOS KANKY	0,00 - 0,90	0,91 - 1,40	1,41 - 2,40
Cuenca Irpavi					
IRPHI001	C,R	CALLE 16-A	0,00 - 0,90	0,91 - 1,40	1,41 - 2,40
Cuenca Achumani					
ACHHI001	C,R	PUENTE IRPAVI	0,00 - 1,00	1,01 - 2,00	2,01 - 3,00
ACHHI002	C,R	PUENTE KOANI	0,00 - 1,30	1,31 - 2,00	2,01 - 2,30
Cuenca Jillusaya					
JILHI001	R	ZONA CARMELITAS ZONA LAS ROSAS DE WILACOTA, ALTURA	0,00 - 0,60	0,61 - 0,90	0,91 - 2,00
JILHI003	R	PUENTE CHARAPAYA.	0,00 - 1,00	1,01 - 2,00	2,01 - 3,00
Cuenca Huañajawira					
HUAHI001	R	PARQUE DE LAS CHOLAS	0,00 - 0,50	0,51 - 2,00	2,01 - 2,50
HUAHI002	C,R	PUENTE AUQUISAMAÑA	0,00 - 1,10	1,11 - 2,10	2,11 - 3,10
HUAHI003	C,R	PUENTE KUPILLANI	0,00 - 0,50	0,51 - 1,00	1,01 - 2,00
Río La Paz					
RLPHI001	R	PUENTE AMOR DE DIOS	0,00 - 1,80	1,81 - 3,00	3,01 - 3,30

Fuente: "Reporte Final, Época de lluvias 2010-2011". DEGIR - GAMLP

Los criterios para la definición del nivel superior de la franja amarilla, está asociado a las marcas de las crecidas debido a caudales persistentes, los cuales a criterio y sugerencia del PDM¹⁷, representan un periodo de retorno de 10 años.

Para la determinación del nivel superior de la franja naranja se toman en cuenta los criterios siguientes:

- Tirante máximo para un período de retorno de 100 años
- Altura máxima del canal
- Presencia de puentes o pasos peatonales¹⁸

¹⁷Plan de Desarrollo Municipal

¹⁸ "Revista Gestión de Riesgos ; tarea de tod@s¡!, Edición N° 1

3.4.1.2 Niveles de Alerta para pluviómetros

En caso de la ocurrencia de un evento, se verifican las lecturas de los pluviómetros en el punto donde está sucediendo dicho evento, para tener un registro de la precipitación acumulada, la hora de inicio y el tiempo en que se den las lecturas, para poder calcular inmediatamente la intensidad de precipitación que se está dando y saber a qué clasificación corresponde, de acuerdo a la siguiente escala:

- **Tabla 10.** Niveles de alerta para pluviómetros

CLASIFICACIÓN DE LLUVIA	ACUMULACIÓN EN 1 HORA
DEBIL	MENOS DE 2 MM
MODERADA	ENTRE 2,1 Y 15 MM
FUERTE	ENTRE 15,1 Y 30 MM
MUY FUERTE	ENTRE 30,1 Y 60 MM
TORRENCIAL	MÁS DE 60 MM

Fuente: "Reporte Final, Época de lluvias 2010-2011". DEGIR - GAMLP

3.4.1.3 Base de datos hidrológica-hidráulica

Semanalmente se realizan inspecciones de campo, con el objetivo de obtener los datos almacenados *in situ* por la red de radares y pluviómetros. Esta información es posteriormente almacenada, analizada y centralizada en una base de datos denominada HYDRACCESS. Éste es un software que permite importar y guardar varios tipos de datos hidrológicos en una base de datos en formato Microsoft Access, al mismo tiempo realiza procesamientos básicos hidrológicos.

Hydraccess puede importar datos contenidos en archivos de tipo Texto o Excel, si son presentados en un formato adecuado. Los datos están organizados mediante tablas que se

encuentran relacionadas entre sí. Éstos se clasifican en tablas similares a hojas de Excel, con filas y columnas. Los títulos de las columnas son campos y las filas registros.¹⁹

3.4.1.4 Aplicación de SIG²⁰

A través del uso y aplicación de SIG, en este caso particular ArcGis de ESRI, se realiza una caracterización hidrológica de la cuenca del Río La Paz, generando para ello productos básicos y temáticos intermedios como mapa de pendientes, perfiles longitudinales, delimitación de cuencas, sub cuencas y microcuencas; a partir del uso de Modelo Digital de Elevación SRTM 1arc, con una resolución espacial de 30 metros.

De manera complementaria, y para un monitoreo eficiente, se generan insumos de análisis espacial tales como mapas de cobertura vegetal, mapa de suelos (variables fundamentales para el cálculo del coeficiente de infiltración), etc.

3.4.1.5 Simulación hidrológica - hidráulica

Para el modelamiento hidrológico se toman en cuenta los registros de la red pluviómetros, que son analizados a fin de obtener eventos aislados de lluvia, los cuales puedan ser simulados en HEC GeoHMS²¹ y posteriormente contrastados con los niveles de agua registrados. Este análisis de caudal – tirante, permite la calibración y optimización del modelo hidrológico por subcuencas, obteniendo caudales de diseño a nivel de microcuenca.

Estos caudales de diseño obtenidos para diferentes períodos de retorno, sirve de base para la simulación hidráulica, que permite obtener parámetros hidráulicos tales como velocidades y tirantes máximos, los que a su vez permiten delimitar planicies de inundación, elaborar planes de manejo integral de cuencas y proporcionar criterios técnicos adicionales para la definición de áreas de río y fajas de uso.²²

Finalmente estos caudales son empleados para el diseño de obras civiles por parte de las distintas unidades de la DEGIR y del GAMLP.

3.4.2 Monitoreo Geodinámico

La función principal del Área de Monitoreo Geodinámico dentro del Sistema de Alerta Temprana, dependiente de la DEGIR, es la de llevar adelante el monitoreo permanente y

¹⁹ “Reporte Final, Época de lluvias 2010-2011”. DEGIR - GAMLP

²⁰ Sistema de Información Geográfica

²¹ Software libre para simulación de procesos de precipitación - escorrentía

²² “Reporte Final, Época de lluvias 2010-2011”. DEGIR - GAMLP

continuo de las diferentes zonas identificadas como de “Muy Alto Riesgo” en el Mapa de Riesgos 2011.

Para tal efecto se cuenta con los siguientes equipos: Estaciones Totales, GPS's navegadores y los GPS's Diferenciales de simple y doble frecuencia, que permiten realizar la toma de datos y coordenadas con una precisión milimétrica.

Recientemente a finales del año 2011 se ha realizado la adquisición de un equipo de tomografía que permite realizar estudios 2D y 3D para determinar las características litológicas del subsuelo y la identificación de planos de fractura y deslizamiento; además de la identificación de grietas profundas y semi-profundas, tipificación de horizontes con presencia de aguas subterráneas, al igual que la diferenciación de las diferentes capas que conforman el subsuelo.²³

3.4.2.1 Metodología aplicada

Identificado el lugar con problemas, una brigada técnica de la unidad procede a realizar el correspondiente mapeo geológico y de grietas del sector, para posteriormente realizar la delimitación del área afectada con sus respectivas franjas de seguridad.

A continuación se procede con la colocación de testigos en las zonas y sectores donde se evidencian importantes agrietamientos, detallándose en cada uno de estos el código y las fechas de monumentación correspondientes.

Posteriormente a la delimitación del fenómeno, se procede a la identificación de los lugares estables fuera de área donde se ha producido el proceso de remoción en masa (deslizamiento o derrumbe), para monumentar con hormigón los mojones correspondientes a los puntos de control incorporando dentro los mismos bulones de bronce con la marca e identificación del punto, en este caso en particular: sat1, sat2, etc.

Estos puntos de control son enlazados a la Red Geodésica Municipal vigente y/o a la Red Margen del IGM, mediante el empleo de Receptores GPS Geodésicos de doble frecuencia, obteniéndose las coordenadas absolutas de estos puntos con una precisión milimétrica.

A continuación sobre los puntos base de control generados, se procede a instalar la Estación Total Geodésica para la toma de nuevos puntos materializados con mojones superficiales dentro el área afectada (zona deslizada o en actual movimiento), mismos que servirán para el control del desplazamiento de la masa terrosa, las mediciones (toma de datos) se realizan con una periodicidad de ± 15 días.

²³ “Documento Componente Geodinámico”. DEGIR-GAMLP

Una vez obtenidos los resultados y llevados a una hoja electrónica, se procede a realizar un análisis multitemporal comparativo, de las coordenadas absolutas obtenidas el primer día de la toma de datos, versus los datos obtenidos varios días después, este trabajo nos permite determinar las variaciones del movimiento de reptación de la masa terraza, tanto en el sentido horizontal como en el vertical, de acuerdo a esta evaluación y considerando los criterios geológicos a cerca del material observado, se recomienda la intervención del sector.²⁴

Esta acciones provocan que se active el Modulo de Riesgos como actividad a través de Asesoría Científica del COE.

4. Conclusiones

- ✓ El Sistema de Alerta Temprana ante Inundaciones y Deslizamientos no tiene base legal de creación en la Ley Municipal, por ende no se encuentra inserto en el Organigrama Municipal ni el Manual de Funciones.
- ✓ El Sistema de Alerta Temprana ante Inundaciones y Deslizamientos para la ciudad de La Paz, se encuentra actualmente en pleno funcionamiento y monitoreado por el personal de la DEGIR.
- ✓ La red de instrumentos de medición hidrometeorológica distribuidos en los 37 puntos de monitoreo están en perfecto funcionamiento, tanto en registro de datos como en la transmisión de los mismos.
- ✓ La red híbrida de comunicación se encuentra en óptimas condiciones, sin embargo, en determinados períodos de tiempo presenta algunas fallas.
- ✓ El Centro de Operaciones de Alerta Temprana realiza un trabajo eficiente tanto en el monitoreo hidrometeorológico como geodinámico, generando reportes permanentes, información temática, modelos hidrológicos de la cuenca, etc.
- ✓ No existen protocolos tanto para la definición de umbrales de alerta, rangos de medición y de comunicación para el SAT.

5. Recomendaciones

- ✓ Consolidar un registro de información referida a las asistencias de emergencias reportadas a la DEGIR, como base de información histórica estadística que sirva como un parámetro indicador de evaluación del sistema.

²⁴ “Documento Componente Geodinámico”. DEGIR-GAMLP

- ✓ Generar protocolos para los distintos componentes del SAT, que ayuden a optimizar el funcionamiento de todo el sistema.
- ✓ Generar los espacios técnico – políticos para la inclusión del SAT en la normativa y marco legal municipal, es decir, manual de funciones, organigrama y otros.
- ✓ Realizar una revisión de las metodologías de determinación de umbrales de alerta para la red de monitoreo hidrometeorológico y geodinámico, orientados a la actualización permanente de los mismos y optimizar así el funcionamiento de todo el sistema.
- ✓ Identificar la necesidad de ampliación del actual sistema.
- ✓ Identificar documentación anual que deberá emitir el sistema como producto.

