

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

## **Línea Temática: Sistema de alerta inminente de movimiento de masa, avalancha e inundación**

### **TÍTULO PRELIMINAR: DESARROLLO DE PROTOTIPO SISTEMA INTELIGENTE DE ALERTA TEMPRANA PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES POR REMOCIÓN EN MASA, AVENIDAS TORRENCIALES E INUNDACIÓN EN LOS MUNICIPIOS DE CALARCÁ, PIJAO Y SALENTO, EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO**



Gobernación del Quindío

DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO

CONTRATO DE SERVICIOS - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
SUSCRITO ENTRE EL BRITISH COUNCIL Y BIO NANO CONSULTING  
En el marco del Acuerdo de Alianza Operacional No. 700- 2015 celebrado entre el British Council en nombre del Fondo Newton Caldas y COLCIENCIAS.

BOGOTÁ D.C., 18 de mayo de 2018

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

## Tabla de Contenido

<b>1.</b>	<b>CONTEXTO GENERAL DEL PROGRAMA ALTO IMPACTO COLOMBIA CTEI-SGR.....</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>11</b>
3.1.	Descripción de la situación actual .....	15
3.1.1.	Descripción General de las condiciones fisiográficas del departamento y sus implicaciones con el entorno.....	17
3.2.	Magnitud del Problema .....	24
3.3.	Árbol De Problema .....	27
<b>4.</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>28</b>
<b>5.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN DESEADA.....</b>	<b>42</b>
5.1.	Objetivo general.....	42
5.1.1.	<i>Indicador del objetivo general</i> .....	42
5.2.	Objetivos específicos .....	42
5.2.1.	<i>Indicadores de objetivos específicos</i> .....	43
5.3.	Árbol de Objetivos.....	44
<b>6.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>44</b>
<b>7.</b>	<b>CONTRIBUCIÓN A LA POLÍTICA PÚBLICA.....</b>	<b>46</b>
7.1.	Nacional .....	47
7.2.	Departamental .....	47
7.2.1.	Plan de Desarrollo Departamental – En defensa del Bien Común – 2016-2019 - Departamento de Quindío (Gobernación del Quindío, 2016).....	47
7.2.2.	Plan de Gestión del Riesgo del Departamento del Quindío ( Secretaria del Interior - Unidad Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres - Udegerd - Gobernacion Del Quindío, 2015)...	49
7.3.	Municipal .....	50
7.3.1.	Alcaldía Municipal de Salento – Quindío. Plan de Desarrollo Municipal 2016 – 2019 “Crear en lo que somos” (Alcaldía de Salento - Quindío, 2016).....	50
7.3.2.	Alcaldía Municipal de Pijao. Plan de desarrollo territorial para el periodo 2.016- 2.019 “El gobierno del pueblo” (Alcaldía Municipal de Pijao - Quindío, 2016).....	50

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

7.3.3.	Alcaldía Municipal de Calarcá. Plan de Desarrollo “Somos el Cambio” 2016-2019. (Alcaldía Municipal de Calarcá - Quindío, 2016) .....	51
7.4.	Articulación con la guía sectorial de programas y proyectos CTel. ....	52
7.5.	Otros Sectores Priorizados .....	53
<b>8.</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>54</b>
8.1.	Sistemas de alerta para terremotos y deslizamientos de tierra/remoción en masa. ....	57
8.2.	Sistemas de monitorización ambiental.....	65
8.3.	Desarrollo de plataforma tecnológica para gestión de la información y las comunicaciones....	70
8.4.	Sistemas de alerta para inundación .....	75
<b>9.</b>	<b>LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>77</b>
5.1.	Definición del tamaño del proyecto y análisis de localización.....	78
5.1.1.	<b>Municipio de Pijao: Amenaza por Flujo de avenida torrencial por proceso de carcavamiento sobre el cauce del rio lejos en el municipio de Pijao.....</b>	<b>79</b>
5.1.2.	<b>Municipio de Calarcá: Amenaza por proceso de remoción en masa sobre el cauce de la quebrada el cofre en el corregimiento de la Virginia.....</b>	<b>91</b>
5.1.3.	<b>Municipio de Salento. Amenaza por desbordamiento e inundación del Rio Quindío, en la cuenca media alta del sector La Playa .....</b>	<b>93</b>
<b>10.</b>	<b>DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN AFECTADA. ....</b>	<b>96</b>
6.1.	DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN OBJETIVO. ....	96
6.2.	DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN OBJETIVO.....	98
<b>11.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE PARTICIPANTES .....</b>	<b>99</b>
11.1.	Identificación de participantes.....	99
11.2.	Análisis de participantes .....	106
<b>12.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.....</b>	<b>106</b>
<b>13.</b>	<b>ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.....</b>	<b>107</b>
<b>14.</b>	<b>METODOLOGÍA, ACTIVIDADES Y PRODUCTOS.....</b>	<b>112</b>
14.1.	CADENA DE VALOR.....	117
14.2.	LÓGICA DE INTERVENCIÓN .....	119
14.3.	Alternativas Tecnológicas para los sistemas de monitoreo y medición de variables. ....	123
13.4	Sistema de monitoreo de deformaciones del suelo.....	155

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

15.	<b>CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN .....</b>	<b>160</b>
16.	<b>PRESUPUESTO.....</b>	<b>163</b>
17.	<b>ANÁLISIS DE RIESGOS .....</b>	<b>164</b>
18.	<b>ESTRATEGIA DE OPERACIÓN Y SOSTENIBILIDAD.....</b>	<b>166</b>
19.	<b>SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>168</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>169</b>

**LISTA DE FIGURAS**

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

FIGURA 1. MAPA DE ISOACELERACIONES DEL EJE CAFETERO Q=0.10 Q=50 AÑOS 1.....	22
FIGURA 2. EVENTOS ATENDIDOS POR INSTITUCIONES DE PRIMERA RESPUESTA. FUENTE: OBSERVATORIO DEPARTAMENTAL EN GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES, UDEGERD, 2017.....	26
FIGURA 3. ÁRBOL DE PROBLEMA.....	27
FIGURA 4. MAPA DE PRECIPITACIÓN - SUR AMÉRICA.....	29
FIGURA 5. MAPA DE PRECIPITACIÓN - SUR AMÉRICA.....	30
FIGURA 6. PRONÓSTICO EFAS.....	31
FIGURA 7. ÁREA Y POBLACIÓN EXPUESTA A DESASTRES EN COLOMBIA. ....	33
FIGURA 8. LOCALIZACIÓN SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA EN COLOMBIA. ....	34
FIGURA 9. FLUJO DE LA INFORMACIÓN. ....	39
FIGURA 10. BOLETINES IDEAM. ....	40
FIGURA 11. TORRE SAT EN CÓRDOBA – QUINDÍO. ....	40
FIGURA 12. SAT EN BOQUIA, SALENTO - QUINDÍO, CAUCE DEL RIO QUINDÍO EN LA CUENCA MEDIA ALTA. ....	41
FIGURA 13. ÁRBOL DE OBJETIVOS .....	44
FIGURA 14. MODELO DE UN SISTEMA INTEGRADO DE ALERTA TEMPRANA.....	56
FIGURA 15. TIPOS DE ESTACIONES DE ALARMA PARA SAT .....	59
FIGURA 16. ESQUEMA DE COMPONENTES DE UN SAT PARA DESLIZAMIENTOS INDUCIDOS POR LLUVIAS. ....	60
FIGURA 17. ESTACIÓN DE MEDICIÓN TÍPICA BASADA EN MEMS. ....	61
FIGURA 18. EJEMPLO DE UNA CUADRÍCULA GENERADA POR UNA WSN WI-GIM. ....	63
FIGURA 19. EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN DE OFS BDTDR EN UNA PENDIENTE.....	64
FIGURA 20. PRINCIPIO DE ÁNGULO DE DEFORMACIÓN POR DESPLAZAMIENTO.....	64
FIGURA 21. TIPOS DE DESLIZAMIENTOS DETECTADOS AL IMPLEMENTAR HRDTM.....	65
FIGURA 22. MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE PIJAO, ÁREA DE ESTUDIO.....	79
FIGURA 23. MAPA GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	80
FIGURA 24. EN EL POLÍGONO DE COLOR ROJO, SE EVIDENCIA EL FRACTURAMIENTO ESTRUCTURAL EN LA CORTEZA. .....	81
FIGURA 25. NUEVA FALLA IDENTIFICADA EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	82
.FIGURA 26. GRADO DE AMENAZA SÍSMICA.....	83
FIGURA 27. ACELERACIÓN SÍSMICA. ....	84
FIGURA 28. LOCALIZACIÓN DE VOLCANES.....	85
FIGURA 29. CLASIFICACIÓN ALTITUDINAL.....	87
FIGURA 30. LOCALIZACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS. ....	88
FIGURA 31. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN PARA LA ZONA DE ESTUDIO. ....	90
FIGURA 32. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PRECIPITACIONES.....	90
FIGURA 33. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA.....	92
FIGURA 34. IMAGEN RÍO QUINDÍO .....	93
FIGURA 35. FOTOGRAFÍA AÉREA ACTUAL DEL SECTOR .....	94
FIGURA 36. FOTOGRAFÍA SATELITAL SACADA DEL SIG QUINDÍO, TOMADA ANTES DE LA CAPTURA DE DRENAJE EN LA FINCA LA ISLA. ....	95
FIGURA 37. MEOTODOLOGÍA SAT QUINDÍO .....	112
FIGURA 38. MONITOREO DE EA A TRAVÉS DE UN COMMUNITY SLOPE SAFE (CSS) QUE INCORPORA UNA GUÍA DE ONDA IMPULSADA.....	126
FIGURA 39. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DEL ENFOQUE COMMUNITY SLOPE SAFE (CSS) .....	129
FIGURA 40. A) COMPONENTES DEL SENSOR CSS Y LA ESTACIÓN BASE Y B) UNA VISTA DE UN SENSOR UBICADO EN LA GUÍA DE ONDA DENTRO DE UNA CUBIERTA.....	130
FIGURA 41. EJEMPLO DE MATERIALES DE RELLENO: ARENA ANGULAR DE MEDIA A GRUESA .....	131
FIGURA 42. CUBIERTA SEGURA QUE ALOJA LA GUÍA DE ONDA Y EL SENSOR, CON UN PANEL SOLAR INTEGRADO .	132

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

FIGURA 43. CONEXIÓN DE LOS TUBOS UTILIZANDO UNA LLAVE INGLESA PARA APRETAR LOS EXTREMOS ROSCADOS EN UN ACOPLAMIENTO .....	134
FIGURA 44. UN CONO ATORNILLADO EN EL EXTREMO DELANTERO DEL TUBO DE ACERO PARA FACILITAR LA CONDUCCIÓN DE LA GUÍA DE ONDA .....	134
FIGURA 45. CABEZAL DE MANEJO INCORPORADA A LA PARTE SUPERIOR DEL TUBO DE ACERO PARA AYUDAR A CONducIRLO.....	135
FIGURA 46. USO DE UNA APISONADORA DE ESTACAS PARA CONducIR LA GUÍA DE ONDAS.....	135
FIGURA 47. RELLENO (ARENA EN ESTE CASO) COLOCADO DENTRO DE LA GUÍA DE ONDAS EN CAPAS NOMINALES DE 0,25 M Y COMPACTADOS USANDO UN PESO EN UNA CUERDA DELGADA. ....	136
FIGURA 48. PUESTA DE A CUBIERTA PARA ENCAPSULAR Y/O PROTEGER LA GUÍA DE ONDA.....	136
FIGURA 49. SENSOR CONECTADO A LA GUÍA DE ONDA Y PROTEGIDO POR LA CUBIERTA .....	137
FIGURA 50. ESTACIÓN BASE UBICADA EN UNA PROPIEDAD CERCANA AL SISTEMA.....	137
FIGURA 51. ESCALA DE VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTOS DE TIERRA DE CRUDEN AND VARNES (1996) .....	140
FIGURA 52. EMISIÓN ACÚSTICAS MEDIDA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO (EN VIVO Y MEDIA CUADRÁTICA AGREGADA) .....	142
FIGURA 53. NIVEL DE BATERÍA DE LA ESTACIÓN BASE (%) Y DE VOLTAJE DEL PANEL SOLAR EN FUNCIÓN DEL TIEMPO .....	143
FIGURA 54. NIVEL DE BATERÍA DEL SENSOR (%) Y DE TENSIÓN (VOLTAJE) DEL PANEL SOLAR EN FUNCIÓN DEL TIEMPO .....	143
FIGURA 55. PLACA WASPMOTE .....	148
FIGURA 56. ECRN-100 .....	148
FIGURA 57. SENSOR DE NIVEL MAX2 EN CAMPO. ....	151
FIGURA 58. SENSOR DE NIVEL MAX2 .....	152
FIGURA 59. CARCASA IP 68 – SENSOR DE NIVEL.....	153
FIGURA 60. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE MONITOREO .....	157
FIGURA 61. DISPOSITIVO DE SENSOR PARA REMOCIÓN EN MASA Y AVENIDAS TORRENCIALES .....	159

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. EVENTOS ATENDIDOS POR LAS INSTITUCIONES DE PRIMERA RESPUESTA .....	25
TABLA 2. INDICADOR DEL OBJETIVO GENERAL.....	42
TABLA 3. INDICADORES OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	43
TABLA 4. INDICADORES PLAN DE DESARROLLO DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO .....	48
TABLA 5. INDICADORES PLAN DE DESARROLLO DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO .....	49
TABLA 6. PRIORIZACIÓN PUNTOS DE ATENCIÓN EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO .....	77
TABLA 7. MUNICIPIOS PRIORIZADOS .....	78
TABLA 8. ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	87
TABLA 9. PARÁMETROS METEOROLÓGICOS ESTACIÓN PARAGUAICITO .....	88
TABLA 10. POBLACIÓN AFECTADA.....	96
TABLA 11. ZONAS AFECTADAS POR EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA, AVENIDAS TORRENCIALES E INUNDACIONES. .....	96
TABLA 12. POBLACIÓN OBJETIVO POR MUNICIPIO Y ZONA PRIORIZADA.....	97
TABLA 13. POBLACIÓN OBJETIVO POR GÉNERO.....	98
TABLA 14. MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE PARTICIPANTES .....	99
TABLA 15. BENEFICIOS POBLACIÓN PIJAO .....	108
TABLA 16. BENEFICIOS POBLACIÓN DE SALENTO.....	109
TABLA 17. BENEFICIOS POBLACIÓN DE CALARCÁ.....	110
TABLA 18. CÁLCULO DE BENEFICIOS PARA EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	110
TABLA 19. PROYECCIÓN DE BENEFICIOS. AHORRO EN GASTOS EXEQUIALES .....	111
TABLA 20. PROYECCIÓN DE BENEFICIOS. AHORRO EN COSTOS POR PÓLIZAS DE SEGUROS DE VIDA. ....	111
TABLA 21. PROYECCIÓN DE BENEFICIOS. AHORRO EN COSTOS POR ATENCIÓN MÉDICA HOSPITALARIA. ....	111
TABLA 22. EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	112
TABLA 23. CADENA DE VALOR .....	117
TABLA 24. RESPONSABILIDADES DE LA COMUNIDAD Y DEL EQUIPO REGIONAL DE SOPORTE TÉCNICO PARA GARANTIZAR EL FUNCIONAMIENTO ININTERRUMPIDO DEL SAT DE CSS.....	144
TABLA 25. ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS PARA LA RED .....	146
TABLA 26. CARACTERÍSTICAS PLATAFORMA WASPMOTE.....	146
TABLA 27. CARACTERÍSTICAS SENSOR ECRN-100 .....	148
TABLA 28. CARACTERÍSTICAS MODEM LORA.....	149
TABLA 29. VARIABLES DE TRANSMISIÓN DE DATOS.....	154

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

## 1. CONTEXTO GENERAL DEL PROGRAMA ALTO IMPACTO COLOMBIA CTEI-SGR

El Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias, como ente rector del desarrollo científico y tecnológico nacional, acorde a los lineamientos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo, viene construyendo una visión del desarrollo territorial-nacional, a partir del direccionamiento estratégico, articulación y asistencia técnica a los gobiernos departamentales en la organización de esfuerzos y recursos destinados a la construcción de una sociedad más próspera, justa e incluyente, con base en la implementación y apropiación de la ciencia, la tecnología y la innovación como medios para la solución de problemáticas sociales, económicas y ambientales de alto impacto e interés de la nación y los departamentos.

Gracias a la cooperación y el trabajo conjunto entre los gobiernos del Reino Unido y Colombia a través del *British Council* en nombre del *Fondo Newton-Caldas y Colciencias*, se han venido ejecutando iniciativas tendientes a fortalecer las capacidades nacionales y territoriales en materia de formulación y estructuración de proyectos relevantes, pertinentes, viables y de impacto, que pretendan ser financiados con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías.

Como parte de las iniciativas identificadas, ha sido diseñado el Programa Alto Impacto Colombia CTEI – SGR, cuyo propósito es la formulación de proyectos replicables en cuatro (4) líneas temáticas de gran potencial para el incremento de capacidades y procesos de investigación, desarrollo e innovación de soluciones a problemáticas sociales comunes en los departamentos colombianos, mediante la cooperación, transferencia y desarrollo científico-tecnológico nacional e internacional. Las líneas temáticas son:

1. Sistema de potabilización de agua dulce o salada, alimentado por energías renovables (plantas de agua potable).
2. Sistema de alertas inminentes de movimientos de masa, avalancha e inundación
3. Sistema de Irradiación nuclear para cultivos/ modificado a Mejoramiento de la competitividad internacional en el agro
4. Transformación de residuos sólidos/ biomasa/ en energía eléctrica para solucionar problemas de rellenos sanitarios en zonas urbanas y rurales.

Para tal efecto, Colciencias y el British Council, han contado con la colaboración de Bio Nano Consulting Centre, centro británico de consultoría para la gestión de proyectos estratégicos internacionales de ciencia, tecnología e innovación; y el Centro de Transferencia de

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Conocimiento e Innovación – CienTech, oficina nacional de transferencia tecnológica apoyada por Colciencias.

Una de las líneas temáticas priorizadas apunta al desarrollo de un Sistema de alerta temprana para la gestión del riesgo de desastres por efectos de avenidas torrenciales, remoción en masa e inundaciones en los municipios de Calarcá, Pijao y Salento en el departamento del Quindío, utilizando actividades de ciencia, tecnología e innovación.

## **2. RESUMEN EJECUTIVO**

Los países con zonas montañosas y altos índices de precipitación son vulnerables a ciertos fenómenos que afectan a la población que reside cercana a esta región. Colombia por su ubicación y características geográficas está constituida por una amplia diversidad geológica, geomorfológica, hidrológica y climática, la cual se manifiesta en un conjunto de fenómenos que representan una potencial amenaza para el desarrollo social y económico del país (Banco Mundial, 2012).

Los desastres naturales ocasionan cuantiosas pérdidas de vidas humanas y económicas, porque los procesos naturales en actividad presentan alta probabilidad de convertirse en catástrofe, dada la inestabilidad potencial de las condiciones geológicas del territorio y el uso inadecuado del suelo.

La protección del medio ambiente y la prevención de desastres son parte de los objetivos de la ley 388 de 1997, la cual especifica que las entidades territoriales deben contar con mecanismos efectivos para la conservación de los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales. Es importante incluir en estos mecanismos las políticas, directrices y regulaciones sobre identificación, prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales, aspectos relacionados directamente en la ley 1523 de 2012 que creó y estableció el nuevo Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

El departamento del Quindío no es ajeno a estas circunstancias, sus características topográficas le dan una alta condición de vulnerabilidad debido al efecto adverso de diversos fenómenos naturales que además de generar pérdidas de vidas humanas, producen daños en la

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

infraestructura vial y afectaciones en actividades productivas como la agricultura, todo ello representado en altos costos de recuperación y en el detrimento del desarrollo y crecimiento del Departamento.

El Quindío cuenta en la actualidad con algunos mecanismos de alerta que no suministran suficiente información para la toma de decisiones en tiempo real y sólo algunos de ellos se encuentran administrados directamente por la gobernación del Quindío, lo que no permite la rápida y oportuna acción de organismos de gestión del riesgo para generar las alertas y mitigar los efectos de los eventos que pudieran llegar a producirse.

El Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres ha detectado la necesidad de desarrollar mecanismos que soporten los procesos de monitoreo y prevención del riesgo y así mitigar el efecto de los desastres naturales en el territorio, en consonancia con las estrategias y planes del departamento y los lineamientos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD.

Para tal efecto, se plantea la ejecución del presente proyecto cuyo propósito es el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta temprana para la gestión del riesgo de desastres, con base en la implementación de actividades de ciencia, tecnología e innovación, que permitan desarrollar un conjunto de elementos que integrados permitan generar datos e información para la toma de decisiones en tiempo real.

Este proyecto implica el desarrollo de un sistema de monitoreo y estaciones base para tres eventos, a saber, remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones, en tres zonas priorizadas del departamento del Quindío, a partir de la integración de alternativas tecnológicas (nodos sensores) que generan datos y emiten señales de advertencia cuando ocurre una anomalía y que pueden variar acorde a las variables que se desean medir.

Así mismo, incluye el desarrollo de una plataforma tecnológica para la gestión de la información técnica que arrojará el sistema de monitoreo, cuyos datos permitirán la adecuada toma de decisiones y la emisión de alertas en tiempo real, integrando la información que se genere en las tres zonas, que será centralizada y administrada por la Unidad Departamental para la Gestión del Riesgo – UDEGERD Quindío.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Esta plataforma contempla la integración de un modelo estadístico que será desarrollado para predecir la ocurrencia de los fenómenos y generar alertas con mayores tiempos de respuesta para evacuaciones o implementación de acciones de mitigación.

Finalmente, se realizará una validación técnica y operativa del Sistema de Alerta Temprana para asegurar su correcto funcionamiento y verificar que cumpla con los requerimientos establecidos para cada fenómeno, involucrando a las partes interesadas en el ámbito local y nacional, así como a los proveedores de las alternativas tecnológicas.

La implementación del sistema de alerta temprana traerá consigo, entre otros beneficios, la disminución de pérdidas de vidas humanas, la reducción de la vulnerabilidad del departamento ante eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones, así como la mejora en la capacidad de monitoreo y pronóstico de las amenazas producidas por causa de estos eventos, generando información veraz, precisa y confiable, en tiempo real para un adecuado proceso de toma de decisiones.

### **3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Colombia por su ubicación y características geográficas, está constituida por una amplia diversidad geológica, geomorfológica, hidrológica y climática, la cual se manifiesta en un conjunto de fenómenos que representan una potencial amenaza para el desarrollo social y económico del país (Banco Mundial, 2012).

La protección del medio ambiente y la prevención de desastres son parte de los objetivos de la ley 388 de 1997 por lo cual los entes territoriales deben contar con determinantes para la conservación de los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales. Es importante destacar que se deben tener en cuenta las políticas, directrices y regulaciones sobre identificación, prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales, aspectos relacionados directamente en la ley 1523 de 2012 que creó y estableció el nuevo Sistema Nacional de Gestión Del Riesgo De Desastres.

Los desastres naturales ocasionan cuantiosas pérdidas de vidas humanas y económicas, porque los procesos naturales en actividad presentan alta probabilidad de convertirse en catástrofe,

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

dada la inestabilidad potencial de las condiciones geológicas del territorio y el uso inadecuado del suelo.

Según un estudio realizado por el Banco Mundial (2012), los departamentos de Huila, Chocó, Valle del Cauca, Nariño, Risaralda, Cauca y Quindío tienen más del 95% de su territorio expuesto a la amenaza sísmica alta. Todos estos departamentos cuentan en su historia con al menos un evento sísmico que ocasionó importantes pérdidas documentadas en el catálogo histórico del país (Banco Mundial, 2012).

Según la base de datos de DesInventar (Corporación Osso y Eafit, 2011) citada por el Banco Mundial (2012), en la mayoría del territorio nacional los registros históricos de pérdidas que predominan son causados por inundaciones; a excepción de algunos departamentos como Quindío, donde el mayor número de eventos son los deslizamientos, aunque también se presenta un número importante de reportes por inundaciones. Debido a la localización de los volcanes, los departamentos con mayor número de fenómenos relacionados con ellos son Nariño, Cauca, Huila, Tolima y Caldas; mientras que el mayor número de registros por sismos, que hayan generado algún tipo de pérdidas entre 1970 y el 2011, lo presentan el Valle del Cauca, Antioquia, Boyacá, Cauca, Chocó, Nariño, Risaralda, Caldas, Quindío, Santander, Tolima y Norte de Santander.

En el territorio nacional en los últimos 40 años se han visto afectadas más de 1 millón de viviendas asociadas a la ocurrencia de diferentes fenómenos; el 73% por inundaciones, el 7% por sismos, el 5% por deslizamientos y el 15% por otros fenómenos. De las 190 mil viviendas destruidas durante el período 1970-2010, el mayor número de ellas lo presentan Quindío, con 33.372, Cauca, con 17.270, y Tolima, con 13.770 (Banco Mundial, 2012).

En el periodo 2006-2014, el 26% de la población nacional proyectada por el DANE para el año 2015. De 48.203.405 habitantes, la cuarta parte ha resultado damnificada: 12.298.849. De esta cifra, sólo por inundaciones el total de personas afectadas es el 19% de la población, equivalente a 9.390.554 personas.

En este mismo periodo se reportaron en el país 21.594 emergencias generadas por eventos de origen natural, de los cuales 14.853 corresponden a eventos hidrometeorológicos, como se conocen a los generados por la acción violenta de los fenómenos atmosféricos. La principal causa de ellos son las inundaciones y los deslizamientos. el promedio de reportes anuales fue de

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

2.399 eventos. De ellos, 14.641, que corresponden al 67,8%, se concentraron en el período 2011-2014.

Entre los departamentos con mayor afectación, se encuentra el departamento del Quindío, que, pese a su poca extensión geográfica, presenta una alta vulnerabilidad frente a amenazas de tipo natural principalmente de origen hidrometeorológico y tectónico, que han impactado en la vida y bienes de los habitantes del departamento. Según cifras consolidadas por el Departamento Nacional de Planeación en el periodo de 2006-2014 se presentaron 657 eventos debido a fenómenos hidrometeorológicos, viéndose afectados 45.071 habitantes.

Según las cifras registradas en la vigencia 2016, resultaron afectados 32 departamentos y 801 municipios, 36.427 viviendas averiadas, 976 viviendas destruidas, 218.138 familias afectadas 218.138, 475 personas fallecidas, 981.758 personas afectadas, 1.010 personas heridas y 39 personas desaparecidas (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de desastres, 2016).

En el 2013 declaró que en el período 1998-2012, el 90% las emergencias del país estuvieron relacionadas con fenómenos hidroclimatológicos.

El departamento del Quindío no ha sido ajeno a dichas cifras mencionadas por la UNGRD, y tomando como referencia el contexto geográfico ambiental y social, donde se destacan escenarios, que cuentan con un antecedente histórico de fenómenos naturales que han generado emergencias y desastres, y que en el presente se siguen presentando asociados a una vulnerabilidad física y social de las comunidades y la infraestructura local.

Entre los principales fenómenos que generan condición de amenaza se destacan, fenómenos sísmicos, movimientos de remoción en masa, avenidas torrenciales, inundaciones y fuertes temporales (vendavales).

Un evento que generó gran impacto fue el sismo de 1999 denominado *el terremoto del eje cafetero*, que afectó a los 12 municipios del departamento del Quindío, dejando la pérdida de 1.185 vidas humanas, cerca de 8.523 heridos, 731 desaparecidos y más de 142.000 viviendas afectadas, de forma total o parcial, además de cuantiosos costos económicos para el departamento, la región y la nación (CEPAL, 1999).

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Por otro lado, las cifras de afectación por fenómenos hidrometeorológicos en los últimos 10 años no son precisas debido a que no se cuenta con estadísticas que permitan conocer con exactitud el impacto generado en los municipios del departamento e identificar los escenarios para priorizar.

Otro aspecto importante que incide en el Departamento es la vulnerabilidad al cambio climático. Según los Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 (Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM, Programa de las Naciones Unidas PNUD, 2015), Quindío podrá presentar elevaciones en la precipitación hasta un 24% en el periodo 2011-2100, pudiendo ser los municipios de Quimbaya y Filandia los de mayor aumento. En general, los escenarios modelados no manifiestan disminuciones en precipitación. Estas condiciones pueden generar efectos que se verán representados en el sector agrícola debido al aumento gradual y acentuado de precipitaciones, posibilitando la persistencia de plagas y enfermedades para los cultivos representativos. El sector de construcción y el sector vial podrán verse afectados debido a los aumentos en precipitaciones en particular para obras establecidas en pendientes elevadas. El sector turístico podría verse afectado por aumento en interrupciones viales por remoción en masa.

En 50 años, el departamento del Quindío podrá presentar aumento de temperatura promedio de hasta 1,5°C sobre el valor actual, y para final de siglo tendrá un aumento de 2,3 °C, principalmente hacia el occidente del departamento: Quimbaya, Montenegro, La Tebaida, Armenia, Circasia y Filandia (Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM, Programa de las Naciones Unidas PNUD, 2015). Las consecuencias que estos aumentos en la temperatura podrían traer, son entre otros, el derretimiento acelerado de los nevados y glaciares, así como el retroceso de páramos de los que dependen una gran cantidad de los acueductos municipales, disminución en la productividad agropecuaria, mayor incidencia de fenómenos climáticos extremos, incremento de los procesos de desertificación, así como la pérdida de fuentes y cursos de agua, agravándose por los conflictos y traumatismos en los cambios de uso del suelo.

Los mecanismos actuales para el monitoreo y prevención de situaciones de amenaza por efectos naturales, así como la insuficiente infraestructura del Consejo Departamental de Gestión del Riesgo, como ente coordinador de los procesos de gestión del riesgo, y la baja sostenibilidad técnica y operativa de proyectos aislados, no permiten dar una respuesta oportuna y eficiente, sino por el contrario las acciones que se toman son de manera reactiva y no se logra reducir el impacto de los eventos, en particular en la comunidad.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Bajo este contexto, el bajo acceso a información técnica especializada en tiempo real para un adecuado proceso de toma de decisiones frente a la amenaza de desastres naturales aumenta la vulnerabilidad del territorio y el impacto negativo en aspectos ambientales, de vidas humanas, sociales, económico de infraestructura vial, entre otros. Esto representa altos costos de recuperación de las zonas afectadas para el territorio y pérdidas significativas en el crecimiento y la economía del Departamento.

### *3.1. Descripción de la situación actual*

La estructura para la gestión del riesgo en el departamento es la Unidad Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres UDEGERD, cuya función es coordinar y ejecutar las acciones para responder ante los efectos adversos causados por las emergencias en la ejecución de la respuesta y la respectiva recuperación, de forma eficaz y efectiva. Su propósito es disminuir la vulnerabilidad de la población, mediante la implementación de mecanismos o estrategias efectivas para hacer frente a las inundaciones por cambios en los cauces de ríos y movimientos de remoción de masas.

En el trabajo que viene desarrollando la unidad en los últimos 2 años se han identificado algunos aspectos y zonas críticas en el departamento.

Existe la presencia de entidades de socorro voluntarias de primera respuesta, como son la Defensa Civil, Cruz Roja y Bomberos Voluntarios, con un alto compromiso, pero con pocos recursos económicos que se reflejan en la carencia de equipos especializados y dotación básica de equipos de protección personal, lo cual reduce las posibilidades de entregar un servicio eficiente y de calidad a la comunidad.

Actualmente el Departamento cuenta con una Sala de crisis equipada con un sistema de telemática e informática y funciona en las instalaciones del Centro Metropolitano de Convenciones. Adicionalmente cuenta con dos SAT, de los cuales uno está en funcionamiento y es administrado por la Cruz Roja de Armenia. El ente territorial apunta a generar acciones para una mayor coordinación, optimización de recursos, mejores flujos de información y toma de decisiones en situaciones de crisis (Gobernación del Quindío, 2016).

Así mismo, como soporte el Departamento cuenta con un Sistema De Información Geográfica, gracias al esfuerzo interinstitucional entre la Corporación Autónoma Regional del Quindío, el IGAC y la Gobernación del Quindío, el cual se ha venido alimentando y presenta información

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

actualizada de las Zonas del Alto Riesgo del Departamento del Quindío, lo que permite asegurar una consulta y un análisis territorial más idóneo, en pro de una buena planificación y desarrollo territorial, y un mejor proceso en la toma de decisiones institucionales ( Secretaria del Interior - Unidad Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres - Udegerd - Gobernacion Del Quindío, 2015).

El Quindío presenta diversas amenazas que, por su alto impacto y recurrencia en el tiempo, lo mantienen en situación de vulnerabilidad frente a riesgo de desastres naturales, que en caso de ser reincidentes afectarán fuertemente las condiciones de vida, la infraestructura, la economía, las condiciones ambientales y los aspectos social y cultural de toda la población del departamento.

Los mecanismos actuales de monitoreo y alerta para la gestión del riesgo de desastres con los que cuenta el departamento no generan información en tiempo real, lo que no permite tomar decisiones acertadas y comunicar alertas con suficiente tiempo, ni generar acciones rápidas y oportunas por parte de organismos de primera respuesta para mitigar los efectos producidos por desastres naturales.

La información que recibe el departamento en términos de amenazas y riesgos por eventos naturales proviene de los vigías comunitarios, las alertas del IDEAM y del Servicio Geológico Colombiano, así como los datos que proporciona el SAT que administra la Cruz Roja de Armenia. En general, esta información es de carácter regional por lo cual su precisión es baja y en muchas ocasiones se recibe una vez hayan ocurrido los eventos. La Unidad Departamental de Gestión del Riesgo ha conformado un Observatorio que consolida las cifras del impacto generado por los eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales, inundaciones entre otros, para efectos de llevar el histórico de las pérdidas causadas por estos.

Por otra parte, la mayoría de la información que se socializa con la comunidad está dirigida a dar recomendaciones sobre el comportamiento que debe asumir la población en caso de emergencia, sin hacer en forma previa una debida interiorización del riesgo en el público.

Tomando como referencia la información suministrada por el observatorio de la UDEGERD, la cual muestra que los eventos que más se atienden en el departamento por parte de los organismos de primera respuesta, son en primer lugar la pérdida de cubiertas asociada a los fuertes temporales (vendavales) con un 52,8%, seguido de los movimientos de remoción en

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

masa con 19,4%, posteriormente los incendios estructurales y las fugas de gas con 7,3% y 6,8 respectivamente, y finalmente las inundaciones de cualquier origen con 6,7%.

### **3.1.1. Descripción General de las condiciones fisiográficas del departamento y sus implicaciones con el entorno.**

El departamento del Quindío se encuentra ubicado en la región centro occidental del país, entre la cordillera central y occidental, en un ambiente geológico que le confiere variedad de rocas y materiales no consolidados, actividad sísmica alta, actividad volcánica, terrenos aledaños a corrientes de agua permanentes que pueden ser inundados. Así mismo laderas de alta pendiente con suelos poco desarrollados, que al ser expuestos a lluvias que exceden el promedio de la región, son susceptibles a la generación de movimientos en masa o fenómenos de remoción en masa, además posee diferencias (entre 900 y 5000 msnm aproximadamente) y una variedad climática con diferencias notables en la pluviosidad, la humedad y el brillo solar, entre otros, que le permiten tener diferentes zonas de vida y por ende diferentes ecosistemas, algunos de los cuales son frágiles ante la acción humana.

Cuenta con una superficie de 1.961 Km<sup>2</sup> lo que representa el 0.16% del territorio nacional. Limita por el norte con los departamentos de Risaralda y Caldas, por el este con el departamento del Tolima, por el sur con el valle del cauca (Gobernación del Quindío UDEGERD, 2015). En el año 2017 su población asciende a 571.733 habitantes según las proyecciones del Dane (DANE, 2005), 502.841 habitantes ubicados en las cabeceras municipales y 68.892 en el resto del departamento.

Está dividido en 12 municipios (conectados por sistemas viales del orden nacional, departamental y municipal, algunas vías en proceso de recuperación por efecto de las temporadas de invierno); 4 corregimientos, 34 inspecciones de policía, así como, numerosos caseríos y sitios poblados. (Gobernación del Quindío UDEGERD, 2015).

A continuación, se relacionan los municipios del Departamento del Quindío: Armenia, Salento, Filandia, Quimbaya, Buenavista, Génova, Calarcá, La Tebaida, Circasia, Montenegro, Córdoba y Pijao.

Los municipios se subdividen en tres áreas (Gobernación del Quindío UDEGERD, 2015):

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Área Oriental (Zona Montañosa): corresponde a la zona geográfica que comprende los municipios de Salento, Calarcá, Córdoba, Buenavista, Pijao y Génova, se caracterizan por el relieve de montaña, que configura el flanco occidental de la cordillera central. Los municipios ubicados en ésta zona geográfica están relacionados directamente en su área urbana o rural, con la red hidrográfica que nace en la cordillera y desciende hasta tributar sus aguas en los cauces del Río la Vieja y Río Barragán, asociados al Río Cauca. Esta característica de ubicación de sistemas urbanos, al interior de valles aluviales (ríos y quebradas) es especialmente importante, al momento de tipificar los riesgos y otros rasgos propios de la zona en mención.

Cabe mencionar la influencia del Río Lejos sobre el municipio de Pijao, los Río Gris y San Juan en Génova, la quebrada El Cofre en el corregimiento la Virginia, la quebrada La Española y Río Verde en el municipio de Córdoba, y las quebradas Naranjal y el Pescador en Calarcá, Río Quindío, Boquerón y Navarco en el municipio de Salento. Así mismo las condiciones propias del terreno por sus características de alta pendiente marcan una pauta importante respecto a riesgos específicos que pueden afectar la población. Otro aspecto que no se puede desconocer, corresponde a la aptitud del suelo y su uso, especialmente en zonas de ladera.

Algunas actividades agropecuarias generan un impacto sobre el suelo y su notable correspondencia con el desarrollo de problemas erosivos que día a día se han ido incrementando, tal como se observa en la parte media de las cuencas de los Ríos San Juan, Lejos y Río verde, en jurisdicción de los municipios de Génova, Pijao y Córdoba respectivamente.

Área Occidental (Plana): Corresponde a la zona geográfica que comprende los municipios de Montenegro, Quimbaya, la Tebaida, Filandia y Circasia. Se caracteriza por el relieve de colinas onduladas propias de la unidad geológica denominada el Glacis del Quindío, que configura el piedemonte de la Cordillera Central y su zona de transición hacia el Valle del Cauca. Las características de la zona occidental son notablemente diferentes a la zona oriental, sobre todo por el predominio de pendientes suaves a moderadas y la ubicación de sistemas urbanos en áreas geográficas relativamente planas, por lo cual, el factor topográfico no tiene el mismo peso en el momento de tipificar los riesgos de la zona en mención. La población urbana tiende a ser mayor y a pesar de que la red de drenaje es de mayor densidad, su efecto sobre los núcleos urbanos no es similar al de las poblaciones ubicadas en la zona de cordillera

Área Central (Armenia): Corresponde a la zona geográfica del Municipio de Armenia, la cual se caracteriza por presentar un relieve ondulado con cimas relativamente planas, disectadas por la

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

red de drenaje. El municipio de Armenia se ha considerado como un área homogénea debido a la concentración de la población en una zona relativamente pequeña. Correspondiente al casco urbano, donde prevalecen diferentes topologías de riesgo. Los aspectos del riesgo son importantes en este contexto urbano, ya que las condiciones de amenaza sísmica, merecen especial atención en virtud a los efectos observados en eventos de esta naturaleza registrados en el pasado. De igual manera. La amenaza por deslizamiento es común en amplios sectores de la ciudad, principalmente en la zona sur y occidente, donde el factor topográfico y el estado de las construcciones toman especial importancia.

### Fisiografía

El territorio del departamento del Quindío se distingue dos tipos de relieve, el primero es montañoso en el oriente y el segundo es ondulado en el occidente. El montañoso corresponde al flanco occidental de la cordillera central, el cual se extiende en dirección sur-norte con pendientes abruptas, muy relacionadas con la litología, en su mayoría rocas metamórficas. La mayor elevación es el volcán del Quindío. El segundo corresponde al área cubierta de flujos de lodos volcánicos transportados por los ríos, el modelado es suave de colinas bajas. En la faja más occidental de esta morfología se encuentran los valles de los ríos Barragán al sur, aluviones recientes y el de la Vieja en el sector norte, de rocas sedimentarias (Gobernación del Quindío UDEGERD, 2015).

### Hidrografía

La red hidrográfica del Quindío está conformada por los ríos San Juan, Río lejos, Río la Vieja, Río gris, Río Roble, Río Rojo, Río azul, Espejo, Santo Domingo, Río Boquerón, Río Navarco y Quindío, el de mayor longitud. Estos ríos reciben todas las corrientes que descienden de la cordillera (Gobernación del Quindío UDEGERD, 2015).

### Clima

El clima del departamento del Quindío es muy variado, debido principalmente a factores como la latitud, altitud, orientación de los relieves montañosos, los vientos, etc. La distribución de las lluvias está condicionada a los desplazamientos de la zona de convergencia intertropical, el relieve y la circulación atmosférica. Los meses de máxima cantidad de lluvia se presenta en dos temporadas comprendidas entre marzo a mayo y septiembre a noviembre, los periodos de

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

menor pluviosidad son en enero a febrero y junio a agosto. La temperatura promedio oscila entre los 18° y 21° aptas para el crecimiento del café en todas sus fases. Las tierras están comprendidas en los pisos térmicos templado, frío y bioclimático páramo (Gobernación del Quindío UDEGERD, 2015).

### Actividades Económicas del Quindío

La economía del departamento del Quindío gira en torno al turismo fundamentalmente, cultivos y comercialización del café, histórico baluarte de la economía departamental y nacional. A esta actividad le siguen la prestación de servicios, las actividades agropecuarias y la industria. Fuera del café se cultiva plátano, yuca, caña, panelera, sorgo, papa, maíz y hortalizas. La ganadería se ha consolidado durante las últimas décadas al igual que la agricultura. La industria está desarrollada en el sector alimenticio, el turismo, las confecciones, productos de aseo y productos de cuero (Gobernación del Quindío UDEGERD, 2015).

Las actividades del sector productivo, en particular las agropecuarias pueden sufrir pérdidas significativas en la producción por efecto de las inundaciones, avenidas torrenciales y otros eventos naturales.

### Vías de Comunicación

El departamento cuenta con una buena red de carreteras que permite la comunicación directa de Armenia con la totalidad de las localidades del departamento y de estas entre sí, al igual que con los departamentos vecinos y la capital de la república. Cuenta con el aeropuerto internacional El Edén ubicado en las goteras del municipio de la Tebaida Quindío (Gobernación del Quindío UDEGERD, 2015).

### Principales Factores De Amenaza

Acorde a las condiciones inherentes a la zona donde se encuentra ubicado el Departamento del Quindío, entre los principales factores de amenaza se destacan los siguientes (Gobernación del Quindío UDEGERD, 2015):

*Sismos:* Colombia está situada en una zona propensa a los sismos (Ramírez, 1933, 1971, 1975; Ramírez y Goberna, 1980; Goberna, 1988; Salcedo, 1992, 1993), con una compleja actividad

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

tectónica debido a la interacción de cuatro placas: Suramericana, Caribe, Nazca y Cocos, y un proceso de subducción en la costa pacífica de Suramérica; estos procesos han formado el relieve del territorio nacional y han generado fallas geológicas que además de generar redistribución de los sismos a nivel local, también han producido fallas de tipo regional como las de Silvia-Pijao, Romeral, Cauca-Almaguer, Armenia, Salento, Córdoba y Navarco.

El departamento del Quindío afectado por el sismo del 25 de Enero de 1999, se encuentra ubicado en una de las áreas de mayor actividad sísmica en nuestro país. Esta actividad sísmica se debe, no solo a su localización entre las isoprofundidades de 80-160 km de la zona Wadati-Benioff de la placa Nazca subducida en el Noroeste de Colombia (Monsalve,1998), sino también al hecho de estar atravesada por múltiples fallas, destacándose entre otras, algunas de los mayores accidentes tectónicos corticales de Colombia, que cruzan la zona de sur a norte, tales como el megafallamiento de Romeral, caracterizada por las fallas satélites de Córdoba, Navarco, Silvia-Pijao, Buenavista, el Salado, Cauca-Almaguer, Armenia, Salento, Montenegro y las fallas Palestina y Cauca-Patía que como se ha logrado establecer, son activas con magnitudes probables de  $6.1 < M_w < 6.9$  (Guzman et al,1998), al igual que se identifican 18 fallas activas y potencialmente activas en el Quindío.

Es así como, el estudio más reciente sobre el tema (AIS, et al, 1996) resalta las fuentes sismogénicas que tienen mayor incidencia en el departamento del Quindío y a través del método de línea fuente, establece los valores de aceleración máxima para todos los municipios del Departamento. De esta forma se logra hacer una clasificación sobre el tipo de amenaza al cual corresponde cada uno de estos municipios.

Tres categorías de actividad sísmica ocurren en zonas de subducción:

- 1.- En la interacción entre dos placas litosféricas que convergen, resulta una larga zona de contacto con deslizamiento friccional denominada sismicidad de interplaca.
- 2.- En las deformaciones internas dentro de la placa subducida, resultante de la interacción con el manto circundante y de las fuerzas de flotabilidad negativa, se tiene una zona denominada de sismicidad intraplaca.
- 3.- En las deformaciones internas de la placa principal (corteza), resultante de la extensión del antearco o de la compresión de la parte superior de la placa, se tiene una zona denominada de sismicidad cortical. Zona donde se presentó el sismo del 25 de Enero y que corresponde al estado de esfuerzos compresionales de la corteza continental.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

La amenaza sísmica, presente en el estudio desarrollado por Universidad del Quindío et al. (2000). De acuerdo con el mapa de isoaceleraciones los valores de aceleración para el departamento del Quindío se encuentran en un rango de 0.27 y 0.30 G de aceleración en roca ver figura 1.

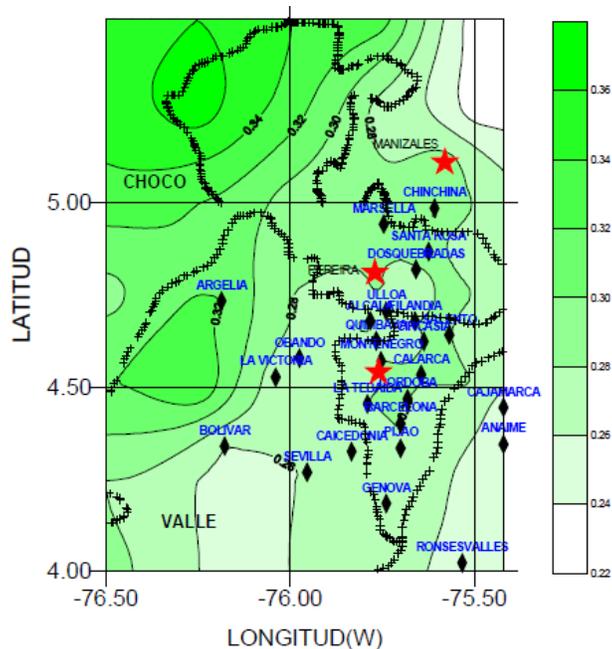


Figura 1. Mapa de isoaceleraciones del Eje cafetero  $Q=0.10$   $q=50$  años 1.  
Fuente: Universidad del Quindío ó INGEOMINAS ó C.R.Q. ó FOREC. (2000)

Los seis municipios que integran la zona cordillerana deben considerar la amenaza sísmica como uno de los eventos con más alta probabilidad de afectación regional y como fenómeno natural que puede causar el mayor nivel de daños y cuantiosas pérdidas en vidas humanas y económicas sobre cada sistema urbano. Es importante recordar que la zona presenta amenaza sísmica por eventos profundos y por eventos superficiales, en ambos casos, dependiendo de la magnitud del evento y la distancia a la zona epicentral, podría establecerse con relativa aproximación el nivel de afectación esperado. Si bien es cierto que los análisis científicos no llegan al nivel de predicción sobre el fenómeno, desde ningún punto de vista se puede desestimar su probabilidad de ocurrencia.

**Deslizamientos:** La zona de montaña tiene características propias de alta pendiente y como aspecto sobresaliente, los municipios cordilleranos tienen relación directa con este factor. La ubicación de las cabeceras urbanas evidencia una interacción con el entorno físico-ambiental,

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

en el cual el factor topográfico tiene una notable influencia. Además de considerar las altas pendientes típicas de esta zona, es necesario tener en cuenta las características de los suelos, puesto que, al conjugar el factor topográfico, con el tipo de suelo y con el proceso de intervención humana, se puede obtener un panorama general que determinara la mayor o menor probabilidad de afectación de los sistemas urbanos por fenómenos de remoción en masa.

Los suelos que conforman la zona de montaña, en términos generales presentan características de alta permeabilidad además de otros rasgos físicos derivados de las unidades geológicas que componen el territorio, esto los hace especialmente susceptibles a ser afectados por procesos de erosión, en relación directa con el uso del suelo. Del análisis general se puede concluir que el factor de intervención humana tiene influencia notable en la ocurrencia de deslizamientos, tanto en la zona urbana como rural. El manejo de las cuencas hidrográficas debe ser revisado con especial atención desde el punto de vista de la planificación territorial, puesto que los problemas de estabilidad de laderas existentes pueden de alguna manera comprometer física o funcionalmente la infraestructura de los núcleos urbanos.

De igual manera, no se puede desconocer la importancia de realizar una detallada planificación urbana, puesto que las áreas de expansión deben estar exentas de este tipo de fenómenos. En los casos, donde en la actualidad existe amenaza potencial, se hace necesario impulsar programas de mitigación de riesgos si las condiciones financieras de los municipios lo permiten o en su defecto, programas de socialización y preparación de la comunidad para una respuesta efectiva ante un potencial evento.

*Hidrológicas:* Inundaciones. La dinámica de las corrientes de agua es un factor preponderante en la zona de montaña. En términos generales se puede observar que cuatro cabeceras municipales se encuentran ubicadas en áreas cercanas a ríos y quebradas, y en algunos casos incluso, la red de drenaje atraviesa los perímetros urbanos.

Merecen especial atención los municipios de Pijao, Génova, Córdoba, Tebaida sector de Pizamal y el caserío de la vereda de Boquia en el municipio de Salento, así como el corregimiento La Virginia por su cercanía a ríos o quebradas con características torrenciales, los cuales en épocas de invierno aumentan significativamente su carga líquida, y en consecuencia la dinámica de los cauces se convierte en un factor amenazante para la población.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Las crecientes de los ríos es de montaña obedecen generalmente a la concentración de agua en forma gradual producto de las lluvias que se presentan en la parte alta de la cordillera, lo cual determina la posibilidad de monitorear preventivamente los cauces y establecer alertas tempranas frente a posibles inundaciones. No se descarta la probabilidad de ocurrencia de flujos rápidos, avenidas torrenciales, como resultado del represamiento de drenajes por acción de deslizamientos sobre las laderas que encierran el cauce. Los municipios de Génova, Córdoba, Pijao, Tebaida, el corregimiento la Virginia y la vereda de Boquia en Salento, han sufrido eventos graves por inundaciones y avenidas torrenciales, afectando no solo población sino bienes e infraestructura de líneas vitales.

### 3.2. Magnitud del Problema

La información que recibe la Unidad Departamental de Gestión del Riesgo y el Consejo Departamental de Gestión del Riesgo para tomar acciones pertinentes, proviene de algunas entidades del orden nacional y a través del Observatorio se registra información de hechos ya sucedidos.

El Ideam proporciona información de posibles precipitaciones, alerta del nivel de ríos y alerta a nivel de remoción en masa. Se reporta diariamente, pero los datos remitidos son del ámbito nacional a regional y no desde el ámbito local, lo que impide que se cuenta con la suficiente precisión para tomar decisiones.

Por su parte, el Servicio Geológico Colombiano suministra información relacionada con sismos y actividad volcánica; se reciben reportes semanales y los datos proporcionados no corresponden a registros locales sino a registros regionales.

La Corporación Autónoma Regional del Quindío, emite información de niveles de lluvias a través de reportes semanales, sin embargo, los datos se reciben con un día de diferencia, es decir, una vez ha ocurrido el evento.

Los dos sistemas de alerta temprana que actualmente hay en el departamento están ubicados uno en Córdoba y el otro en Salento. Estos SAT no cuenta con un sistema de medición, su principal función es enviar mensajes de alerta de forma remota a través de bocinas, y se considera una estrategia reactiva.

A continuación, se presentan una serie de datos que dan cuenta del impacto de los desastres naturales en el departamento. En el periodo de 2006 al 2014 resultaron alrededor de 45.000

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

personas afectadas en el Departamento a causa de los desastres naturales presentados. Así mismo, ocupa el décimo lugar entre los departamentos con mayor afectación en vías por deslizamiento de tierras (Departamento Nacional de Planeación, 2015). Presenta una alta tasa de mortalidad por eventos naturales, la cual asciende en el 2014 a 1,20 x 100 mil habitantes en el año 2014.

El Departamento está seriamente expuesto a amenazas naturales, por lo cual en el año 2015 el nivel de afectación recibió un rango de calificación de alto, según datos de la Secretaría del Interior UDEGERD. En el 2016, 6 municipios del Quindío reportaron a la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD, afectaciones por desabastecimiento de agua en las zonas rurales, y según el IDEAM, se debe al fenómeno del niño. (Departamento Nacional de Planeación, 2016).

En particular, estas cifras permiten evidenciar la posición de vulnerabilidad del Departamento de Quindío ante fenómenos naturales tales como inundaciones y sismos.

Dentro de los procesos adelantados por el periodo administrativo del Sr Gobernador Carlos Eduardo Osorio Buriticá (2016-2019) se viene registrando por parte de la Unidad departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres, el observatorio departamental en gestión del Riesgo de Desastres, donde para el 2017, mostró las cifras relacionadas en la Tabla 1.

*Tabla 1. Eventos atendidos por las instituciones de primera respuesta*

<b>Eventos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>
Remoción en masa	317	19,4
Fuga de gas natural	111	6,8
Incendio estructural	120	7,3
Incendio vehicular	37	2,3
Inundación	109	6,7
Pérdida de Cubierta	863	52,8
Rescates en todas sus modalidades	50	3,1
Rescate animal	29	1,8
<b>TOTAL</b>	1636	100,0

*Fuente: Observatorio departamental en gestión del Riesgo de Desastres, UDEGERD, 2017*

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

A continuación, en la Figura 2 se muestran los eventos atendidos por los organismos de primera respuesta a nivel departamental, tanto por su misionalidad, como por el apoyo a otras instituciones, donde se identifican las principales situaciones de emergencias que presentan afectación a la comunidad y a la infraestructura Quindiana.

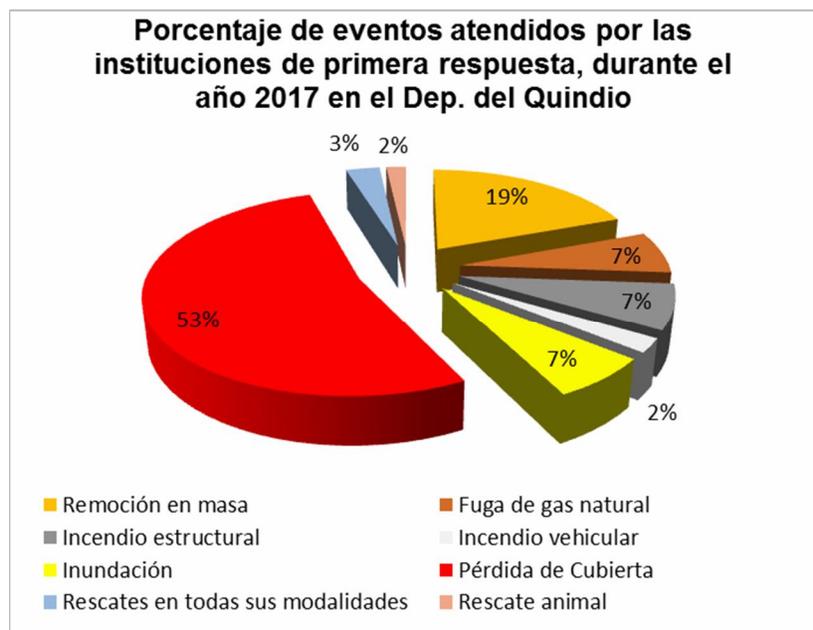


Figura 2. Eventos atendidos por instituciones de primera respuesta.  
 Fuente: observatorio departamental en gestión del Riesgo de Desastres, UDEGERD, 2017.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

3.3. Árbol De Problema

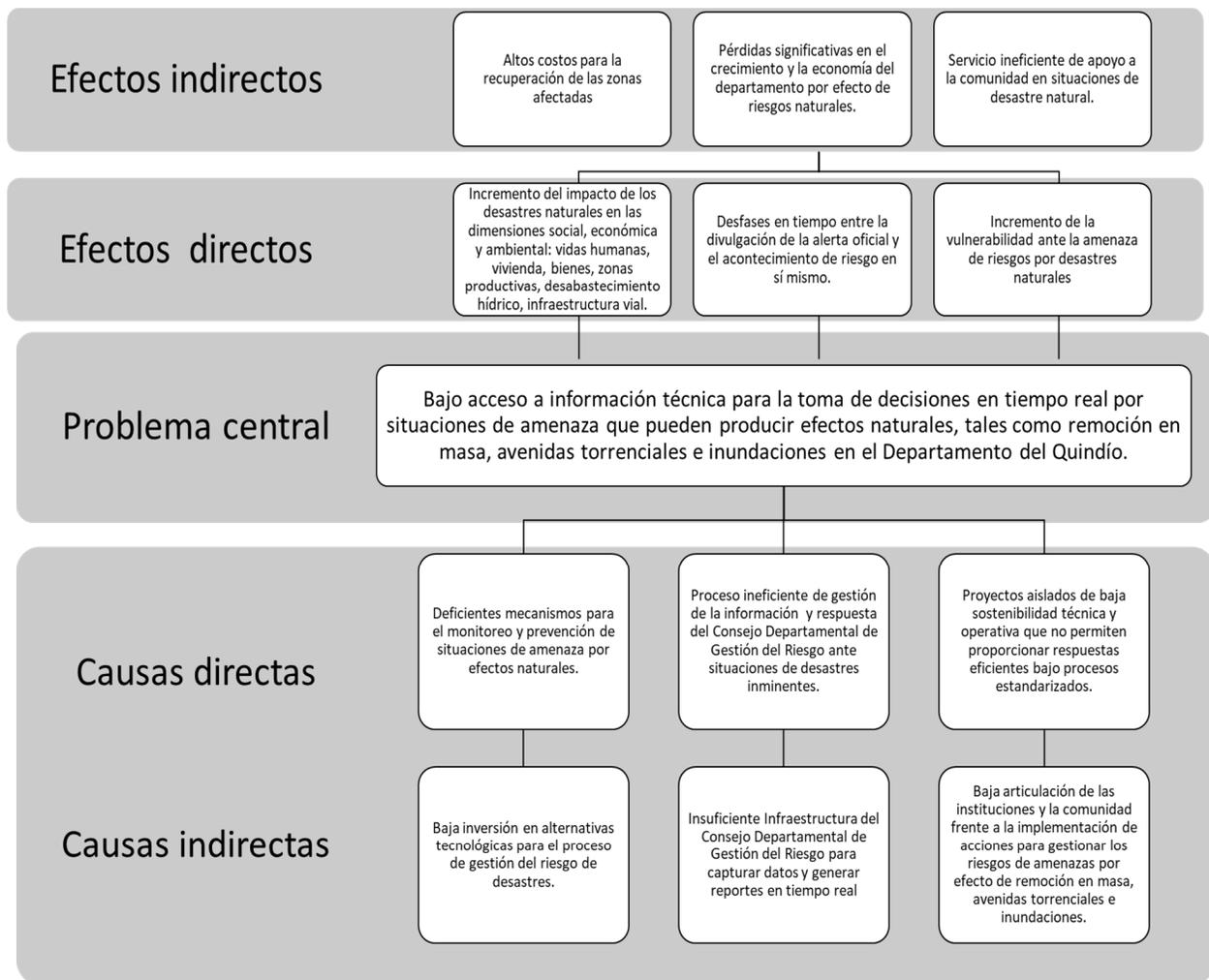


Figura 3. Árbol de Problema  
 Fuente: Elaboración propia.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

#### 4. ANTECEDENTES

Los países con zonas montañosas son vulnerables a ciertos fenómenos que afectan a la población que reside cercana a esta región. Dentro de esos fenómenos se encuentra los deslizamientos de masas, también conocido como remoción en masa o "landslide". Estos han causado grandes daños en la población mundial alrededor de los años. Estudios recientes del "Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)" en el 2016 indican que se presentaron más de 300 desastres naturales en 102 países produciendo alrededor de 7628 muertes y más de U\$41 billones en pérdidas económicas; de estos desastres el 22% correspondió a remoción en masa (CRED, 2016; Aristizábal et. al, 2011). Este informe del CRED muestra que la principal causa son las inundaciones con un 55%, lo cual la hace un fenómeno de alta importancia en temas relacionados con la gestión del riesgo.

Esto ha generado que por parte de entidades gubernamentales se generen sistemas de monitoreos los cuales buscan mitigar los daños que se presentan cuando este fenómeno se presenta, como son los sistemas de alertas temprana – SAT. (Ramírez et al., 2014).

Según un estudio realizado por la Oficina de las Naciones Unidas para la Gestión del Riesgo de Desastres, no se cuenta con información detallada sobre problemáticas específicas, lo que impide la adecuada toma de decisiones, incluso en los casos en que se dispone de procedimientos adecuados; provocando que las comunidades a menudo no respondan oportunamente a las alertas por la falta de capacidad de planificación y de compromiso de la comunidad, de recursos o de opciones de respuesta viables, llegando al agravante de que en algunos lugares, los habitantes hayan recibido la alerta oficial mucho después de acontecida la amenaza, o con desfases notorios de los acontecimientos ocurridos en tiempo real. Otra razón para esta problemática se encuentra en el mal monitoreo y la deficiente evaluación del inicio de las situaciones de amenaza y la poca cultura con relación al aprendizaje de la experiencia de eventos anteriores, para mejorar las políticas y las prácticas operativas en el futuro; así como los problemas que se presentan en los sistemas internos de comunicación y las falencias en relación con los procesos de entrenamiento ante las amenazas. (UNISDR, 2009).

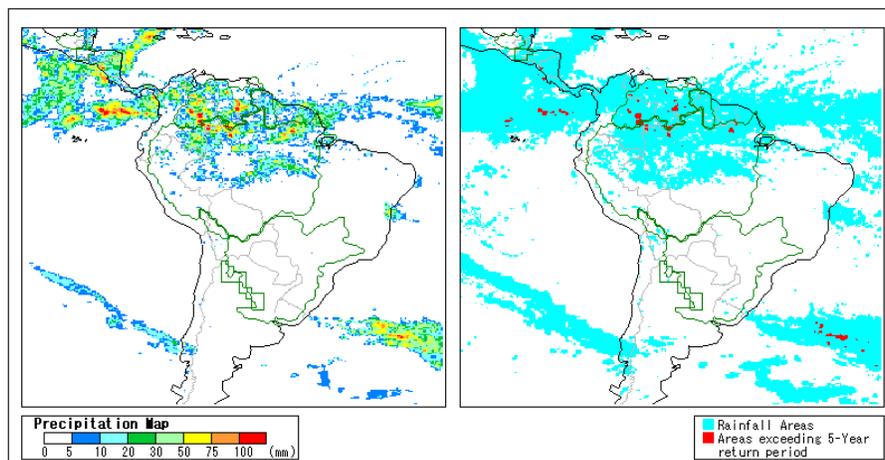
**Entregable 3** Ë Departamento del Quindío  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

En el mundo se han desarrollado diversos sistemas de alerta temprana, en particular de inundaciones, entre las que se destaca el Sistema de Alerta Global para las Inundaciones (GFAS, 2006, citado por Domínguez-Calle, E., Lozano-Baez, S., 2014). Suministra información útil de libre acceso, realiza predicciones y lanza alertas. Cuenta con mapas que muestran la información sobre las precipitaciones por periodos y hace seguimiento y monitorización de algunos ríos, embalses y lagunas.

El Ministerio de Tierra, Infraestructura y Transporte de Japón (MLIT) y la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA), brindaron soporte al Instituto de Desarrollo de Infraestructura (IDI) -Japón para desarrollar un sistema de información basado en la Internet (Global Flood Alert System -GFAS) para realizar estimaciones globales de precipitación satelital para la predicción y advertencia de inundaciones. El GFAS fue diseñado para operar a partir de las estimaciones de precipitaciones satelitales de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) convirtiéndola en información útil para predicción y advertencia de inundaciones, como mapas de lluvia regionales y globales, datos de texto y proporciona información de lluvia intensa por estimaciones de probabilidad de precipitación (Infrastructure Development Institute(IDI), 2006).

Area : South America

As at 00:00, 06 07 2015 (GMT)



*Figura 4. Mapa de Precipitación - Sur América.*

*Fuente: Gobar Flood Alert System (Infrastructure Development Institute(IDI), 2006).*

La estimación de precipitación satelital que utilizaba el GFAS es "3B42RT", un producto de la Misión de medición de precipitación tropical (TRMM) y análisis de precipitación multisatélite calculado en tiempo real (TMPA-RT). Estas estimaciones se han desarrollado y calculado casi en





**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

- Centro de **recopilación de datos hidrológicos del EFAS** : REDIAM (ES) y ELIMCO (ES) recopilan datos históricos y en tiempo real sobre la descarga y el nivel del agua en toda Europa.
- **Centro de recogida de datos meteorológicos EFAS** : KISTERS AG y Deutscher Wetterdienst recopilan datos meteorológicos históricos y en tiempo real.

Existen otros proyectos tales como HYDRATE, liderado por la Unión Europea, que basa sus predicciones en la medición y análisis de la humedad del suelo y emplea modelos hidrológicos distribuidos. En su metodología propone combinar una guía para las inundaciones repentinas con el método de umbral de escorrentía y el índice de diagnóstico de crecidas repentinas (Flash Flood Diagnostic Index, FFDI) (Borga, et al., 2011, citado por Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014).

El objetivo de HYDRATE es mejorar la base científica de la predicción de crecidas repentinas ampliando la comprensión de este tipo de eventos, proyectando estrategias innovadoras de observación de crecidas repentinas en toda Europa y desarrollando un conjunto coherente de tecnologías y herramientas para sistemas eficaces de alerta temprana. Así mismo, pretende mejorar la capacidad de pronosticar inundaciones repentinas en cuencas no explotadas mediante la explotación de la disponibilidad extendida de datos de inundaciones repentinas y la comprensión mejorada del proceso.

Está constituido por nueve (9) universidades socias, siete (7) centros de investigación gubernamentales y una (1) PYME. Representan a ocho (8) Estados miembros, un (1) Estado candidato asociado y tres (3) terceros países. Por lo tanto, los resultados de HYDRATE se beneficiarán al reunir conocimientos internacionales y experiencia científica y llevar a avances en la estrategia de observación para su implementación no solo en Europa, sino a nivel internacional.

Para el caso de Colombia, existen estudios que han revisado esta temática, como el realizado en el año 2012 por el Banco Mundial en donde se tiene que en los últimos 40 años se han presentado desastres que produjeron pérdidas por US\$ 7.100 millones, los cuales entre 1970 y el 2011 suman alrededor de más de 28.000 eventos de este tipo. De estos fenómenos el 36% correspondieron a inundaciones y remoción de masas. Este informe muestra además en la figura 7 el área y población expuesta a riesgo de desastres de acuerdo con informes obtenidos por la Corporación OSSO en el año 2011 (Banco Mundial, 2012).

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

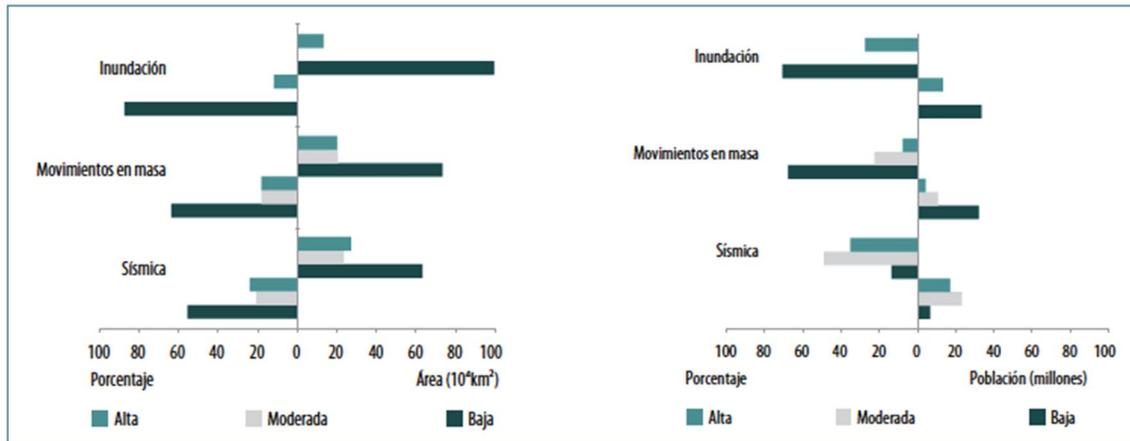


Figura 7. Área y población expuesta a desastres en Colombia.  
Fuente: Informe del Banco Mundial, 2012.

El Gobierno Nacional, teniendo como antecedentes las temporadas invernales del año 2010-2011, propone las nuevas políticas de Gestión del Riesgo de Desastres en Colombia, además de establecer un nuevo Sistema Nacional de Gestión del Riesgo, incorporando a la estrategia la Prevención y Atención de Desastres. Es así, como en el mes de noviembre del año 2011 se crea la nueva UNIDAD NACIONAL DE GESTION DEL RIESGO DE DESASTRES UNGRD, (Decreto 4147/11) y en el mes de Julio de 2012 se aprueba la ley 1523, que adopta las nuevas políticas nacionales en Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

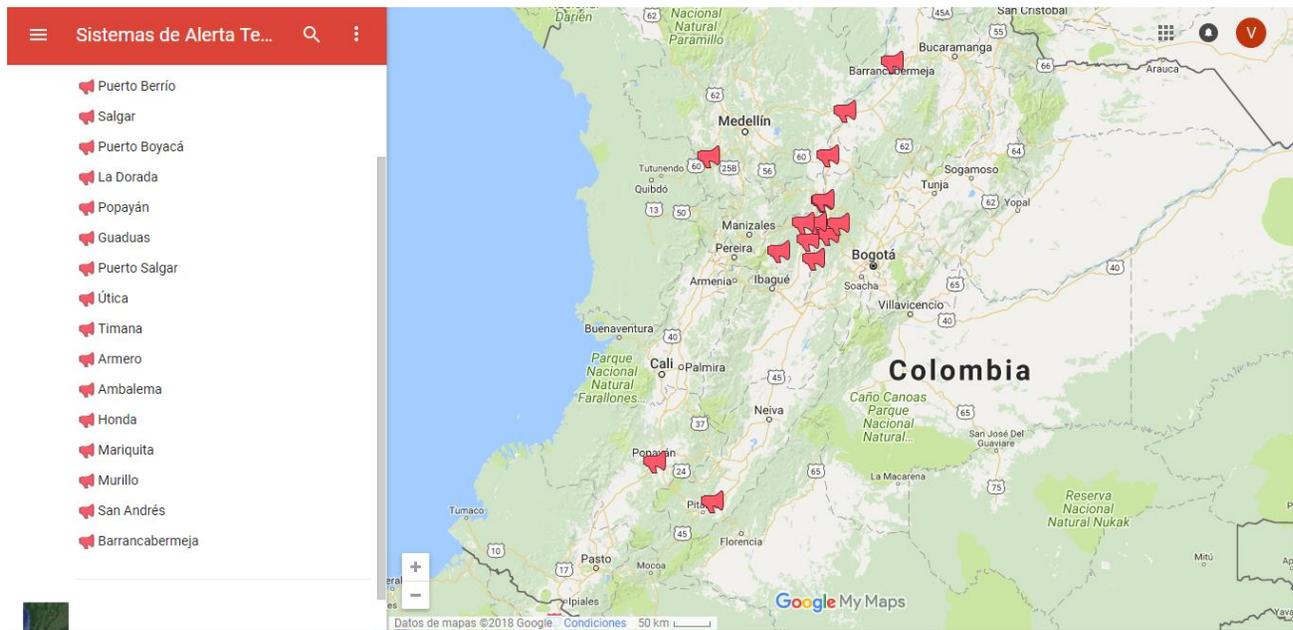
Esta ley incorpora la Gestión del Riesgo, definiciones, conceptos y el SNGRD, y hace énfasis en la importancia y obligación que los entes territoriales tienen en la construcción de los PLANES TERRITORIALES DE GESTION DEL RIESGO, y LAS ESTRATEGIAS PARA LA RESPUESTA A EMERGENCIAS, además de los Planes de Recuperación, la creación de los Consejos Territoriales de Gestión del Riesgo y los tres Comités interinstitucionales, de Reducción del Riesgo, Conocimiento del Riesgo y el Manejo de Desastres, y los Fondos territoriales de Gestión del Riesgo.

La UNGRD es el ente que dirige la implementación de la gestión del riesgo de desastres, atendiendo las políticas de desarrollo sostenible, y coordina el funcionamiento y el desarrollo continuo del sistema nacional para la prevención y atención de desastres – SNPAD.

Según la UNGDR, en Colombia existen 16 sistemas de alerta temprana para el monitoreo de los niveles de crecimiento o decrecimiento de agua en el río o quebrada. Los sistemas en general

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

manejan también flujo de lodos y tienen sirenas de alarma junto con bocinas que permiten transmitir voz para dar indicaciones en caso de emergencia (Unidad Nacional de Gestión del Riesgo, 2017).



*Figura 8. Localización Sistemas de Alerta Temprana en Colombia.*  
*Fuente: Unidad Nacional de Gestión del Riesgo (Unidad Nacional de Gestión del Riesgo, 2017)*

Los sistemas de alerta temprana se han venido desarrollando en Colombia desde 1976, y la primera experiencia la tuvo el Servicio Colombiano de Hidrología y Meteorología (SCMH), el cual se basaba en el modelo Sacramento y operaba con tarjeta perforada para procesar la información proveniente de radios y teléfonos. Este sistema suministraba datos cuantitativos y daba apoyo a los organismos de socorro en la temporada.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) presenta un reporte técnico diario de alertas ambientales de origen hidrometeorológico y genera boletines especiales para eventos extraordinarios. Estos pronósticos se basan en dos modelos de mesoescala: el modelo de Weather Research and Forecasting (WRF) y el modelo de mesoescala y microescala V5 (MM5), los cuales utilizan como datos de entrada los suministrados por el modelo de baja resolución de la NOAA, conocido como GFS (Global Forecast System). Tales modelos generan las predicciones climáticas para las regiones naturales (Caribe, Pacífico, Andina, Insular, Orinoquia y Amazonia) a corto (mes actual), mediano (uno y dos meses siguientes) y largo plazo (tres a cinco meses siguientes), y en cada una de ellas se incluye la

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

probabilidad de ocurrencia de los fenómenos, información sobre los niveles de los ríos e información sobre la precipitación, los deslizamientos e incendios que se presenten en el contexto regional (Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014).

En el año 2015, la Unidad Nacional desarrolló un sistema de alerta temprana para inundaciones en Popayán que permitirá monitorear el río Molino en su travesía por la ciudad, logrando con esto el mejoramiento de los procesos por eventos de inundaciones en zonas urbanas. Es un sistema de alerta sonora y perifoneo que cuenta con dos sensores que suministrarán información de las condiciones hidrometeorológicas sobre la cuenta del río Molino (Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, 2015).

Otra de las zonas beneficiadas es la cuenca del Río Magdalena, en la cual se implementó un Sistema de Alerta Temprana para prevenir las posibles emergencias que se puedan presentar con este afluente que pongan en peligro a la comunidad que se asienta en los alrededores. Este SAT forma parte de un gran mecanismo de prevención que se despliega a lo largo del río y que incluye 44 estaciones sonoras, en 6 departamentos (Tolima, Caldas, Boyacá, Santander, Cundinamarca y Antioquia). Los Sistemas de Alerta Temprana, son mecanismos implementados para dar aviso a la comunidad antes de que se presente una creciente, o cualquier otro tipo de evento, que pongan en riesgo la vida e integridad de las personas (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo, 2017).

La Universidad de Pamplona y la UNGRD, con el apoyo de la Gobernación del Norte de Santander y la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental – CORPONOR - desarrollaron el proyecto “Sistema de Alerta Temprana ante eventos climáticos extremos (SATC) en Norte de Santander”, bajo el cual se crea la Red de Monitoreo Hidroclimático y se definen los protocolos de articulación del SATC con el Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres de Norte de Santander y los Consejos Municipales. Su propósito apuntaba a desarrollar una capacidad instalada para el monitoreo, análisis y generación de alertas tempranas ante eventos climáticos extremos, e incluye una plataforma que permite visualizar en tiempo real los datos de 9 estaciones meteorológicas y de una hidrológica, acompañada de información de nubosidad actual (Satélite GOES ) e información de lluvias en las últimas 3-24-72 horas y 3 o 7 días (Satélite TRMM) (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo, 2015).

En el Departamento de la Guajira la Cruz Roja Colombiana (Seccional Guajira) en convenio con la Corporación Autónoma Regional de la Guajira (Corpoguajira), implementaron un sistema de

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

alerta temprana cuyo propósito es monitorear permanentemente las condiciones hidrometeorológicas en el departamento y mantener informadas y en alerta a las comunidades. Cuenta con 10 estaciones análogas medidoras de precipitación y temperatura en el flanco nororiental de la Sierra Nevada de Santa Marta; 4 estaciones meteorológicas satelitales y 6 medidores de nivel ubicados en los puentes (Colombiana, 2016).

Se constituyó para su gestión una oficina de vigilancia y monitoreo ubicado en la sede de la Cruz Roja Colombiana Seccional Guajira en la ciudad de Riohacha, la cual elabora y emite los informes diarios de pronóstico del tiempo de todo el Departamento, con base en modelos meteorológicos, detallando el comportamiento de los 15 municipios.

En el Distrito Capital de Bogotá se implementó un SAT que se articula a través de la acción de un amplio conjunto de entidades públicas, recientemente agrupadas para conformar el Sistema Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático (SDGR-CC) mediante el acuerdo 546 de 2013, el cual creó, así mismo, el Fondo Distrital para la Gestión de Riesgo y Cambio Climático (FONDIGER). La institución distrital encargada del sistema es el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER).

Este sistema de alerta temprana está conformado por la Red de Acelerógrafos de Bogotá (RAB), la cual registra las aceleraciones que se producen en el terreno cuando se presentan sismos y cuenta con 30 acelerógrafos digitales marca KINEMATRICS distribuidos en toda el área urbana de la ciudad; de estos aparatos, 28 son modelo ETNA y los dos restantes son modelo K2. Además, existe la Red Hidrometeorológica de Bogotá (RHB), la cual consta de 27 estaciones para el monitoreo de las variables hidrometeorológicas y los niveles de los ríos ubicados en el perímetro urbano; las estaciones funcionan 24 horas al día los 365 días del año. Los equipos cuentan con sistemas automáticos de registro, almacenamiento y transmisión de la información a la base del IDIGER, donde es analizada y utilizada para generar alertas a la comunidad (SIRE, 2014). Otro elemento importante es el Sistema de Información Sísmica Básica (Sisbog-Daño). Este es un sistema de cómputo especializado en el análisis de daños tras la ocurrencia de un terremoto y tiene las siguientes funciones: a) visualización de toda la información básica general de la ciudad; b) evaluación de la respuesta dinámica de los suelos en la superficie; c) evaluación aproximada de los daños en todas las edificaciones de la ciudad, y d) envío de informes a los tomadores de decisiones y a los diferentes medios de comunicación (Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014).

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

El Sistema de Alerta Temprana Ambiental (SIATA) tiene como área de influencia la ciudad de Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, y cuenta con el apoyo y los aportes de las Empresas Públicas de Medellín (EPM) e ISAGEN. El principal objetivo del SIATA es alertar de manera oportuna a la comunidad sobre la probabilidad de ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo que pueda generar una situación de emergencia. Realiza monitoreo permanente de las variables atmosféricas, las cuencas y las laderas de la región. Su enfoque está basado en sistemas, entre los que se encuentran la red hidrometeorológica, conformada por 66 estaciones pluviométricas, la red de sensores de nivel (66), que toma los datos de humedad, temperatura y conductividad eléctrica en el suelo y está conformada por 30 sensores de humedad; la red de cámaras en vivo (live streaming), conformada por siete cámaras; tres radares, uno en el Área Metropolitana y dos de la Aerocivil ubicados en Corozal, Sucre, y el otro en Bogotá, y otras redes como la Red Acelerográfica de Medellín (RAM), la Red Acelerográfica del Valle de Aburrá (RAVA) y la Red de Calidad de Aire del Área Metropolitana. Cada una de las estaciones transmite en tiempo real con el propósito de asegurar el flujo continuo de información hacia el servidor, para posteriormente difundirla a través de diferentes medios digitales (Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014).

Para el caso del departamento del Quindío desde décadas se tienen registro de fenómenos tales como remoción de masa, avenidas torrenciales e inundaciones que han causado daños y pérdidas en esta zona.

En ese sentido, el departamento ha venido implementando procesos de monitoreo y alerta a través de diversos mecanismos:

- Vigías comunitarios de gestión del riesgo.
- Alertas hidrometeorológicas IDEAM
- SAT Cruz Roja proyecto LARRA Boquía Salento y Córdoba.
- Alertas Servicio Geológico Colombiano boletines extraordinarios y boletines semanales

A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno de ellos.

#### Vigías comunitarios de gestión del riesgo

La Ley 1523 de 2012 en el Artículo 2º Trata sobre la responsabilidad de la gestión del riesgo, indicando que corresponde esta tarea a todas las autoridades y a todos los habitantes del

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

territorio colombiano. No podemos desconocer que la comunidad cumple un papel importante en la detección temprana de cualquier tipo de evento o emergencia, convirtiéndose en un canal de comunicación muy relevante y necesario para generar un llamado de alerta y la verificación de la información, pudiendo evitar la presencia de un fenómeno adverso o minimizando su impacto negativo a las comunidades vecinas.

Un vigía comunitario es una persona de la comunidad, que reside principalmente en zonas rurales, aledañas a corrientes hídricas, especialmente en áreas susceptibles a fenómenos naturales o antrópicos que puedan generar una situación de emergencia, tales como (Inundaciones, avenidas torrenciales, deslizamientos, incendios forestales, entre otros) o en áreas con alta influencia de las corrientes hídricas sobre los centros poblados, donde la comunidad puede alertar sobre cualquier fenómeno irregular que altere y afecte el normal desarrollo del cuerpo hídrico.

La Red de Vigías Comunitarios de Gestión del Riesgo de Desastres funciona principalmente gracias al carácter voluntarioso de los habitantes de las zonas de influencia.

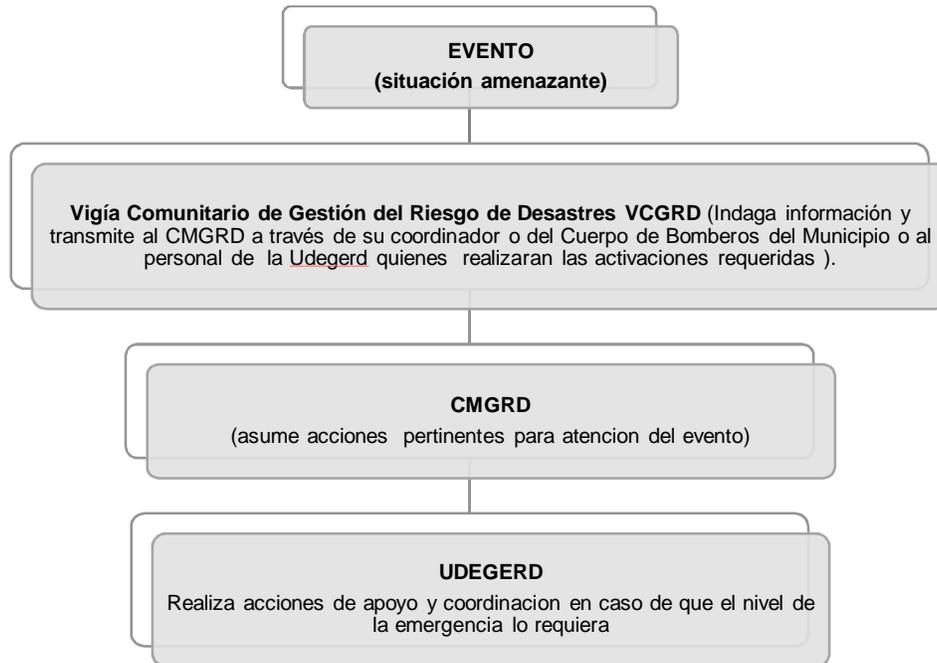
Las actividades principales de los vigías son:

- Estar atentos a cualquier cambio que se presente en las corrientes hídricas y posibles deslizamientos que puedan ocasionar represamientos a los ríos o quebradas en las zonas rurales.
- Reportar cualquier evento adverso de origen natural y/o antrópico no intencional que amenace la vida de las personas, los bienes y el medio ambiente.
- Fomentar y promover acciones de prevención, detección y reporte de eventos en la comunidad a la que pertenecen.

El vigía comunitario identifica una situación de riesgo y se comunica inmediatamente por medio de una llamada telefónica al CMGERD a través del Cuerpo de Bomberos del Municipio, con el coordinador municipal de Gestión del Riesgo y alternamente al profesional encargado de la Unidad Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres del Departamento UDEGERD Quindío, a los números: 3202407275 o 3225954892. Se confirma la información suministrada por el vigía y los Coordinadores de los CMGERD, activan la Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias, de acuerdo al tipo de Evento.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

La Gobernación del Quindío, apoya técnicamente a los COMGERD con el grupo de profesionales de la UDEGERD, Si este es requerido por el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo en cabeza del Alcalde Municipal.



*Figura 9. Flujo de la información.  
Fuente: UDEGERD (2018).*

### Alertas hidrometeorológicas por el IDEAM

El IDEAM, pone a disposición del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y la comunidad en general, el informe técnico diario de alertas ambientales de origen hidrometeorológico; de Igual manera, se pueden consultar los informes anteriores. En caso de eventos extraordinarios que puedan ser detectados por nuestra red ambiental, se publicará un comunicado especial. Se debe tener en cuenta que esta es una información indicativa de orden nacional; para situaciones puntuales favor remitirse a los comunicados que emitan los Comités Locales y Regionales de Prevención y Atención de Desastres.

Esta información llega de forma diaria al correo electrónico institucional de la UDEGERD, donde posteriormente la información se analiza y se extrae lo referente al contexto departamental, y después se transmite mediante grupo oficial de la aplicación whatsapp y correos institucionales con los coordinadores municipales e instituciones de socorro del Departamento.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**



*Figura 10. Boletines Ideam.*  
*Fuente: www.ideam.com.co*

S.A.T. Cruz Roja proyecto LARRA Boquía Salento y Córdoba.

El Proyecto LARRA fue desarrollado por la Cruz Roja Colombiana Seccional Quindío, con financiación de la Cruz Roja Americana, que consistió en generar habilidades comunitarias para la reducción del riesgo. Como elementos que actualmente funcionan en el departamento, se encuentran 2 SAT de medición de niveles de río y sirenas y altoparlantes; esta infraestructura se encuentra en la vereda Boquía del municipio de Salento, sobre el cauce del río Quindío, y la otra está en el municipio de Córdoba como sistema de evacuación de una eventual erupción del volcán cerro Machín.

Esta infraestructura actualmente es operada por la Cruz Roja Colombiana Seccional Quindío, con interlocución permanente al Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de desastres.



*Figura 11. Torre SAT en Córdoba ó Quindío.*  
*Fuente: UDEGERD (2018).*

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**



*Figura 12. SAT en Boquía, Salento - Quindío, Cauce del río Quindío en la cuenca media Alta.  
Fuente: UDEGERD (2018).*

### Alertas Servicio Geológico Colombiano boletines extraordinarios y boletines semanales

La Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) del Servicio Geológico Colombiano, se encarga de dar una alerta temprana a la ocurrencia de un evento sísmico en el territorio nacional, además lidera las investigaciones sismológicas en el país. La información generada en las redes de monitoreo del Servicio Geológico Colombiano, al hacer parte de las redes de monitoreo y alerta temprana del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD), es insumo fundamental en los procesos de reducción de desastres. Es así como la localización de los sismos que tienen la potencialidad de causar daño o generar tsunamis es dada a conocer a los integrantes del SNGRD, a fin de activar los planes de contingencia y emergencia a nivel municipal, departamental y nacional.

Por otro lado, el Servicio Geológico Colombiano, emite de forma semanal o en situación extraordinaria, con referencia a los cambios de actividad y comportamiento del Volcán Cerro Machín y el Volcán Nevado del Ruiz y Volcán Nevado del Tolima; esta información es enviada mediante correo electrónico a la UDEGERD, y de allí compartida a los municipios y organismos de control y socorro.

Este es un sistema de Alerta que envía el SGC por intermedio del observatorio vulcanológico y sismológico de Manizales, activando desde allí el sistema de información a las autoridades departamentales y municipales mediante correo electrónico y llamadas telefónicas según sea el caso.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

## 5. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN DESEADA

### 5.1. Objetivo general

Desarrollar un prototipo de sistema de alerta temprana en gestión del riesgo de desastres para mitigar los efectos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación en los municipios de Calarcá, Pijao y Salento, en el Departamento del Quindío.

#### 5.1.1. Indicador del objetivo general

Tabla 2. Indicador del Objetivo General

Indicador objetivo	Medido a través de	Meta	Tipo fuente	Fuente de verificación
Sistema de Alerta Temprana para la gestión del riesgo de desastres en el departamento del Quindío	Número	1	Informe	Unidad Departamental para la Gestión del Riesgo de desastres del Departamento del Quindío
Sistema de Alerta Temprana para la gestión del riesgo de desastres en el departamento del Quindío en funcionamiento	Porcentaje	100%	Informe	Unidad Departamental para la Gestión del Riesgo de desastres del Departamento del Quindío

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2. Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema de monitoreo de variables ambientales que permita mitigar los efectos producidos por remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones y en el departamento del Quindío.
- Implementar un sistema de información que permita gestionar las alertas ante la presencia de los eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el departamento del Quindío.
- Validar el funcionamiento del sistema de alerta temprana para determinar su comportamiento en condiciones reales en el departamento del Quindío.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

### 5.2.1. Indicadores de objetivos específicos

Tabla 3. Indicadores Objetivos Específicos

Objetivo	Código: Catálogo Guía Sectorial	Indicador objetivo	Medido a través de	Meta	Fuente de verificación
Desarrollar un sistema de monitoreo de variables ambientales que permita mitigar los efectos producidos por remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones y en el departamento del Quindío.	390300222	Prototipos desarrollados *	Número	1	UDEGERD
	N.D.	Proyectos financiados para el desarrollo tecnológico y la innovación *	Número	1	N.D.
Implementar un sistema de información que permita gestionar las alertas ante la presencia de los eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el departamento del Quindío.	N.D.	Organizaciones beneficiadas a través de la estrategia de gestión de la I+D+i*	Número	1	UDEGERD
	390300222	Prototipos desarrollados*			
	390300216	Plataforma tecnológica desarrollada*	Número	1	
Validar el funcionamiento del sistema de alerta temprana para determinar su comportamiento en condiciones reales en el departamento del Quindío.	N.D.	Procesos certificados por área de conocimiento/especialidad*	Número	1	UDEGERD
	390300205	Productos tecnológicos certificados o validados (Diseño industrial, esquema de circuito integrado, software, planta piloto, prototipo industrial, signos distintivos)	Número	1	
	390300514	Actividades de difusión de nuevas tecnologías o innovaciones realizadas.	Número	1	

\* Vinculados a la MGA, el resto de indicadores corresponden a la matriz del catálogo de indicadores.

Fuente: Elaboración Propia

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

5.3. Árbol de Objetivos

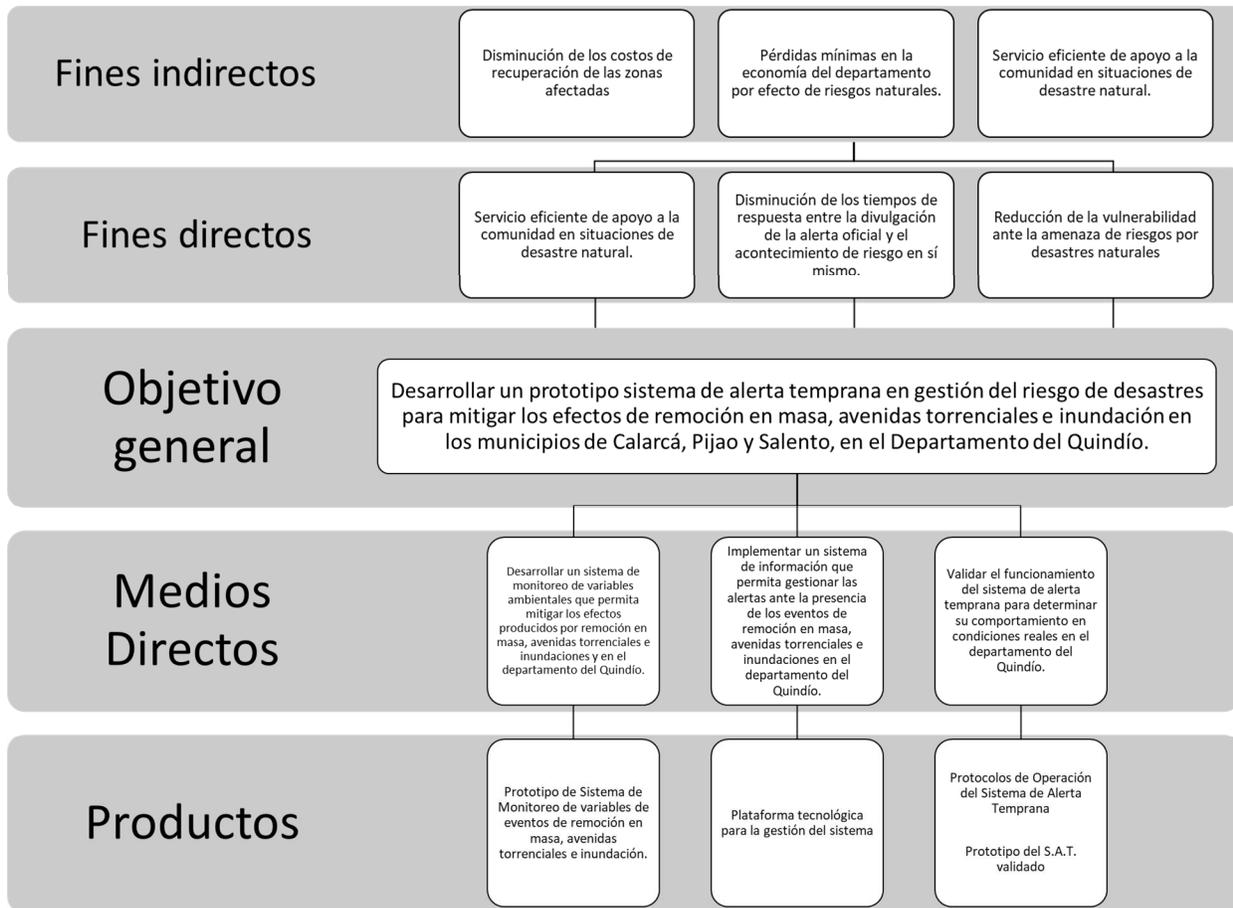


Figura 13. Árbol de Objetivos  
 Fuente: Elaboración Propia

6. JUSTIFICACIÓN

El departamento del Quindío presenta características particulares en su topografía que le dan una alta condición de vulnerabilidad debido al efecto adverso de diversos fenómenos naturales que causan un gran impacto en la población, en su crecimiento y en su desarrollo económico. Con base en las estadísticas registradas por entidades como el IDEAM, la Unidad Nacional y Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres, el Sistema Geológico Colombiano, el Departamento Nacional de Planeación, entre otros, la Gobernación ha priorizado tres eventos naturales por su impacto y frecuencia de ocurrencia: remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

La exposición a estos eventos trae consigo pérdidas de vidas humanas, altos costos de recuperación, daños en la infraestructura vial, afectaciones en actividades productivas como la agricultura, entre otras. Actualmente, el departamento cuenta con algunos mecanismos de alerta y monitoreo que no generan información suficiente y en tiempo real para el proceso de toma de decisiones y la toma de acciones rápidas para mitigar o prevenir el impacto de estos eventos. Dentro del Plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres y en concordancia con los lineamientos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD, se proyecta la implementación de un Sistema de Alerta Temprana.

Según las cifras emitidas por el Observatorio los eventos que se presentan en mayor proporción y los cuales pueden ser priorizados para iniciar procesos de mitigación con sistemas de alertas tempranas son: la pérdida de cubiertas causada por fuertes temporales (vendavales) 52,8%, movimientos de remoción en masa 19,4% y finalmente las inundaciones con 6,7%.

Pese a que la pérdida de cubiertas presenta un mayor porcentaje, la afectación de vendavales genera pérdidas físicas y de infraestructura, mientras que la afectación por fenómenos de remoción en masa e inundaciones generan pérdidas de vidas humanas, por lo cual el departamento destaca los eventos de movimiento de masas, avenidas torrenciales e inundación como prioridad para la implementación de acciones de intervención.

Bajo este escenario, la gestión adecuada del riesgo de desastres se convierte en una prioridad para el Departamento, propendiendo por el bienestar de la comunidad y de la región, para lo cual se requiere del desarrollo de soluciones o estrategias que contribuyan a la prevención, reducción, monitoreo y control permanente y en tiempo real de estos fenómenos, así como a la respuesta inmediata ante situaciones extremas de inundaciones, avenidas torrenciales y remoción en masa, producidas principalmente por efectos del cambio climático.

Es así como, este proyecto pretende dar respuesta a la problemática planteada, desde la aplicación de la ciencia, la tecnología y la innovación, a través del desarrollo de un prototipo de sistema integral de alerta temprana que genere información en tiempo real del comportamiento de tres puntos priorizados donde se presentan amenazas producidas por remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones. Esta información soportará un adecuado y eficiente proceso de toma de decisiones y mejorará la capacidad para responder

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

ante situaciones de riesgo, con la participación de la comunidad y las entidades locales y nacionales pertinentes.

Es también de gran importancia desarrollar acciones que sensibilicen, expliquen y permitan el entendimiento de la vulnerabilidad como causa del riesgo y por lo tanto del desastre. La población debe tomar conciencia que el riesgo es posible intervenirlo o modificarlo al disminuir las condiciones de vulnerabilidad y comprender que los fenómenos de la naturaleza son amenazas en la medida en que los asentamientos humanos sean vulnerables (Gobernación del Quindío UDEGERD, 2015).

El departamento, busca generar una mayor articulación entre los diferentes actores o entidades encargadas de responder ante situaciones de emergencia (públicas, privadas y comunitarias), con el propósito de incentivar la participación, una mejor coordinación, la optimización de los recursos y flujos de información precisa y en tiempo real para un adecuado proceso de toma de decisiones (Gobernación del Quindío, 2016).

El propósito de este proyecto es proporcionar grandes beneficios en términos de:

- Disminución de pérdidas de vidas humanas.
- Reducción de la vulnerabilidad del departamento ante eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones.
- Disminución del impacto negativo en las actividades económicas de la población objeto de intervención.
- Reducción de los efectos adversos de estos eventos en el medio ambiente.
- Mejorar la capacidad de monitoreo y pronóstico de las amenazas producidas por eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones.
- Toma de decisiones con información veraz, precisa y confiable, en tiempo real.
- Reducir los tiempos de evacuación, al mejorar la capacidad de divulgación de la alerta y fortalecer la capacidad comunitaria para entender y reaccionar ante esta.
- Incrementar la cobertura, en cuanto al número de ciudadanos que reciben la alerta.

## **7. CONTRIBUCIÓN A LA POLÍTICA PÚBLICA**

El Programa Alto Impacto Colombia CTel – SGR surge como respuesta a la necesidad de los departamentos de solucionar problemáticas sociales, económicas y ambientales, con base en la implementación y apropiación de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, considerando sus

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

políticas territoriales, la vocación y el ecosistema productivo, el impacto al desarrollo económico y social, y las capacidades instaladas en CTel.

En ese sentido, el presente proyecto se enmarca en las políticas nacionales, departamentales y municipales en términos de la gestión del riesgo de desastres y contribuye al cumplimiento de metas y objetivos del departamento del Quindío, los cuales se describen a continuación.

### **7.1. Nacional**

#### **Plan Nacional de Desarrollo: (2014-2018) Todos por un nuevo país (Departamento Nacional de Planeación, 2014)**

La presente propuesta es pertinente con la Estrategia Transversal: Crecimiento Verde, del Plan Nacional de Desarrollo, en el siguiente objetivo:

Objetivo 3: lograr un crecimiento resiliente y reducir la vulnerabilidad frente a los riesgos de desastres y al cambio climático. Avanzar hacia un modelo de crecimiento verde en la medida que contribuye a reducir pérdidas económicas, superar la condición de pobreza, mejorar las condiciones de vida de la población, aumentar la competitividad del país y, en el largo plazo, reducir la vulnerabilidad fiscal del Estado frente a los desastres.

Programa: Gestión del cambio climático para un desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima.

### **7.2. Departamental**

#### **7.2.1. Plan de Desarrollo Departamental – En defensa del Bien Común – 2016-2019 - Departamento de Quindío (Gobernación del Quindío, 2016).**

El Proyecto apunta a los siguientes ejes estratégicos y programas del plan de desarrollo departamental.

**Eje estratégico: Desarrollo Sostenible.** Movilizar a la sociedad del departamento del Quindío en torno a la protección y conservación del patrimonio natural como fuente de vida, de desarrollo sostenible y de construcción de paz.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

**Programa No. 3: El Quindío Departamento Resiliente.** Objetivo: adoptar medidas con el propósito de realizar una mejor adaptación y preparación para la posible ocurrencia de desastres socio-naturales, ante los retos que implica las transformaciones de la naturaleza en cuanto al clima y otros componentes que la conforman, lo cual conlleva a la recuperación de manera eficaz y en menor tiempo. lo anterior incluye primordialmente fortalecer las instituciones que tienen que ver con la temática, para incrementar la eficiencia en la gestión a realizarse, en cuanto al riesgo se refiere.

**Subprograma Quindío protegiendo el futuro (3.1.).** Objetivo: Implementar iniciativas tendientes a poner en marcha acciones que nos permitan garantizar la disponibilidad de agua para atender emergencias y adoptar metodologías de gestión del riesgo encaminadas a la adaptabilidad al cambio climático; lo anterior requiere obtener el conocimiento del riesgo de desastres por fenómenos de origen natural, generar la política de gestión de riesgos para planteles educativos de todo el Departamento e impartir educación comunitaria en resiliencia y componentes de preparación.

*Tabla 4. Indicadores Plan de desarrollo Departamento del Quindío*

META	LÍNEA BASE	LÍNEA ESPERADA 2019	INDICADOR
Apoyar a los doce (12) municipios del departamento en procesos de educación a las comunidades frente a la prevención y preparación para las emergencias por fenómenos de origen natural y/o antrópico no intencional	ND	12	Número de municipios en procesos de educación a las comunidades apoyados
Fortalecer el comité departamental de gestión del riesgo de desastres	1	1	Comité departamental de gestión del riesgo de desastres fortalecido

*Fuente: (Gobernación del Quindío, 2016)*

**Subprograma fortalecimiento institucional para la gestión del riesgo de desastres como una estrategia de desarrollo (3.2.).** Objetivo: Fortalecer y mejorar la Oficina de Gestión del Riesgo en Desastres, Centros Operativos e impulsar Fondo Departamental de Gestión del Riesgo.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

Tabla 5. Indicadores Plan de desarrollo Departamento del Quindío

METAS DE PRODUCTO META	LÍNEA BASE	LÍNEA ESPERADA 2019	INDICADOR
Poner en funcionamiento operativo la sala de crisis del Departamento	1	1	Sala de crisis del departamento funcionando
Fortalecer la dotación de la bodega estratégica de la Unidad Departamental de la Gestión del Riesgo de Desastres UDEGER	1	1	Unidad Departamental de la Gestión del Riesgo de Desastre UDEGER dotada

Fuente: (Gobernación del Quindío, 2016)

7.2.2. Plan de Gestión del Riesgo del Departamento del Quindío ( Secretaria del Interior - Unidad Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres - Udegerd - Gobernacion Del Quindío, 2015)

El presente proyecto apunta a los siguientes objetivos y programas del plan de gestión del riesgo del Departamento.

**Objetivo:** Contribuir al desarrollo social, económico y ambiental sostenible del Departamento por medio de la reducción del riesgo asociado con fenómenos de origen natural, socio-natural, tecnológico y humano, así como con la prestación efectiva de los servicios de respuesta y recuperación en caso de emergencia o desastre, en el marco de la gestión integral del riesgo.

**Programa 2:**

**Conocimiento sobre riesgos. Objetivo.** Implementar Sistemas de alerta temprana: Instalar redes de monitoreo de diferentes eventos (naturales, socionaturales y antrópicos), así como el fortalecimiento de los sistemas de comunicación, la organización de la comunidad y los organismos operativos.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

### **7.3. Municipal**

#### **7.3.1. Alcaldía Municipal de Salento – Quindío. Plan de Desarrollo Municipal 2016 – 2019 “Creer en lo que somos” (Alcaldía de Salento - Quindío, 2016).**

El presente proyecto es coherente con los siguientes ejes estratégicos y programas del plan de desarrollo del municipio de Salento.

Artículo 10. Objetivos Generales: Fortalecer los procesos de planificación y ordenación ambiental y territorial, brindando mejores condiciones de protección, conservación, uso, apropiación y manejo sostenible del territorio, al tiempo que fortalece su capacidad de resiliencia en la atención integral de riesgos de desastres.

**Artículo 15. Dimensión 3. Ambiental. Salento, territorio verde y sostenible.** Objetivo: Fortalecer los procesos de planificación y ordenación ambiental y territorial, brindando mejores condiciones de protección, conservación, uso, apropiación y manejo sostenible del territorio, al tiempo que fortalece su capacidad de resiliencia en la atención integral de riesgos de desastres.

**Eje estratégico 3.2. Salento con gestión del riesgo de desastres.** Objetivo: 1. Se fortalecerán las capacidades locales frente a la prevención, mitigación y atención de desastres, 2. Se avanzará en los procesos de planificación y estudios para la prevención del riesgo y disminución de vulnerabilidades, 3. Se apoyarán los organismos de bomberos y socorro de Municipio, 4. Se adelantarán acciones preventivas de formación y sensibilización de las comunidades urbanas y rurales frente a las actuaciones antrópicas en el territorio y la generación de vulnerabilidades y riesgos frente a los eventos naturales.

**Programa 3.2.1. Sistema Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.** Objetivo: Implementación y fortalecimiento del sistema municipal de riesgos de desastres.

#### **7.3.2. Alcaldía Municipal de Pijao. Plan de desarrollo territorial para el periodo 2.016- 2.019 “El gobierno del pueblo” (Alcaldía Municipal de Pijao - Quindío, 2016).**

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

El proyecto es pertinente con los siguientes ejes estratégicos y metas del plan de desarrollo del municipio de Pijao.

**Dimensión. Institucional. Eje Estratégico. Administración Confiable y Sostenible.** Objetivo: 1. Establecer el esquema de ordenamiento territorial para realizar en el corto plazo la proyección vial del municipio, con planeación y mitigación de riesgos; 2. Mejorar las condiciones de los organismos de socorro de la mano de la educación para la disminución del riesgo.

**Programa. Cuidando Mi Territorio (Gestión del Riesgo).** Objetivos; Gestionar los recursos para mejorar las condiciones de los organismos de socorro del municipio; capacitar y actualizar en temas relacionados con prevención del riesgo para la población civil y demás personal que requiera este tipo de conocimiento; fortalecer del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de desastres, con sus comités de conocimiento, reducción del riesgo y manejo de desastres, como eje fundamental para el manejo de los mismos; establecimiento del sistema de alertas tempranas y preparación para la prevención que mejore las condiciones de vida de niños, niñas, adolescentes y jóvenes del municipio, generando mejores estándares de protección.

Indicadores y Metas Eje Administración Confiable y Sostenible. Sector de Competencia: Prevención del Riesgo. Indicador: Establecer un sistema de alarma, monitoreo y seguimiento a las zonas de alto riesgo y desastre para detectar cambios, comportamientos o alteraciones, con convenios con organismos de apoyo.

7.3.3. Alcaldía Municipal de Calarcá. Plan de Desarrollo “Somos el Cambio” 2016-2019.  
(Alcaldía Municipal de Calarcá - Quindío, 2016)

El proyecto apunta a los siguientes ejes estratégicos y líneas de acción del plan de desarrollo del municipio de Calarcá.

**Artículo 11. Dimensión Ambiental y Gestión del Riesgo.** Objetivo: A esta dimensión le corresponde emprender todas las tareas necesarias para la preservación de lo que existe y lograr que el deterioro no avance más en pro de disminuir el riesgo de la permanencia de todos los habitantes.

**Artículo 12. Eje Estratégico: Manejo Sostenible del Ambiente y Gestión Del Riesgo.** 2.1.2 Programa la Gestión del Riesgo, un Compromiso con la Vida. Objetivo del programa: desarrollar acciones dirigidas y encaminadas a la minimización del riesgo, aumentando la capacidad de

**Entregable 3** Ë Departamento del Quindío  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

respuesta de nuestros organismos de socorro, y promoviendo una cultura de gestión del riesgo en la comunidad.

**Líneas de acción:** Procesos formativos y de asesoría a la comunidad e instituciones para la construcción y fortalecimiento de sus planes de emergencia Tomar acciones de prevención de riesgos, mitigar los impactos que pueda ocasionar los desastres por amenazas de riesgo. Realizar seguimientos y evaluaciones a la implementación y operatividad de los planes preventivos de mitigación y superación de emergencias y desastres de la Red Pública Municipal. Reubicar familias localizadas en zonas de riesgo. Realizar Simulacros en prevención y atención de desastres en el municipio. Descontaminación de quebradas

#### **7.4. Articulación con la guía sectorial de programas y proyectos CTel.**

El proyecto se enmarca en la tipología de Innovación y Desarrollo Tecnológico – Innovación de Producto, la cual establece que una innovación de producto es la introducción de un bien o servicio nuevo o significativamente mejorado en sus características o en sus usos posibles. Este tipo de innovación incluye mejoras significativas en las especificaciones técnicas, los componentes o materiales, el software incorporado, la ergonomía u otras características funcionales.

El propósito del proyecto es el desarrollo de prototipo de Sistema de Alerta Temprana para la Gestión del Riesgo de Desastres e implica el desarrollo de un subsistema de monitoreo y estaciones base para tres (3) eventos, a saber, remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones, en tres (3) zonas priorizadas del departamento del Quindío, a partir de la integración de alternativas tecnológicas (nodos sensores) que generan datos y emiten señales de advertencia cuando ocurre una anomalía y que pueden variar acorde a las variables que se desean medir.

Así mismo, incluye el desarrollo de una plataforma tecnológica para la gestión de la información técnica que arrojará el subsistema de monitoreo, cuyos datos permitirán la adecuada toma de decisiones y la emisión de alertas en tiempo real, integrando la información que se genere en las tres (3) zonas, que será centralizada y administrada por la Unidad Departamental para la Gestión del Riesgo – UDEGERD Quindío.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Esta plataforma comprende además la integración de un modelo estadístico que será desarrollado para predecir la ocurrencia de los fenómenos y generar alertas con mayores tiempos de respuesta para evacuaciones o implementación de acciones de mitigación.

Finalmente, se realizará una validación técnica y operativa del prototipo Sistema de Alerta Temprana para asegurar su correcto funcionamiento y verificar que cumpla con los requerimientos establecidos para cada fenómeno, involucrando a las partes interesadas del ámbito local y nacional, así como a los proveedores de las alternativas tecnológicas.

### **7.5. Otros Sectores Priorizados**

Dada la naturaleza del presente proyecto y acorde a lo contemplado en los anexos del acuerdo 45 de 2017 del SGR, se deben tener en cuenta los requisitos de viabilidad para los sectores Ambiente y Desarrollo Sostenible (Anexo 6 del acuerdo 45) y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (Anexo 18 del acuerdo 45).

#### *Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*

*Proyectos de monitoreo de amenazas de origen natural o socionatural (Anexo 6 numeral 6).*

Acorde a este sector se requiere certificado expedido por la dependencia competente de la autoridad ambiental en el que se sustente la coherencia del proyecto con sus instrumentos de planificación.

La Gobernación del Quindío se encuentra evaluando si los puntos priorizados en los municipios de Salento, Pijao y Calarcá, presentan restricciones de tipo ambiental por estar ubicados en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Quindío, de autoridades ambientales, de grandes centros urbanos, de áreas protegidas, entre otros. En caso de que así sea, la Gobernación definirá si procede a solicitar las autorizaciones pertinentes o cambiar el punto de localización del sistema de monitoreo.

De igual forma, en la revisión se verificará si las coordenadas de los puntos seleccionados hacen referencia a predios privados, caso en el que se requerirá de la autorización para ejecución de las actividades, considerando la sostenibilidad del proyecto.

**Entregable 3** Ë Departamento del Quindío  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

*Sector Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Proyectos que incluyan dentro de sus componentes el desarrollo y adquisiciones de aplicaciones, plataformas y contenido (Numeral 4 – Anexo 18 del Acuerdo).*

El proyecto contempla el desarrollo de una plataforma tecnológica para la gestión de la información y datos que suministrará el sistema de monitoreo de variables relacionadas con los eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación.

Los datos generados por el sistema de monitoreo serán transmitidos a una estación base en cada punto priorizado, que a su vez enviará la información a una estación central. Adicionalmente, la plataforma contempla la integración de un modelo estadístico-predictivo que permitirá generar proyecciones de la ocurrencia de los fenómenos, a partir de los datos históricos que almacena el sistema.

La adecuada gestión de la plataforma permitirá desarrollar un adecuado proceso de toma de decisiones en tiempo real y la generación de alertas con mayores tiempos de respuesta para evacuaciones o implementación de acciones de mitigación.

En las actividades planteadas para este componente se incluyen la definición de estrategias de protección de la propiedad intelectual de los desarrollos generados o adquiridos en el proyecto. Así mismo, contempla acciones entrenamiento y formación como mecanismo para la transferencia del conocimiento.

## **8. MARCO CONCEPTUAL**

Los Sistema de Alerta Temprana son mecanismos de respuesta que impactan en la reducción de los efectos de los fenómenos o amenazas de desastres naturales, haciendo énfasis en el tema de la prevención y el control de las inundaciones, así como en la respuesta inmediata ante condiciones sísmicas, situaciones extremas producidas principalmente por efectos del cambio climático (Moreno et al., 2014).

El propósito de este tipo de sistemas es brindar una comunicación clara y precisa que conlleve a entregar información vital a las poblaciones en riesgos, sin importar el contexto cultural y social en cuestión, con un carácter amplio y accesible a todos los usuarios. Pero la realidad es que esta información no siempre llega a las personas que lo necesitan, ya sea porque, los mecanismos locales para comunicar el riesgo e interpretar las alertas siguen siendo deficientes,

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

o porque no cuentan con sistemas modificables y económicos que permiten ser accesibles por todas las partes interesadas, provocando que la información técnica sea de poca utilidad. (United Nations EIRD, 2004).

La expresión “alerta temprana” se utiliza en muchos contextos y hace referencia a proporcionar información sobre una circunstancia peligrosa emergente que permita generar acciones por anticipado para disminuir los riesgos involucrados.

Un sistema de alerta temprana (SAT) debe integrar 4 elementos para lograr la efectividad requerida, a saber:

- Una evaluación integral de los riesgos;
- Un sistema de monitoreo y advertencia basado en sensores;
- Un plan para la difusión de alertas; y
- Una estrategia para la respuesta de las personas en riesgo.

El servicio de monitoreo y advertencia es el más reconocido entre ellos, sin embargo, la experiencia ha demostrado que técnicamente las predicciones por sí mismas no son suficientes para lograr minimizar el impacto y las pérdidas por inundaciones, sequías, tormentas, deslizamientos de tierra, entre otros riesgos geofísicos. Es aquí donde el factor humano cobra gran importancia y su participación en este tipo de sistemas es muy significativa (Basher, 2006).

Basher R. (2006) plantea que los sistemas de alerta temprana han ido evolucionando con el desarrollo y la aplicación del conocimiento científico. En ese sentido, se destacan cuatro (4) etapas de desarrollo:

(i) Sistemas pre-científicos, que se basan en factores no relacionados tales como la ocurrencia de meteoritos, formas de nubes, crecimiento de plantas, y por la observación de factores relevantes tales como el estado de los océanos o la visibilidad de las estrellas.

(ii) Sistemas ad hoc de alerta temprana basados en la ciencia, desarrollados por iniciativa de científicos o grupos comunitarios con gran interés en las amenazas de eventos o fenómenos geofísicos.

(iii) Sistemas sistemáticos de alerta temprana end-to-end. Los más desarrollados son los que aplican los servicios meteorológicos nacionales para peligros relacionados con el clima. Por lo general, estos sistemas operan bajo un mandato a nivel nacional e implican la entrega

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

organizada, lineal y en gran medida unidireccional por parte de expertos en productos de advertencia a los usuarios.

(iv) Sistemas integrados de alerta temprana, los cuales implican la interacción entre todos los elementos necesarios para una efectiva advertencia y respuesta, incluyendo los elementos humanos del sistema y la gestión del riesgo.

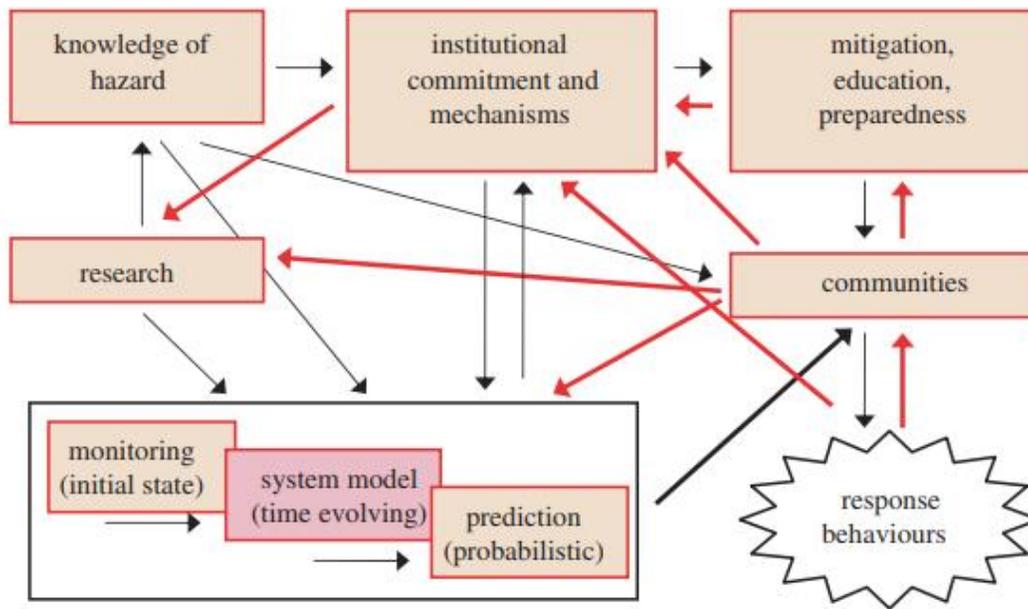


Figura 14. Modelo de un Sistema Integrado de Alerta Temprana.  
 Fuente: Basher R. (2006).

Otros autores lo definen como el “conjunto de herramientas, dispositivos de control, capacidades de gestión e instrumentos tecnológicos que las instituciones claves identifican para difundir la información de manera oportuna a las comunidades expuestas a un riesgo” (Efraín Domínguez-Calle Sergio Lozano-Báez, 2014); de esta manera, se concibe al riesgo como “la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas” (UNISDR, 2009). Por tanto, se comprueba la relevancia de estos sistemas en la mitigación de innumerables accidentes en las comunidades involucradas, debido al uso de redes de sensores que otorguen medidas y pronósticos a través del acceso de datos precisos sobre tecnologías que permitan procesar con exactitud la información suministrada (García, 2015).

Para utilizar un SAT en comunidades vulnerables, se debe cumplir los siguientes criterios: ser accesible (es decir, de bajo costo); fácil de instalar y utilizar; también debe tener la capacidad de operar en una variedad de condiciones diferentes de acuerdo con el sitio; monitorear a las

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

resoluciones espaciales y temporales adecuadas; cuantificar las deformaciones de pendiente (tasas) que pueden representar un riesgo para la comunidad; ser autosuficiente y solo requerir una intervención humana mínima (por ejemplo, sistemas autónomos de potencia, telemetría de datos y procesamiento); estar conectado en red para transferir información (es decir, la alerta) a los usuarios; operar en tiempo real; y ser lo suficientemente robusto para minimizar el riesgo de alertas falsas.

### **8.1. *Sistemas de alerta para terremotos y deslizamientos de tierra/remoción en masa.***

Los deslizamientos de tierra/remoción en masa no provocados sísmicamente producen anualmente decenas de miles de muertes en todo el mundo, y la gran mayoría de estos eventos involucran a comunidades de países de ingresos discretos. Se espera que el cambio global (por ejemplo, el clima, la población, el uso de la tierra y la urbanización) aumente la inestabilidad del terreno y provoque un aumento de las pérdidas directas e indirectas humanas y económicas.

La alerta temprana de fallas en las pendientes podría reducir significativamente las pérdidas humanas y económicas. La estrategia para la reducción de desastres establecida por Naciones Unidas (UNISDR) (2007, 2015) ha destacado el impacto de los deslizamientos de tierra/remoción en masa y ha pedido el desarrollo de sistemas de alerta temprana que puedan desplegarse en las economías menos favorecidas y utilizarse para evacuar comunidades vulnerables antes de que ocurra un deslizamiento de tierra. Los sistemas de alerta temprana han sido definidos por UNISDR (2009) como “el conjunto de capacidades necesarias para generar y difundir información de advertencia oportuna y significativa para permitir a las personas, comunidades y organizaciones amenazadas por un peligro prepararse y actuar de manera adecuada, y con suficiente tiempo para reducir la posibilidad de daño o pérdida”. Los sistemas de alerta temprana se pueden clasificar como sistemas de alarma, advertencia y predicción (Staepli et al., 2015).

Los sistemas de alarma proporcionan una alerta oportuna a las personas en las inmediaciones del deslizamiento de tierra/remoción en masa (por ejemplo, luz intermitente y sirena) cuando los movimientos de la pendiente hacen que se exceda un umbral predeterminado. Por el contrario, se prefieren los sistemas de alerta cuando se pueden identificar las etapas progresivas de las fallas y se puede proporcionar una alerta a los expertos que son responsables de analizar la situación y gestionar los riesgos implementando las intervenciones apropiadas. Los sistemas de pronóstico generalmente producen datos que son interpretados por expertos

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

de forma regular, generalmente a escala regional, con un resultado típico que son los niveles de peligro que se publican en un boletín.

Aunque se dispone de numerosos tipos de instrumentación y técnicas de monitoreo (por ejemplo, Staehli et al., 2015; Uhlemann et al., 2016; Smethurst et al., 2017), actualmente no se usan ampliamente para sistemas de alerta temprana en países menos desarrollados debido a su complejidad y alta costo. Es más común utilizar enfoques de advertencia y pronóstico para proporcionar información regional (por ejemplo, Jakob et al., 2012; Martelloni et al., 2012; Lagomarsino et al., 2013). Sin embargo, estos no se pueden utilizar para dar advertencias significativas, y por lo tanto creíbles, específicas del territorio, con advertencias regionales que puedan ser malinterpretadas y / o ignoradas por las comunidades. Claramente existe una necesidad urgente de instrumentación asequible para usar sistemas de alerta temprana que puedan ser operados por las comunidades (es decir, involucrar a la población local y ofrecer formación) y utilizados para activar un plan de acción predeterminado y, por lo tanto, una respuesta para salvar vidas.

La idea de minimizar los efectos directos de terremotos por un algún sistema de alerta temprana data de 1868, cuya intención era lograr una prevención de terremotos en el área de San Francisco, Estados Unidos, sin embargo, la tecnología de la época no estaba a la altura de dicha necesidad. Cerca de cien años después, muchas instituciones y agencias nacionales empezaron a desarrollar un posible Sistema de alarmas tempranas para terremoto o EEW por sus siglas en inglés (Earthquake Early Warning System), basado en los sistemas de observación sísmica compuesto por una red de estaciones de monitoreo (Nakamura, Saita, & Sato, 2011).

Hay dos tipos de alarmas para terremotos, una es On-Site Alarm, en el cual una alarma está basada en observaciones muy cercanas a los objetos a advertir. La otra es “Front Alarm”, en la cual una alarma está basada en observaciones a la zona epicentral. Ambos tipos de alarmas pueden hacer uso de dos diferentes desencadenantes, el primero llamado S-Wave Alarm, que es cuando las mediciones superan un nivel preestablecido, y la otra es P-Wave Alarm, en el cual se pretende alertar sobre movimientos preliminares (Nakamura et al., 2011).

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

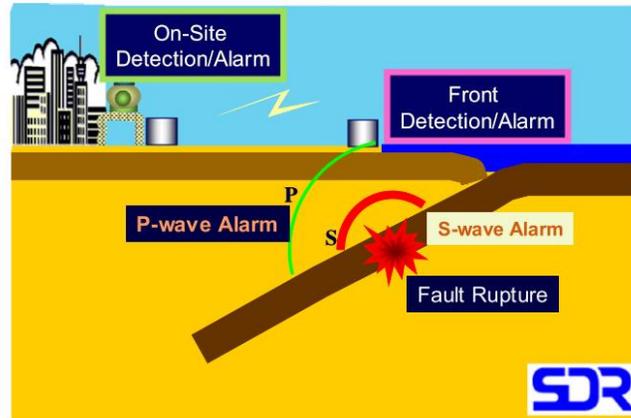


Figura 15. Tipos de estaciones de alarma para SAT  
Fuente: Lin (2011)

Las P-Wave y S-Wave de un terremoto tienen diferentes velocidades, las S-Waves son estrechamente relacionadas a la intensidad sísmica de la superficie y a la aceleración pico del suelo (PGA). En la estación de medición para P-Wave, las mediciones se tramitan a un núcleo de computación, el cual determina el impacto de la S-Wave en la superficie de la tierra mediante algoritmos especificados y emite alertas a las zonas afectadas antes de que comiencen vibraciones violentas (Lin, 2011).

Los deslizamientos de tierra o remoción en masa son fenómenos peligrosos a menudo relacionados con graves consecuencias sociales y económicas. Al igual que en los terremotos, un sistema de alarmas tempranas para deslizamientos de tierras o LEWS por sus siglas en inglés Landslide Early Warning System tiene como objetivo reducir la probabilidad de pérdidas humanas por la incitación a la gente a actuar correctamente en áreas pobladas caracterizadas, en tiempos específicos ante un nivel intolerable de riesgo de deslizamiento de tierra (Piciullo, Calvello, & Cepeda, 2018).

Los LEWS varían ampliamente por:

- Del tipo de deslizamientos, y de su disposición y de factores desencadenadores.
- La escala de operación (El tamaño del área a cubrir por el sistema).

La Escala de operación es de importancia prioritaria, porque influyen varios aspectos como personal involucrado, red de monitoreo, tipos de derrumbes a abordar, variables a considerar para el modelo de advertencia, el proceso de disseminación de información, planes de contingencia, actividad educativa (Piciullo et al., 2018).

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

El continuo proceso de urbanización en áreas propensas a deslizamientos y el creciente número de fenómenos atmosféricos extremos, han incrementado drásticamente a nivel mundial, la exposición de personas a ser afectadas por deslizamientos inducidos por lluvias torrenciales.

La siguiente figura muestra un esquema original, resultante de un análisis de diversas estructuras de LEWS, en el cual se resaltan los componentes principales necesarios para diseñar y gestionar un sistema de alarma de temprana para deslizamientos de ámbito regional TeLEWS:

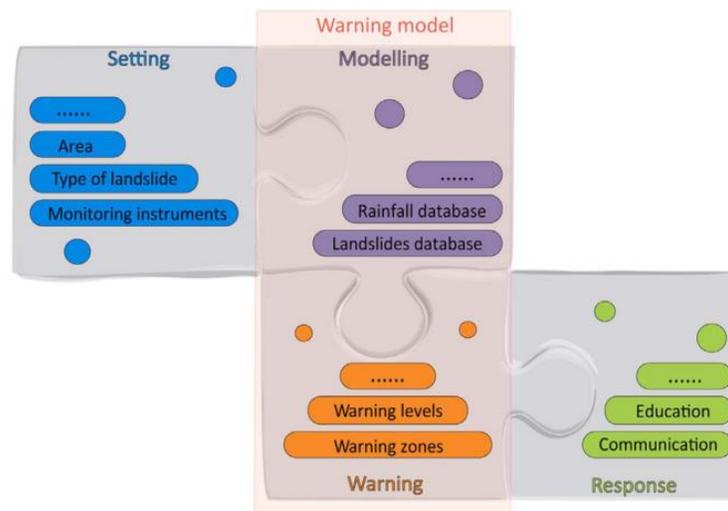


Figura 16. Esquema de componentes de un SAT para deslizamientos inducidos por lluvias.  
Fuente: Piciullo et al. (2018).

El modelo conceptual está estructurado como un rompecabezas porque una debilidad o falla en uno de los componentes podría resultar en una pérdida de confiabilidad o fallo de todo el sistema (Piciullo et al., 2018).

### Tecnologías de instrumentos de medición

La predicción y pronta alarma de deslizamientos de tierra/remoción en masa inducidos por lluvias son críticos para prevenir desastres de este tipo. Normalmente sistemas de monitoreo de deslizamientos no estructurales usan inclinómetros, GPS y extensómetros para observar el desplazamiento de pendientes. Las tecnologías para las estaciones de medición en LEWS es muy variada, y de acuerdo a (Yang et al., 2017) los métodos típicos usualmente poseen altos costes, tanto en términos de equipamiento como en términos de instalación, por lo que su aplicación es limitada a proyectos bien financiados. Además, en algunos casos la instalación

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

instrumental de este equipamiento es imposible o su sitio de asentamiento es inalcanzable en altas montañas. A continuación, describimos varios tipos de tecnologías, acorde a las necesidades propias de la geografía, principio físico de funcionamiento, etc.

### Instrumentos de medición basados en Sistemas micro electromecánicos (MEMS)

Estos tipos de sistemas están pensados para ser de relativo bajo y portables, especialmente eficaces para sistemas de alarmas tempranas para deslizamientos/remoción en masa en áreas montañosas con un gran número de estos eventos.

La unidad de sensor inalámbrica o mota, está compuesta por un sensor de inclinación MEMS, un tensiómetro, un sensor de humedad de suelo y un medidor de lluvia.

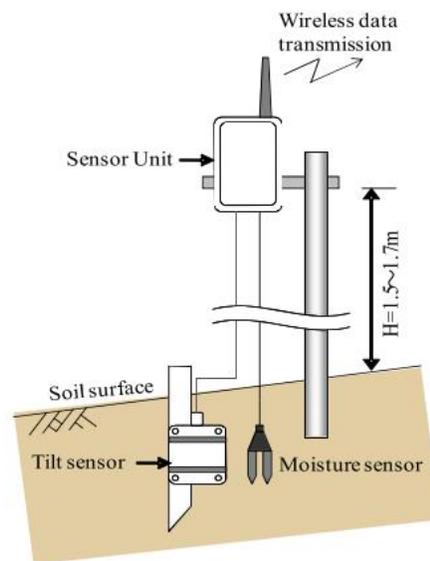


Figura 17. Estación de medición típica basada en MEMS.  
Fuente: Yang et al. (2017).

El sensor de inclinación MEMS puede observar la rotación y desplazamiento anormal de la superficie del suelo, lo cual evita el uso de un cable de estesiómetro muy largo. El rango de medición del sensor MEMS es de  $\pm 30$  grados y la resolución del ángulo de rotación es 0.0025 grados. A pesar de los desplazamientos, el mecanismo de estabilidad de la pendiente indica que la succión matricial del suelo y el contenido de agua es significativa para el estado de estrés y estabilidad en pendientes poco profundas, y la correlación de la humedad y succión del suelo puede manifestar las características hidráulicas del suelo, de modo que tanto la humedad del

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

suelo como la succión del suelo son esenciales para monitorear los deslizamientos inducidos por la lluvia. El sensor de humedad del suelo mide el contenido de humedad volumétrica mediante la detección de la constante dieléctrica correspondiente del suelo circundante. Además, las mediciones de la succión del suelo en suelos insaturados, así como la precipitación también se pueden lograr con la unidad de sensor mediante el uso de tensiómetros y pluviómetros que no necesitan mantenimiento frecuente.

El rango de medición del sensor de humedad del suelo es técnicamente 0-1 con una precisión de  $\pm 0.01$ , y el rango de medición del sensor de succión del suelo Tiene 0-300 kPa con una precisión de aproximadamente  $\pm 0,15$  kPa. Los pluviómetros pueden medir la precipitación con una resolución de 0.2 mm y un rango de medición de 0-4 mm / min. Estos sensores se pueden integrar con la unidad de sensor inalámbrico en el sistema de monitoreo en tiempo real y son capaces de detectar las magnitudes de los valores de los parámetros en esta área (Yang et al., 2017).

#### Sistemas de medición basados en tecnología de impulso de banda ultra ancha (UWD).

Las redes de sensores inalámbricas (WSN) tienen la capacidad de realizar capturas rápidas, procesar, y transmitir datos en tiempo real. Después de desplegarse en el entorno, las WSN pueden crear una red por interconectarse unas con otras. Estas redes son ampliamente flexibles y fácil e instalar. Una WSN puede ser utilizada para una realizar Monitoreo inalámbrico de inestabilidad de tierra (Wi-GIM). Una Wi-GIM tiene como objetivo estimar la deformación de la tierra usando tecnología impulsiva de radiofrecuencia de banda ultra ancha (UWD) para medir la distancia entre los nodos de la WSN, para así crear una cuadrícula sobre la superficie que será usada para monitorear los movimientos de deslizamientos o remoción en masa (Intrieri et al., 2018).

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

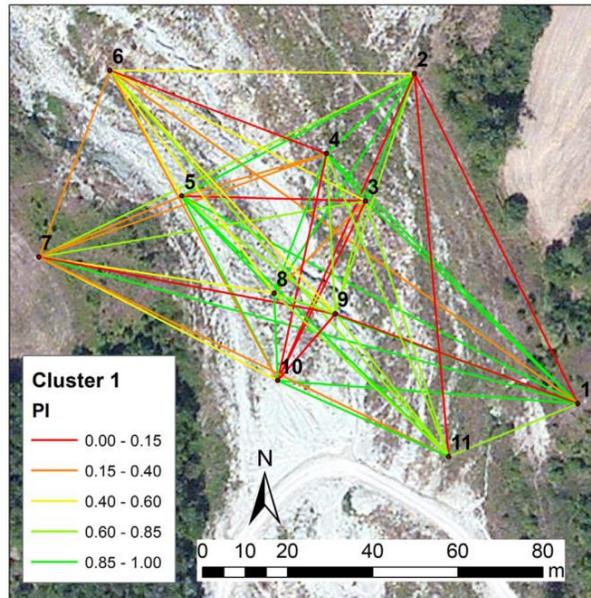


Figura 18. Ejemplo de una cuadrícula generada por una WSN WI-GIM.  
Fuente: Intrieri et. al., 2018

### Sistemas de medición basados en Fibra Óptica.

Los sensores de fibra óptica OFS por sus siglas en inglés (Optical Fibre Sensors) empezaron a usarse en 1967 gracias a la invención del sensor de fotones, casi simultáneamente con la llegada de la tecnología de comunicaciones basada en fibra óptica. El uso de OFC posee grandes ventajas como la inmunidad a la interferencia electromagnética, mínima invasividad y ligereza, detección multiparámetros, facilidad de multiplexación y capacidades remotas de alimentación/lectura. Además, es la única tecnología que permite la supervisión distribuida de algún campo físico a lo largo de la fibra. Este tipo particular de OFS se denomina sensor de fibra óptica distribuida (DOFS) y aprovecha los procesos de dispersión que se producen en la fibra. Las características mencionadas anteriormente junto con esta capacidad única de los DOFS los convirtieron en los candidatos perfectos para detectar aplicaciones en entornos hostiles caracterizados por una gran extensión geográfica y que requieren una alta densidad espacial de puntos de detección como el monitoreo geohidrológico (Schenato, 2017).

Para el caso de monitoreo de remoción en masa, se utilizan normalmente la técnica de BOTDR , BOTDA y esquemas OTDR.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

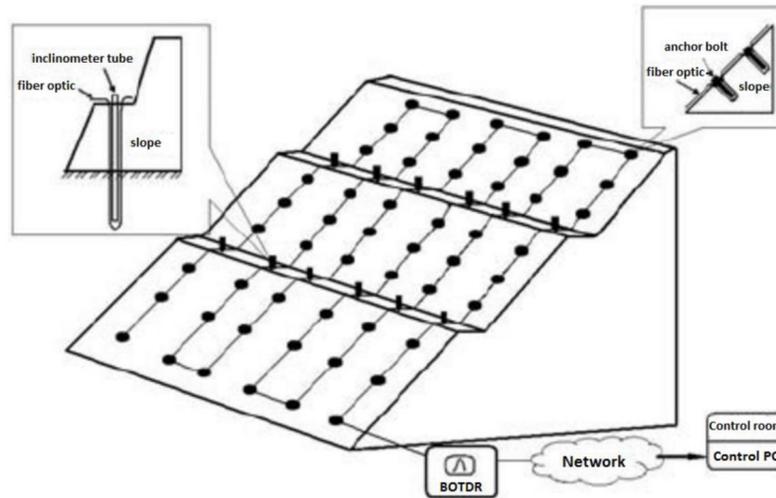


Figura 19. Ejemplo de implementación de OFS BDTDR en una pendiente.  
Fuente: Schenato (2017).

El principio para la detección de deslizamientos/remoción en masa mediante el uso de fibra óptica es complejo y muy técnico, a grosso modo, podemos decir que para saber si se está produciendo un deslizamiento nos valemos de interferómetros para detectar la deformación de la fibra.

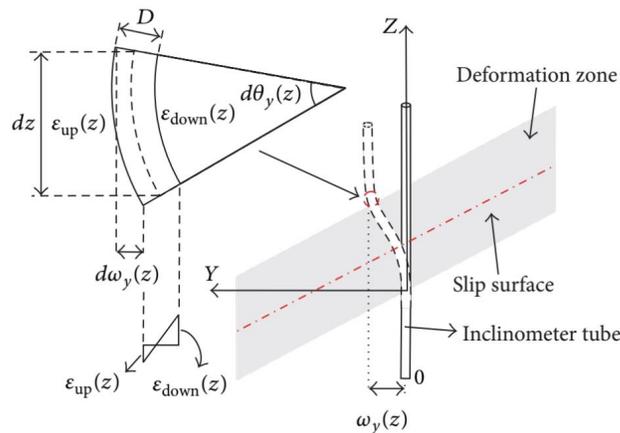


Figura 20. Principio de ángulo de deformación por desplazamiento.  
Fuente: Schenato (2017).

Sistemas de detección basados en sistemas de información geográfica (GIS) y detección de luz y rango (LiDAR).

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

Este sistema de detección es únicamente útil cuando se requiere monitorear de manera inmediata una muy vasta área en la cual se presume que pueden ocurrir un gran número de deslizamientos, y que no se puede esperar por soluciones en sitio, como tal, no puede considerado como un sistema de alarmas temprana para deslizamientos, pero provee la información necesaria para el emplazamiento de uno. Este sistema se basa en el uso de un modelo digital de diferencias de elevaciones (DEMoD) a partir de modelos de alta resolución (HRDEM) producidos de datos de detección de luz y rango (LiDAR).

El procedimiento consiste en obtener varios datos LiDAR por sobrevuelo o satelitalmente en intervalos de tiempo, normalmente días, se realiza un ajuste de la información referente a al modelo digital de elevaciones de terreno (DTM) con el modelo digital de superficie (DSM), se comparan las informaciones obtenidas y se procede a determinar un DEMoD a partir de la información combinada. De acuerdo a una caracterización de las variaciones detectadas, se afirma si en determinada área ocurrió o ocurrirá un deslizamiento (Palenzuela et al., 2015).

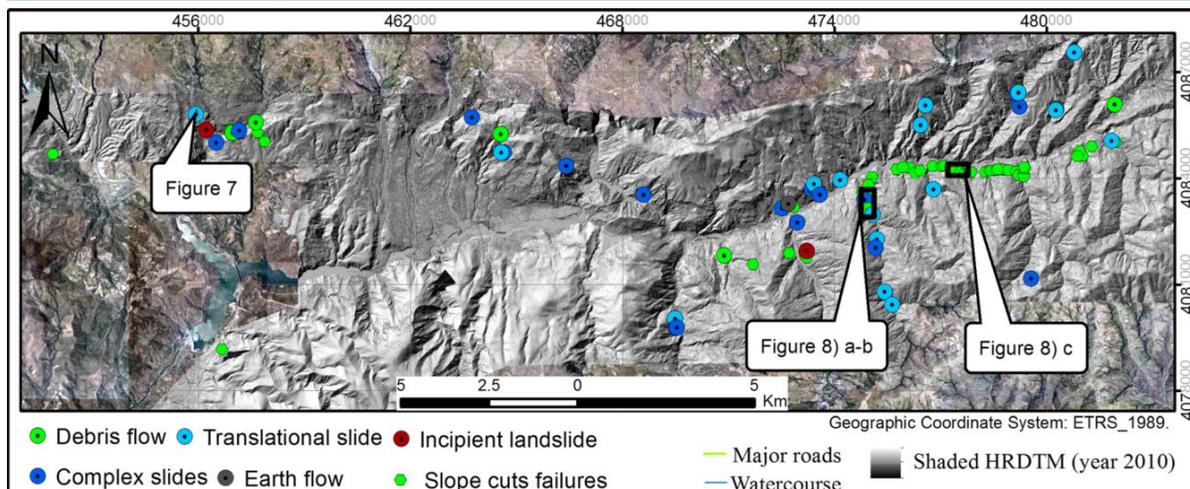


Figura 21. Tipos de deslizamientos detectados al implementar HRDTM.  
Fuente: Schenato (2017).

## 8.2. Sistemas de monitorización ambiental

Los sistemas de monitorización ambiental permiten la obtención de información en tiempo real, para poder estudiar las variaciones presentadas en el clima y predecir su impacto ecológico. Este tipo de estudios se realiza a partir del diseño y ejecución de muestreos de corto y largo periodo de tiempo para caracterizar adecuadamente las fluctuaciones en el ambiente,

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

manteniendo registros de los cambios medioambientales para un enfoque efectivo sobre la gestión ambiental (Hakala, 2008).

### Clima, meteorología y climatología

Según la investigación divulgada por Martonne (Martonne, 1964), pionero de la climatología, el concepto de clima y sus derivados se establecieron a partir de las siguientes definiciones:

- El clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan las condiciones habituales o más probables de un punto determinado de la superficie terrestre. Es, por tanto, una serie de valores estadísticos.
- La meteorología es la ciencia que se ocupa de los fenómenos que ocurren a corto plazo en las capas bajas de la atmósfera, o sea, donde se desarrolla la vida de plantas y animales.
- La meteorología estudia los cambios atmosféricos que se producen a cada momento, utilizando parámetros como la temperatura del aire, su humedad, la presión atmosférica, el viento o las precipitaciones. El objetivo de la meteorología es predecir el tiempo que va a hacer en 24 o 48 horas y, en menor medida, elaborar un pronóstico del tiempo a medio plazo.
- La climatología es la ciencia que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo. Aunque utiliza los mismos parámetros que la meteorología, su objetivo es distinto, ya que no pretende hacer previsiones inmediatas, sino estudiar las características climáticas a largo plazo (F. García, 1995).

### Hidrometría

En la actualidad existe una variedad de tecnologías, utilizadas para las mediciones de niveles, ya sea para líquidos o sólidos, dentro de las industrias. Una de ellas es la de radar, por su importancia, desde el punto de vista del funcionamiento de los procesos, así como el balance ideal de materia prima. Sin embargo, no se descarta la forma de medición tradicional como la que presenta la hidrometría.

La hidrometría además de ocuparse de la medición de grandes volúmenes de agua que circulan ya sea en ríos, tanques, drenajes, se ocupa también del procesamiento de la información de los diferentes sistemas de riego o distribución de agua en zonas urbanas, con el fin de conocer la eficiencia y la disponibilidad del agua en las ciudades.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Un instrumento de apoyo para el caso de medición, se utiliza la vara hidrométrica, cuya función se basa en medir volúmenes de agua circulantes por conductos en un tiempo dado (Ven Te Chow, 1994).

### Sensor de Nivel

El creciente avance tecnológico ha facilitado la vida a muchos cuando de optimizar procesos de medición de nivel se habla.

Utilizar tecnología de punta como sistemas basados en radares, tiene grandes ventajas en la medición de nivel, por no ejercer contacto directo sobre la superficie, y requiere poco mantenimiento. Esto convierte este tipo de tecnologías, rentable al igual que la tecnología TDR, y algunas otras tecnologías de contacto directo.

La tecnología radar es ampliamente aplicada en mediciones de nivel de líquidos y sólidos, etc. Mucha de las razones por la cual utilizar la tecnología radar para medir nivel es por ser insensible a los diferentes cambios en temperatura, dieléctrica, polvo, presión, humedad, entre otros.

Algunas ventajas en la utilización de este tipo de tecnologías están dadas por diferentes factores como: altos rangos de distancia, su alta versatilidad para líquidos, pastas o sólidos, visualización de nivel o volumen, su utilización en espacios estrechos de diámetros fijos. Para el caso de trabajos en entornos donde exista demasiada polución, el polvo no hace gran efecto. Inmunidad en el caso de los trabajos realizados en escenarios donde existan altos grados de ruido, ya sea por sólidos o piedras. Su proceso de adaptación por lo regular es sumamente sencillo con amplio rango de conexiones. En ambientes donde la atmósfera sea corrosiva y ácida, no tendría ningún problema en su funcionamiento. Puede ser programada remotamente o de manera local. (Banner, 2000 -2007).

Los sensores de tecnología de radar para medir nivel se dividen principalmente en dos tipos. Los de nivel de punto, utilizados para marcar las alturas en los líquidos, en niveles preestablecido y los sensores de nivel continuo, utilizado para realizar seguimiento de medición de un rango específico, a diferencia del anterior.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Es recomendable tener claro el tipo de selección al momento de elegir un sensor de nivel. Características como tipo de materia prima a medir, la temperatura y rangos de presión, si la medición será a punto o continua, los rangos necesarios para la medición, conocer si el material a medir es un conductor de electricidad, posición del material a medir, si es en la superficie o no, del lugar de almacenamiento, si la medición se realizará sobre turbulencias, espumas o vapor sobre superficies de líquido, si la medición será con contacto o sin contacto y también qué tipo de salida si será analógica o digital, entre otros.

Existen algunas ventajas en usar sensores ultrasónicos de contacto para medición de niveles, como el hecho de no cuentan con partes móviles y no requieren de calibración, normalmente se encuentran equipados con terminales para conexiones de fuente de alimentación para dispositivos de control de manera externa.

Por lo general la implementación de estos tipos de niveles, es llevada a cabo en tanques o conductos para que operen de manera automática las bombas, o válvulas solenoides y sus alarmas de alta y baja.

Al igual que los sensores ultrasónicos de contacto, existen los ultrasónicos de nivel sin contacto, los cuales no ejercen contacto con las superficies a medir.

### Tecnologías de monitoreo remoto en tiempo real

Los avances en sensórica, información móvil y comunicaciones inalámbricas han permitido adquirir, procesar y transmitir un conjunto de datos de forma remota a través de laboratorios seguros fuera de los campos in situ, permitiendo, por ejemplo, un mayor control y escalabilidad en la toma de medidas. Este tipo de desarrollos se conocen como tecnologías de monitoreo remoto en tiempo real (RTRM, por sus siglas en inglés real-time remote monitoring), quienes a diferencias de técnicas sobre históricos de datos permiten mediante la racionalización del proceso de recolección de datos, reducir al mínimo errores y retrasos de tiempo, lo que reduce el coste total de la recogida de datos por parte de las personas involucradas, y aumenta significativamente la cantidad y calidad de los datos en las escalas temporales y espaciales.

En la última década, los sistemas integrados RTRM han sido desarrollados y desplegado por científicos, agencias gubernamentales, e industrias de todo el mundo para el medio ambiente y adquisición de datos de geolocalización. Logrando ofrecer notificaciones de alertas en tiempo

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

real sobre eventos de alto riesgo y prevención de desastres a través de paquetes de software de visualización basados en la web especializados en este tipo de procesamiento y técnicas de apoyo. (Howard B. Glasgow, JoAnn M. Burkholder, & Robert E. Reed, Alan J. Lewitus, Joseph E. Kleinman, 2004).

#### Sistemas de predicción a partir de técnicas estadísticas.

Para poder comprobar que los datos generados por el sistema son de alta confianza, se debe, tasar de manera estadística las dispersiones de los resultados entregados por los sensores, comparando los resultados de dichos 'tratamientos' o 'factores' con respecto a la variable dependiente o de interés, manejando los factores controlables y no controlables para poder generar datos seguros, “Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios de respuesta de salida” (D. Montgomery, 1991). Son un conjunto de métodos o estudios que se utilizan para analizar la información estadística. (R. Velasco & B. Soriano, 2004).

Las principales técnicas estadísticas empleadas son:

- **Análisis de medición:** También referido como “incertidumbre de análisis de medición”, es un conjunto de procedimientos que permite evaluar la incertidumbre de medición bajo el intervalo de condiciones en que un sistema opera.
- **Análisis de capacidad de procesos:** Es el estudio de la variabilidad y distribución de un proceso, para determinar la confiabilidad que dicho proceso produce a su salida elementos conformes de acuerdo con la variación permitida por las especificaciones.
- **Muestreo:** Es una metodología estadística sistemática para obtener información acerca de algunas características de una población por estudio de una fracción representativa.
- **Tolerancias estadísticas:** Llamados también como límite de especificaciones, está generalmente compuesto de tres factores fundamentales: a) la variabilidad del proceso, b) seguridad del cliente, c) incertidumbre de medición. En algunos casos también se considera un margen de seguridad para condiciones aleatorias que generalmente son atribuibles a las condiciones ambientales.
- **Estadística descriptiva:** Dicho término se refiere a procedimientos para manipulación y presentación de datos cuantitativos de una manera que infiera para determinar las características de la distribución de los datos.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

- Cartas de control estadístico (SPC): Una carta SPC o carta de control son gráficos de datos provenientes de muestras que son periódicamente procesadas en secuencia de un sistema de medición, dichas cartas SPC son usadas para detectar cambios en el proceso, de acuerdo con los datos medidos y muestreados se establecen diferentes aplicaciones tipos de cartas de control que conllevan a estudios específicos.
- Diseño de experimentos: Referido a la investigación y planeación de una manera que los resultados de dichos experimentos puedan revelar el nivel de confianza, existen varias técnicas que pueden ser usadas en el diseño de experimentos, una de las técnicas más conocida es “análisis de varianza” (ANOVA).
- Pruebas de hipótesis: Es un procedimiento para prescribir un nivel de riesgo, de un conjunto de datos (típicamente de una muestra), es compatible con una hipótesis dada.
- Análisis de regresión: Relaciona el comportamiento de las características de interés (llamado usualmente la “respuesta de la variable”) con factores casuales potenciales.
- Análisis de confiabilidad: Es la aplicación de ingeniería y métodos analíticos para establecer, predecir y asegurar un proceso libre de problemas en un intervalo dado de tiempo, bajo un sistema de estudio de producto.
- Simulación: Es un término colectivo de procedimientos por el que un sistema dinámico o proceso es representado por un modelo matemático, del cual se utiliza un programa de computadora para la solución del problema, en estos conceptos se involucran las teorías de probabilidad, en particular las variables aleatorias. Independientemente del modelo utilizado, siempre se deberá establecer la validez del modelo (es decir se tendrá que realizar la parte práctica de medición).
- Análisis de series de tiempo: Es una familia de métodos para estudiar una colección de datos secuenciales sobre el tiempo. Son usados para planeación, en control de ingeniería, para identificar cambios en un proceso y en general para medir los efectos del proceso debidos a una acción externa o acción inducida.

### ***8.3. Desarrollo de plataforma tecnológica para gestión de la información y las comunicaciones.***

#### Servidores Amazon

El servidor Amazon es un software que realiza algunas tareas en nombre de los usuarios. Un ordenador físico que funciona como software también se le conoce como servidor. Existen dos tipos de servicios en Amazon: vinculación ordenador–ordenador, que se trata de servicios

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

requeridos por otros ordenadores, y de relación hombre–ordenador, que son servicios requeridos por los usuarios.

### Servicios AWS

AWS ofrece diversos servicios de informática y redes para satisfacer las necesidades de sus aplicaciones. Entre los diferentes servicios que ofrece AWS, se encuentra la nube de Amazon Web Services (AWS), la cual proporciona una infraestructura muy fiable y progresivo para la implementación de soluciones a nivel de web, con costes de soporte y administración mínimos, y con más flexibilidad de la que cabría esperar de su propia infraestructura, ya sea en sus instalaciones o en un centro de datos. AWS ofrece una infraestructura global segura y una serie de características que puede utilizar para proteger sus datos en la nube.

### Servicios RDS

Relational Database Service (RDS) es un servicio web en funcionamiento en la nube o plataforma virtual, diseñado para simplificar el proceso de instalación de una base de datos relacional para su uso en aplicaciones. Amazon RDS proporciona seis motores de bases de datos populares para elegir, Amazon Aurora, PostgreSQL, MySQL, MariaDB, Oracle y Microsoft SQL Server. Provee una capacidad rentable de tamaño modificable, lo cual permite administrar las molestas tareas de la base de datos, lo que le permite centrarse en sus aplicaciones y en su negocio, realiza los procesos de administración, copias de seguridad de bases de datos y permite que un punto en el tiempo de recuperación se gestione automáticamente.

### Balancedador de carga

Un balanceador de carga es un dispositivo que distribuye tráfico de red o de aplicaciones a través de un grupo de servidores, mejora la capacidad de respuesta y aumenta la disponibilidad de aplicaciones. Un balanceador de carga se encuentra entre el cliente y el conjunto de servidores que acepta tráfico de red y de aplicaciones entrantes y distribuye el tráfico a través de varios servidores de back-end utilizando varios métodos.

Un balanceador de carga reduce la carga individual del servidor y evita que cualquier servidor de aplicaciones se convierta en un único punto de fallo, mejorando así la disponibilidad general de la aplicación y la capacidad de respuesta.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

### Servidores S3

Amazon S3 es el almacenamiento para Internet. Este servicio de almacenamiento sencillo ofrece a los desarrolladores de software una infraestructura de almacenamiento de datos de gran escalabilidad, fiable y de baja latencia con costos muy bajos. Es un sencillo almacenamiento de objetos basado en claves. Cuando almacena datos, asigna una clave de objeto única que puede utilizarse posteriormente para recuperar los datos. Las claves pueden ser cualquier cadena, y pueden establecerse de forma que imiten atributos jerárquicos.

### EC2

Amazon Elastic Compute, conocido como Amazon EC2, es un servicio web que proporciona capacidad informática en la nube segura y de tamaño modificable. Está diseñado para facilitar a los desarrolladores el uso de la informática en la nube a escala de la Web.

### Lenguajes de programación

Un lenguaje de programación no es más que un sistema estructurado y diseñado principalmente para que las máquinas y computadoras se comuniquen entre sí y con los usuarios. Contiene un conjunto de acciones consecutivas que el ordenador debe ejecutar, lo cual describen el proceso deseado. Cada lenguaje tiene sus instrucciones y enunciados verbales propios, que se combinan para formar los programas de cómputo.

A continuación, se presentan algunos lenguajes de programación:

- Lenguaje de Programación “HTML”: Este lenguaje es con el que se crean las páginas web, son un conjunto de etiquetas que sirven para definir el texto y otros elementos que puedes ver en las páginas web.
- Las siglas HTML significan HyperText Markup Lenguaje («lenguaje de marcas de hipertexto») y es muy fácil de aprender.
- Lenguaje de Programación “PHP”: El PHP es un lenguaje de programación similar al HTML que nos sirve fundamentalmente para páginas web y se puede combinar con el lenguaje HTML. El lenguaje PHP se basa en los “scripts” que es un guión de órdenes o instrucciones que recibe un servidor de una página web para leer su código fuente.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

- Lenguaje de Programación “XML”: Es un lenguaje de etiquetas como el HTML, pero a diferencia de éste, el lenguaje XML separa el contenido de la presentación, es decir, XML se preocupa del significado del texto que define el HTML. Te da el dato + el significado de ese dato, mientras que el HTML te da el dato nada más. El XML es un complemento fundamental al HTML.
- Lenguaje de Programación “SQL”: SQL son las siglas de Structured Query Lenguaje (Lenguaje estructurado de consultas), este lenguaje está creado para realizar consultas a bases de datos principalmente y se utiliza para páginas web y también para aplicaciones de ordenadores, para manejar datos, sobre todo. (Introducir datos, actualizar datos, eliminar o seleccionar datos).
- Lenguaje de Programación “Java”: Este lenguaje de programación se utiliza en miles de millones de dispositivos móviles y aparatos de televisión y en más de 850 millones de ordenadores personales de todo el mundo. Java está instalado en inmensidad de aplicaciones y sitios web. Es el lenguaje utilizado para programas punteros como herramientas, juegos y aplicaciones.
- JavaScript: Es el lenguaje utilizado para crear pequeños programas encargados de realizar acciones y dar interactividad dentro de una web como por ejemplo para crear efectos especiales, para definir interactividades con los usuarios, efectos de textos. Es el único lenguaje usado en todas las páginas web por la compatibilidad con HTML5.
- Lenguaje de Programación “C”: Este lenguaje de programación está orientado a los Sistemas Operativos, es eficaz; es utilizado para crear Softwares de sistemas operativos como Windows o Linux y también para aplicaciones. También es utilizado para experimentos informáticos, físicos, matemáticos, robótica con el que se programan simuladores, entre otros.

### Framework

Los Framework son un conjunto de archivos y directorios que facilitan la creación de aplicaciones, ya que incorporan funcionalidades ya desarrolladas y probadas, implementadas en un determinado lenguaje de programación. Tienen como objetivos facilitar las cosas a la hora de desarrollar una aplicación, haciendo que nos centremos en el verdadero problema y nos olvidemos de implementar funcionalidades que son de uso común como puede ser el registro de un usuario, establecer conexión con la base de datos, manejo de sesiones de usuario o el almacenamiento en base de datos de contenido cacheado.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Un framework facilita el desarrollo de software permitiendo a los diseñadores y programadores dedicar su tiempo a lograr los requerimientos de software en lugar de lidiar con los detalles de bajo nivel necesarios para obtener un sistema funcional. De esta forma se puede reducir el tiempo total de desarrollo de la aplicación. Una de las principales ventajas que ofrecen los framework es el uso de patrones de diseño para el desarrollo de la aplicación. El patrón más utilizado y que casi todos los framework utilizan es el conocido como Modelo – Vista – Controlador (MVC), un modelo que divide el desarrollo en tres capas:

- **Modelo:** Representa los datos de la aplicación y sus reglas de negocio.
- **Vista:** Representa la capa presentación, como representamos los datos a los usuarios.
- **Controlador:** Es el encargado de procesar las peticiones de los usuarios y controla el flujo de ejecución del sistema.

### Programación Web

Este lenguaje de programación Web fue inventado por Tim Berners-Lee en 1986. El HTML combina el concepto de Hipertexto, que permite conectar dos elementos entre sí, y el Lenguaje Estándar de Marcación General (SGML) que permite colocar etiquetas o marcas en un texto para indicar como queremos que ese documento se visualice.

### Programación móvil

Inicialmente podemos definir la programación como el proceso de diseñar, escribir, mejorar y conservar el código principal de programas para equipos de cómputo. El código fuente es escrito en un lenguaje de programación o pseudocódigo (Elizabeth Ramirez, 2014). El propósito de esta se basa en la creación de programas que presenten un comportamiento anhelado. Este proceso requiere frecuentemente conocimientos en diferentes áreas, como el dominio del lenguaje de programación, algoritmos dominados y lógica formal.

### Ruby

Ruby es un lenguaje de programación dinámico y de código abierto enfocado en la simplicidad y productividad. Su elegante sintaxis se siente natural al leer y fácil al escribir. (Matz, An Interview with the creator of Ruby, 2001).

### Rails

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

Rails es un conjunto de librerías, automatismos y convenciones destinados a resolver los problemas más comunes a la hora de desarrollar una aplicación web; se usa para construir aplicaciones que acceden a bases de datos tales como Twitter, Scrib, Hulu, Xing, SoundCloud, BaseCamp, Github. (Hansson, 2004).

- Hay muchas alternativas para trabajar con Ruby on Rails, tanto libres y gratuitas como de pago. A continuación, se listan las principales:
- **Aptana:** Multiplataforma. Puede instalarse como plugins o autónomo de forma independiente.
- **NetBeans:** Uno de los más usados, libre y totalmente gratuito.
- **TextMate:** Sólo para Mac. Es el entorno más usado entre la comunidad Rails. Es pago, pero su potencia y forma de trabajo favorece la producción y desarrollo con Ruby on Rails.
- **Gmate:** Un proyecto libre y gratuito para convertir Gedit -el editor de texto de escritorio Gnome de GNU/Linux- en un clon muy aproximado de Textmate.
- **RubyMine:** Entorno de trabajo diseñado exclusivamente para trabajar con Ruby, creado por la compañía JetBrains.
- **Sublime Text:** Un editor de texto y editor de código fuente creado en Python desarrollado originalmente como una extensión de Vim, con el tiempo fue creando una identidad propia, por esto aún conserva un modo de edición tipo vi llamado Vintage mode.

#### **8.4. Sistemas de alerta para inundación**

Las inundaciones son una amenaza constante y constituyen un fenómeno que se desencadenan de forma rápida y repentina (UNEP-GEAS, 2012, citado por (Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014)). Representan una de las amenazas más frecuentes y de mayor gravedad a nivel mundial y anualmente causan miles de muertes y millones de dólares en pérdidas económicas por daños (Chandrasekar & Cifelli, 2012). Las inundaciones pueden generarse en los ríos, cuyo caudal aumenta debido a la lluvia o la nieve derretida, o ser producto de las fuertes mareas durante las tormentas, o del incremento en el nivel del mar debido al cambio climático (Kundzewicz, 2002, citado por Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014).

Existen diversos métodos para la predicción de inundaciones que han sido agrupados en 5 categorías por investigadores en la temática (Plate, 2007, citado por Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014), a saber:

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

- Grupo A: métodos con un enfoque de predicción directa que emplean modelos deterministas, incluidos los modelos de precipitación-escorrentía y curvas de descargas.
- Grupo B: comprende aquellos métodos que necesitan series de tiempo muy largas con modelos hidrológicos complejos y con grandes variaciones en la distribución de las precipitaciones; generalmente incorporan la incertidumbre y utilizan el método de Monte Carlo para calcular las desviaciones de los datos reales y de los pronósticos.
- Grupo C: métodos que a partir de las condiciones iniciales generan hidrogramas de respuesta que emplean datos históricos y no requieren un modelo.
- Grupo D: estos métodos representan una mejora con respecto a los del grupo B debido a que no necesitan procedimientos extensos de cálculo. Son adecuados para cuencas pequeñas.
- Grupo E: son métodos tradicionales que se emplean en los grandes ríos y utilizan análisis de regresión para la medición aguas arriba y aguas abajo. Se recomiendan cuando no hay linealidad, pero sí muchas entradas de afluentes o mucha lluvia en la cuenca.

Existen muchos otros modelos para la predicción de las inundaciones, sin embargo, la mayoría se basa en una formulación de la precipitación-escorrentía muy parecida.

Realizando un análisis comparativo las principales diferencias entre estos modelos son la complejidad de los procesos y el número de parámetros necesarios para su aplicación (Werner, et al., 2005). Algunos de los modelos más comunes son el TOPKAPI (Liu & Todini, 2002), el LISFLOOD (De Roo, et al., 2000), los modelos de precipitación-escorrentía y los sistemas de modelación matemática como el MIKE (Göppert, et al., 1998), citados por (Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014).

Una de las principales debilidades en el proceso de predicción de inundaciones es la estimación precisa de las precipitaciones, que normalmente se hace con medidores de lluvia (Georgakakos & Hudlow, 1984; Moore, Bell & Jones, 2005, citados por (Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014). En los últimos años se ha incrementado el uso de sensores remotos, como los radares, que permiten muestrear una mayor área en periodos cortos, suministran información sobre los movimientos y la evolución de las precipitaciones, y emiten la alerta con más antelación (Chandrasekar & Cifelli, 2012). Domínguez & Lozano (2014) concluyen que la falta de exactitud y el nivel de incertidumbre de la mayoría de los pronósticos de precipitación son muy grandes (Borga, et al., 2011) debido a la rápida aparición y la dispersión espacial de este fenómeno. La predicción de las inundaciones se ve limitada por la simplificación de las condiciones presentes y

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

la incertidumbre de los modelos hidrológicos. Por todo ello recomiendan enfocar las investigaciones en lugares donde no hay ningún tipo de medición hidrometeorológica.

## 9. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La Unidad Departamental de Gestión del Riesgo del Quindío, con base en las estadísticas y cifras registradas de la afectación de los eventos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos de masa, realizó la priorización de las zonas con potencial de intervención:

Tabla 6. Priorización puntos de atención en el Departamento del Quindío

No.	MUNICIPIO	PUNTO	COORDENADAS		AMENAZA	MONITOREO
			Latitud	Longitud		
1	Pijao	Cárcava Las Pizarras	4° 19' 13" N	-75° 40' 20" W	AV. Torrencial - RM	MRM
2	Génova	Río Gris	4° 8' 54" N	-75° 45' 22" W	AV. Torrencial - RM	Nivel del río - Meteorológico
3	Calarcá	Río Santo Domingo (Los Chorros)	4° 31' 9.5" N	-75° 36' 59.37" W	AV. Torrencial - RM	Nivel del río - Meteorológico
4	Pijao	Quebrada La Española	4° 20' 6" N	-75° 40' 40" W	AV. Torrencial - RM	Nivel del río - Meteorológico
5	Pijao	Cárcava Las Camalias	4° 22' 8" N	-75° 36' 50" W	AV. Torrencial - RM	MRM
6	Pijao	Río Lejos 2	4° 20' 46" N	-75° 40' 10" W	AV. Torrencial - RM	Nivel del río - Meteorológico
7	Génova	Cárcava			AV. Torrencial - RM	Nivel del río - Meteorológico
8	Pijao	Río Lejos 1 Carcava	4° 20' 39" N	-75° 38' 16" W	AV. Torrencial-RM	Nivel del río - Meteorológico
9	Salento	La Playa	4° 38' 29" N	-75° 33' 35" W	Inundación	Nivel del río -

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

No.	MUNICIPIO	PUNTO	COORDENADAS		AMENAZA	MONITOREO
			Latitud	Longitud		
						Meteorológico
10	Quimbaya	Puerto Alejandría	4° 37' 25" N	-75° 51' 7" W	Inundación	Nivel del río - Meteorológico
11	Montenegro	Puerto Samaria	4° 33' 10" N	-75° 52' 33" W	Inundación	Nivel del río - Meteorológico
12	Salento	Llano Grande EPA	4° 37' 39" N	-75° 35' 42" W	Inundación	Nivel del río - Meteorológico
13	Tebaida	Valle Maravelez			Inundación	Nivel del río - Meteorológico
14	Calarcá	La Virginia 2	4° 28' 53" N	-75° 37' 47" W	Remoción en masa	MRM - Meteorológico
15	Calarcá	La Virginia 1 (Eco	4° 28' 54" N	-75° 38' 3" W	Remoción en masa	MRM - Meteorológico
16	Córdoba	Cárcava			Remoción en masa	MRM

Fuente: UDEGERD (2018).

Considerando las zonas donde se genera mayor afectación, se ha seleccionado la siguiente localización para la ejecución del proyecto:

Tabla 7. Municipios Priorizados

Departamento	Municipios
Quindío	Salento Pijao Calarcá

Fuente: Udegerd (2018).

### 5.1. Definición del tamaño del proyecto y análisis de localización.

Los municipios priorizados tienen información no detallada de amenaza, vulnerabilidad y riesgo consignada en las resoluciones de esquema de ordenamiento territorial y en el POMCA del Río La Vieja, estructurado recientemente, en particular de las áreas rurales, así como otros estudios fisiográficos que dan cuenta de las condiciones de los territorios en términos de vulnerabilidad frente a desastres naturales, como avenidas torrenciales, remoción en masa e inundaciones.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

### 5.1.1. Municipio de Pijao: Amenaza por Flujo de avenida torrencial por proceso de carcavamiento sobre el cauce del río lejos en el municipio de Pijao.

El municipio de Pijao se encuentra al Sureste del Departamento de Quindío, República de Colombia. Limita al Norte con los municipios de Córdoba, Buenavista y Calarcá, al Este con el municipio de Roncesvalles, departamento de Tolima, hacia el Sur limita con el municipio de Génova y hacia el Oeste con el departamento del Valle del Cauca. Su extensión territorial conforma un área de 243. 12 km<sup>2</sup>, donde el área urbana corresponde al 0,24% del total del área y el restante 99,76% conforma el área rural. Sus principales actividades económicas son cultivos de café, asociados a plátano y yuca, forestales y ganadería (Fuente: Agenda Ambienta Municipal).

Pijao se ubica geográficamente en las estribaciones de la Cordillera Central. Los suelos presentes en el municipio se pueden caracterizar por ser de alta, media o baja montaña, donde los primeros, al ser suelos con escaso desarrollo, encontrándose entre los 2800 y 4500 m.s.n.m y conteniendo poca materia orgánica, suelen ser fácilmente erosionables. Los suelos de baja montaña, que se ubican a alturas menores a 1700 m.s.n.m, es donde toma lugar la mayor parte de la agricultura y ganadería, estos suelen ser muy fértiles y con abundante materia orgánica. El municipio se ubica sobre la Falla de Silvia – Pijao, la cual pertenece al sistema de fallas conocido como Romeral, cuya actividad se remonta desde el período paleozoico (hace unos 542 millones de años) hasta la actualidad.

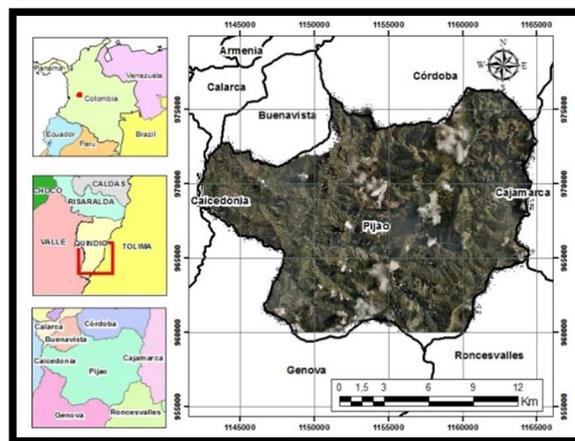


Figura 22. Mapa de localización del municipio de Pijao, área de estudio.  
Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016).

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

El área de estudio se encuentra afectada por el sistema fundamental de Fallas de Romeral, que se extiende en dirección norte desde el Ecuador hasta el sur del departamento de Bolívar. El sistema de Fallas de Romeral o Zona de Fallas de Romeral, dentro del área del departamento del Quindío, está compuesta por numerosas fracturas, las cuales lo atraviesan de sur a norte, las que permiten agruparse en tres sistemas importantes de magnitud regional, paralelas o subparalelas, que se entre cruzan en determinados puntos, y de las cuales se han determinado: i) el sistema de dirección norte-sur, con ligeras variaciones de rumbo; ii) el sistema de tendencia este-oeste, y iii) el sistema de tendencia N40°-70°W. Entre los sistemas de fracturamiento anteriores, se presentan Fallas importantes y que muestran un trazo oblicuo de las Fallas principales.

El sistema de Romeral, o Zona de Falla de Romeral, son fallas paralelas a subparalelas (N5°-15°E), localizadas en una faja de unos 20 Km de ancho. Las fallas más importantes son Cauca-Almaguer, Silvia-Pijao y San Jerónimo.

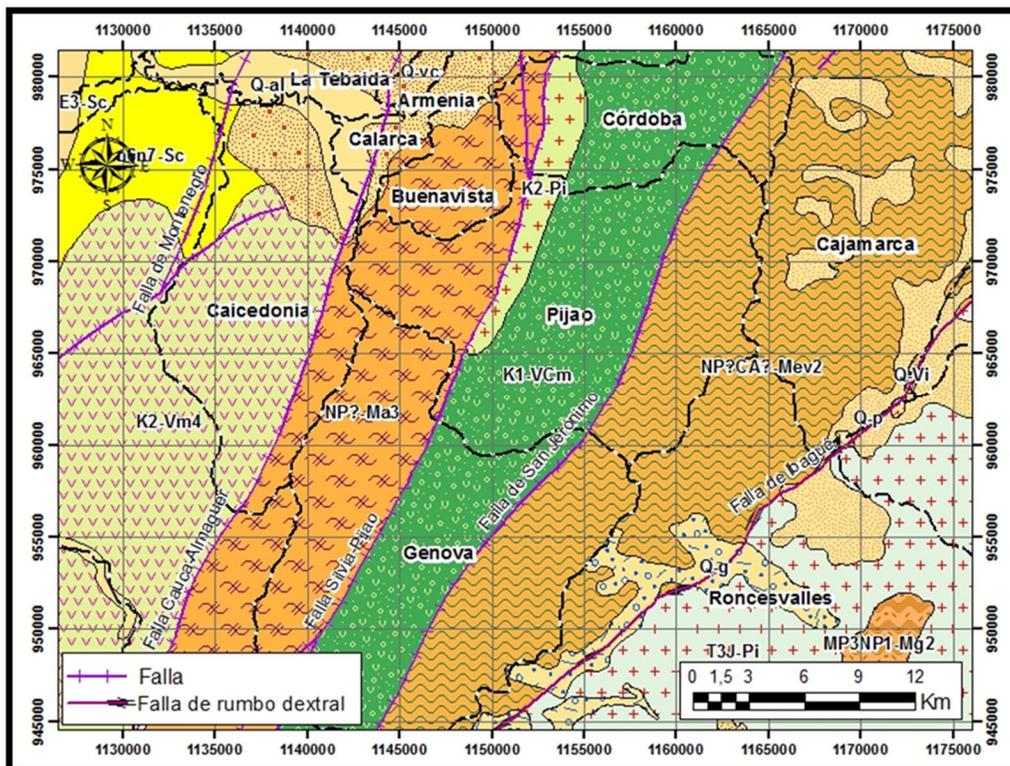


Figura 23. Mapa geológico estructural de la zona de estudio.  
Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016).

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

Según INGEOMINAS, 1999; la mayoría de fallas del Sistema de Romeral tienen, en ésta región, movimiento principal transcurrente lateral izquierdo, y plano de falla de ángulo alto buzante al oriente. Las fallas de Armenia, Montenegro, Caicedonia y Aeropuerto, son de trazo oblicuo a las de Cauca-Almaguer y Silvia-Pijao, tipo “Back Thrust”, con desplazamientos antitéticos de la componente vertical (Vergara y Moreno, 1996).

### Nueva falla identificada

Durante el proceso de análisis de información espacial, tomando como referencia el modelo TIN (Triangular Irregular Network; Red irregular de triángulos) y el modelo de sombras; se identificó un fracturamiento a nivel estructural en la corteza, donde se observa una nueva posible falla con rumbo N20°E en inmediaciones de la falla Silvia-Pijao y la falla San Jerónimo, a una distancia aproximada de 1,5 Km del centro urbano de Pijao al eje central de la falla.

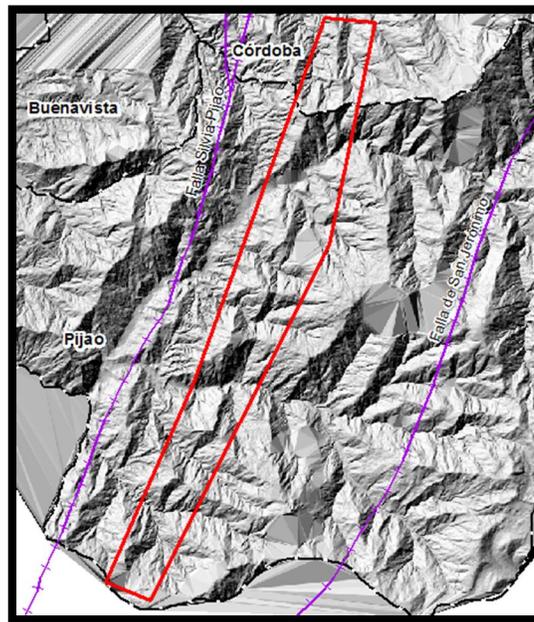


Figura 24. En el polígono de color rojo, se evidencia el fracturamiento estructural en la corteza.  
Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016).

Teniendo en cuenta que el sistema de falla romerales, presenta la misma dirección de sur a norte con el mismo ángulo de incidencia; se puede mencionar que la nueva falla identificada la cual está sujeta a verificación por el servicio geológico colombiano se asocia a dicho sistema de fallamiento nacional tal como se observa en la siguiente figura.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

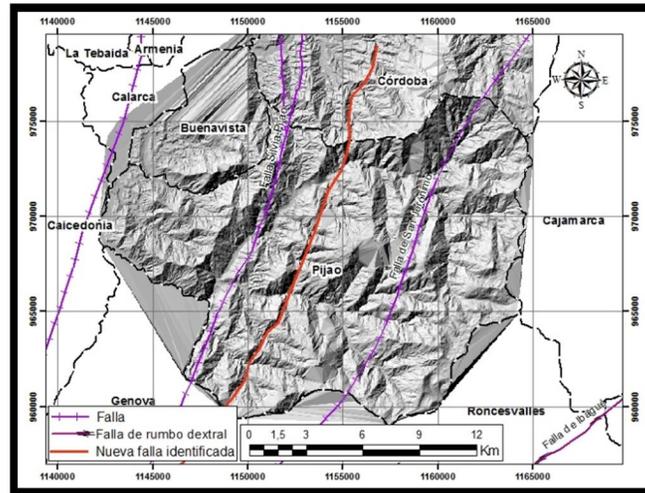


Figura 25. Nueva falla identificada en la zona de estudio.  
Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016)

### Actividad Sísmica

Las expresiones en superficie más significativas de actividad sísmica en la zona de estudio, se encuentran en el sistema de fallas de San Jerónimo, las de Silvia – Pijao y Cauca-Almaguer, identificadas de sur a norte en un ancho promedio de 20 kilómetros.

La primera de ellas ofrece un ángulo alto, marca el límite de los ámbitos oceánicos y continentales; estas de edad paleozoica y las primeras cretáceas, hacia el centro de ese corredor fallado esta la Falla de Pijao Silvia, una larga estructura, también de ángulo alto y a juicio de geólogos de INGEOMINAS, la que quizás es la principal del Sistema completo, a lo largo de su trazo afloran cuerpos discretos de rocas ultramáficas serpentinizadas por efectos del tectonismo imperante.

La delimitación occidental del sistema es la Falla Cauca Almaguer, es la de menor ángulo de las tres descritas y al igual que las anteriores corre en dirección general NNE – SSW.

Dentro de este marco estructural, se localizan otras fallas menores y por supuesto activas tanto las ya descritas como las que a continuación se citan: Falla de Armenia de 22 kilómetros de largo, la Cauca Almaguer, de 1.000 kilómetros de longitud, la Falla de Montenegro, que bordea el área urbana del municipio del mismo nombre y con una longitud de 64 kilómetros que se extienden en dirección N –NE, la de Palestina que con un azimut de 10º – 20º transcurre con evidentes signos de actividad durante 320 kilómetros, Falla de Salento de trazo corto y con un azimut de 138 y de alto ángulo, y por supuesto las ya descritas atrás de San Jerónimo y la de Silvia Pijao de 600 kilómetros de longitud, con una marcado rumbo N – NE, y de importancia

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

específica para los procesos de ordenamiento territorial y de mitigación del riesgo sísmico de comunidades del departamento de Risaralda como Pereira, Dos Quebradas y Santa Rosa de Cabal, en la misma forma como la de Armenia es de vital importancia para la capital del Quindío.

Tomando como referencia el mapa de zonificación de amenaza sísmica con un periodo de retorno de 475 años realizada por el servicio geológico colombiano y la universidad nacional de Colombia en el 2010; se clasifica y categoriza la zona que corresponde al municipio de Pijao en una zona de amenaza intermedia.

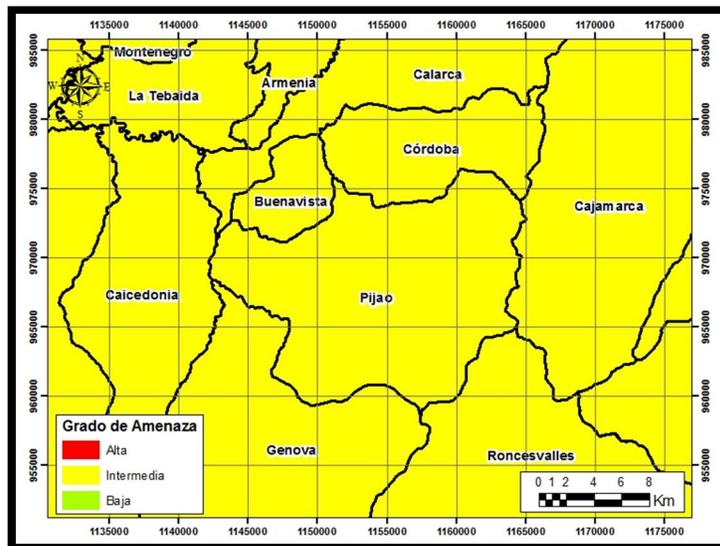
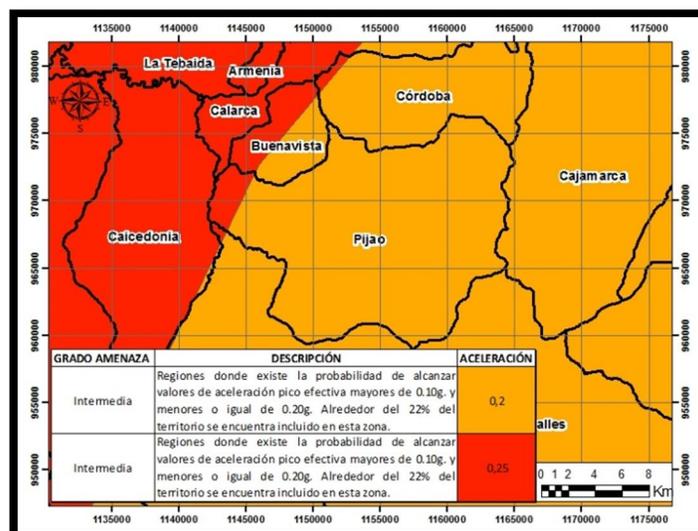


Figura 26. Grado de amenaza sísmica.

Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016). Tomando como referencia el mapa de zonificación de amenaza sísmica con un periodo de retorno de 475 años realizada por el servicio geológico colombiano, 2010.

Dicha zonificación muestra elementos característicos de aceleración, donde gran parte del municipio de Pijao, se encuentra en una zona de aceleración 0,2 g, la cual caracteriza regiones



**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

donde existe la probabilidad de alcanzar valores de aceleración pico efectivo mayores de 0,10 g y menores o igual de 0,20g. Donde alrededor del 22 % del territorio nacional se encuentra incluido en esta zona, y más del 90% del municipio de Pijao.

*Figura 27. Aceleración sísmica.*

*Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016). Tomando como referencia el mapa de zonificación de amenaza sísmica con un periodo de retorno de 475 años realizada por el servicio geológico colombiano, 2010.*

También es de gran importancia la cercanía e inclusión en menor medida de la zona de amenaza intermedia caracterizada por valores de aceleración pico efectivo mayores de 0,10g y menores o iguales a 0,25g.

#### Actividad sísmica por procesos volcánicos

El fenómeno del vulcanismo en Colombia se asocia con procesos tectónicos compresivos en zonas de subducción por la interacción de las placas de Nazca y Suramericana. Los volcanes actualmente considerados como activos se encuentran a lo largo de la Cordillera Central de Colombia y, hacia el sur, en la depresión Cauca-Patía y Cordillera Occidental, distribuyéndose en tres segmentos: norte, central y sur.

Dentro de los procesos volcánicos que actualmente se presentan en la región, se destacan los del volcán Cerro Machin en Cajamarca Tolima y el Volcán Nevado del Ruiz en Villamaria Caldas; donde sus constante procesos de actividad volcánica, entre ellos el fracturamiento de roca por ascensión del magma, genera leves y fuertes sismos en la región circundante.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

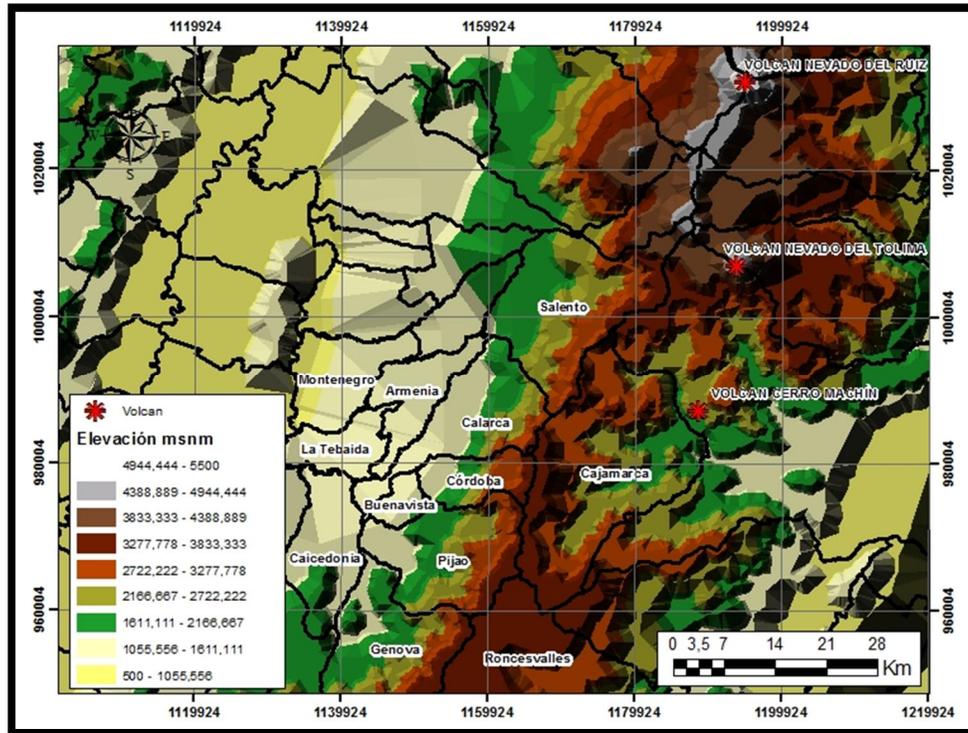


Figura 28. Localización de volcanes.  
Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016).

El Volcán Cerro Machín está localizado en la margen suroccidental del denominado complejo volcánico Machín - Cerro Bravo, costada oriental de la cordillera central. Está conformado por un edificio volcánico de forma anular compleja, resultado de un conjunto de relictos de anillos piroclásticos enlazados entre sí; la altura del cono no es mayor de 150 m sobre su base y posee un cráter de 2,4 km de diámetro mayor, relleno por dos domos de 250 m y 150 m de altura. Además, presenta fenómenos asociados de actividad termal expresados en campos fumarólicos sobre los domos y fuentes termales localizados dentro y fuera del edificio y sismicidad esporádica.

Debido a la cercanía de aproximadamente 35 km del volcán cerro Machín al municipio de Pijao, y la constante actividad de este, se toma como referencia, como uno de los posibles activadores a los movimientos de remoción en masa a causa de actividad sísmica regional.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

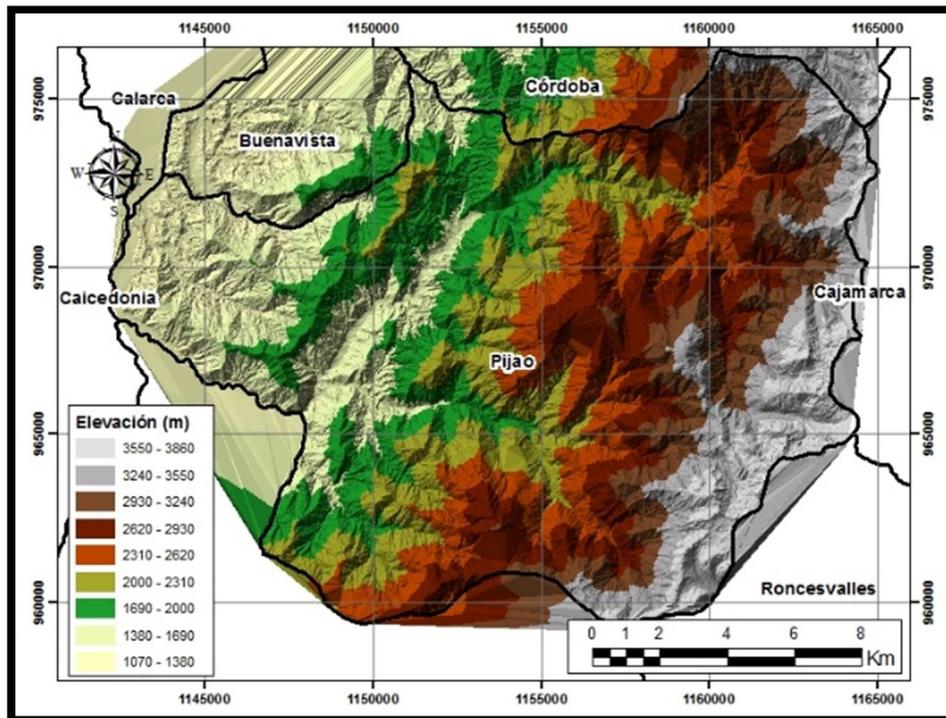
Los eventos sísmicos ocurrido en la región del eje cafetero a principios de 1999, y la actividad sísmica asociada a los procesos volcánicos del volcán nevado del Ruiz y volcán Cerro machín dejan clara evidencia sobre la gran actividad existente en la zona de estudio.

Características Climatológicas

El Municipio de Pijao se encuentra situado en la ladera occidental de la cordillera Central (flanco occidental del Departamento del Quindío) a 4°20’ de latitud Norte y 75° 42’ de Longitud Oeste. Su altitud va desde los 1.070 m a 3.800 m (ver figura 21), encontrando el centro poblado municipal a 1.650 metros de altura, con una temperatura media de 20° Centígrados.

Cuenta con un área total de 243.12/Km<sup>2</sup>, donde un 0.58 Km<sup>2</sup> corresponden al área urbana y 242.54 Km<sup>2</sup> al área rural. El total de áreas del Municipio representan el 12.39% de la extensión total del departamento del Quindío (Plan de desarrollo, 2013).

El municipio de Pijao es un territorio con características ambientales especiales donde los factores de orden físico, biológico y antrópico la definen como una unidad regional natural con todas las principales características que las cuales definen el clima local desde la parte baja y planicie aluvial del rio verde, hasta la zona cordillera de paramo.



**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

*Figura 29. Clasificación altitudinal.*  
*Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016).*

Para el área de estudio se seleccionaron 8 diferentes estaciones meteorológicas, 7 del IDEAM y 1 de Cenicafe, (ver tabla 8), las cuales se encuentran en el área de influencia del municipio, y brindan los elementos representativos de las condiciones meteorológicas y climáticas para el municipio; su localización se puede observar en la figura 30.

*Tabla 8. Estaciones meteorológicas del área de estudio*

<b>ID</b>	<b>Nombre</b>	<b>Categoría</b>	<b>Institución</b>	<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Corriente</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud (m)</b>
1	PARAGUAICITO-CENICAFE	AM	CENICAFE	QUINDIO	BUENAVISTA		4°24'0" N	75°44'0" W	1203
2	PLAYA LA [26125110]	CO	IDEAM	QUINDÍO	GÉNOVA	BARRAGAN	4°13'0" N	75°46'0" W	1524
3	CUCUANA HDA [21215130]	CO	IDEAM	TOLIMA	CAJAMARCA	ANAIMÉ	4°20'29" N	75°31'6,9" W	2229
4	BARRAGAN [26127030]	LM	IDEAM	QUINDÍO	PIJAO	BARRAGAN	4°20'14,8" N	75°47'31,4" W	113
5	PIJAO [26127150]	LM	IDEAM	QUINDÍO	PIJAO	LEJOS	4°20'2,1" N	75°42'10,7" W	1679
6	CAMELIA LA [26120120]	PM	IDEAM	VALLE DEL CAUCA	CAICEDONIA	BARRAGAN	4°19'53,6" N	75°50'5,4" W	124
7	PIJAO [26120170]	PM	IDEAM	QUINDÍO	PIJAO	LEJOS	4°19'57,9" N	75°42'22,6" W	1685
8	CASCADA LA [21210150]	PM	IDEAM	TOLIMA	CAJAMARCA	ANAIMÉ	4°17'3,8" N	75°32'32,4" W	3280

AM= Agrometeorológica, CO= Climatológica Principal, LM= Limnimétrica, PM Pluviométrica.

*Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016).*

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

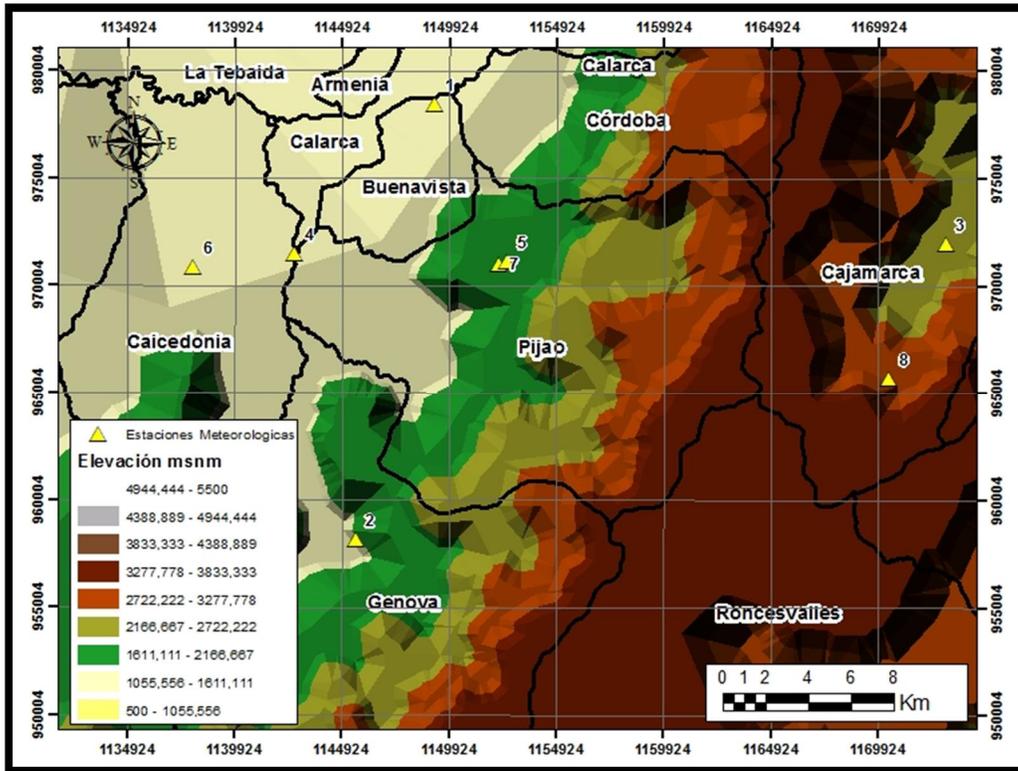


Figura 30. Localización estaciones meteorológicas.  
 Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016).

De la información que actualmente existe en las instituciones y en la zona de estudio, se destaca la estación Paraguaicito, la cual es una estación agrometeorológica administrada por Cenicafe y el comité de cafeteros de Colombia, y adscrita a la red de estaciones meteorológicas del IDEAM, presentando la información más actualizada de la zona de estudio (ver tabla 9).

Tabla 9. Parámetros meteorológicos estación Paraguaicito

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Estación: Paraguaicito  
Año : 2014

Dpto: Quindío  
Mpio: Buenavista

Latitud : 4° 24' N  
Longitud: 75° 44' W  
Altitud: 1203 m

MES	TEMPERATURA (°C)					PRECIPITACIÓN			
	Min. Med.	Máx. Med.	Media	Max. Abs.	Min. Abs.	Hum. Rel.(%)	Total mm.	Días Lluvia	Brillo Sol.(h)
Enero	17.3	28.1	22.3	30.0	15.4	81.1	73.0	13	134.1
Febrero	17.3	28.3	22.1	30.0	15.2	78.9	126.5	18	112.0
Marzo	17.6	28.1	22.0	31.0	15.6	80.4	192.7	23	115.8
Abril	17.3	28.3	22.3	31.2	15.4	81.4	144.5	18	142.9
Mayo	17.7	27.5	22.1	30.4	15.4	82.1	181.0	20	111.3
Junio	18.3	28.1	22.7	30.0	15.6	79.0	62.4	15	131.0
Julio	17.8	30.4	24.2	33.6	15.9	67.1	11.9	3	194.0
Agosto	17.4	30.0	23.6	33.6	14.8	68.8	57.4	9	166.8
Septiembre	17.6	29.4	23.1	33.0	15.0	73.3	79.7	12	143.6
Octubre	17.1	27.2	21.4	31.5	15.5	83.0	324.3	22	113.4
Noviembre	17.6	26.7	21.4	29.5	15.5	84.0	206.6	21	113.8
Diciembre	16.9	27.6	21.8	30.4	15.0	81.0	143.7	9	148.5
Promedio:	17.5	28.3	22.4			78.3			
Absoluta:				33.6	14.8				
Total:							1603.7	183	1627.2

*Fuente: Anuario Meteorológico Cafetero, 2014.*

Dentro de los elementos analizados para el actual estudio se destaca el comportamiento y la distribución de las precipitaciones, las cuales presentan medias mensuales de 200 mm y precipitación total anual por encima de 2.400 mm para la zona de paisaje montañoso, es decir alturas superiores a los 1.600 m. Su distribución como en todo el país es de tipo bimodal aunque por efectos de variabilidad climática se registran algunos cambios en estos ciclos de precipitaciones, principalmente asociados a los fenómenos ENSO.

A pesar de que se tienen dos temporadas de abundantes precipitaciones; en el mes de noviembre se han presentado las más fuertes crecidas de ríos y quebradas y movimientos en masa en el municipio.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

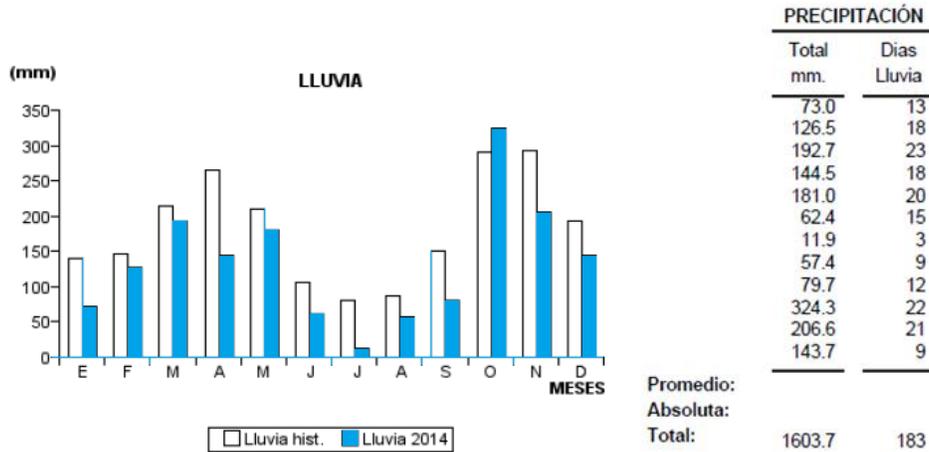


Figura 31. Distribución temporal de la precipitación para la zona de estudio.  
 Fuente: Anuario meteorológico cafetero, Estación Paraguaicito, Buenavista, Cenicafe 2014,

Las dos temporadas de menores precipitaciones son de diciembre a enero, y de junio a agosto ver Figura 31.

De lo anterior, sumado a las observaciones de campo, se puede deducir que para la zona alta de la cuenca del río Lejos, existen, y de manera marcada, un mínimo y un máximo de precipitación, para alturas semejantes y superiores a 2.400 con precipitaciones entre los 1500 a 2000 mm anuales, pero donde los procesos existentes (cárcavas, movimientos en masa, erosión laminar, etc.) sugieren que su origen puede estar en la relación directa con el volumen y duración de las lluvias; caso contrario la ausencia de estos procesos en el otro sector de la misma zona podrían estar relacionados con un mínimo de precipitaciones entre los 1.000 a 1.500 mm anuales.

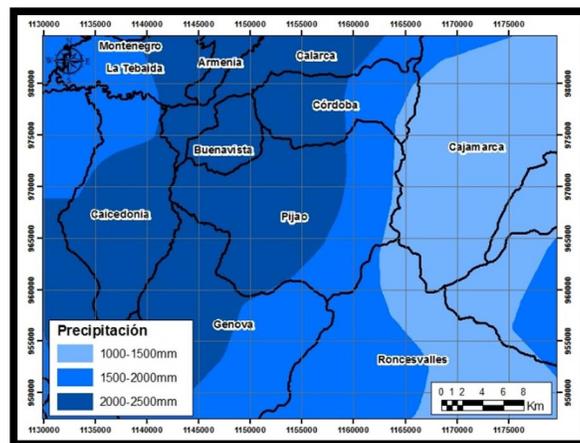


Figura 32. Distribución espacial de las precipitaciones.  
 Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016).

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

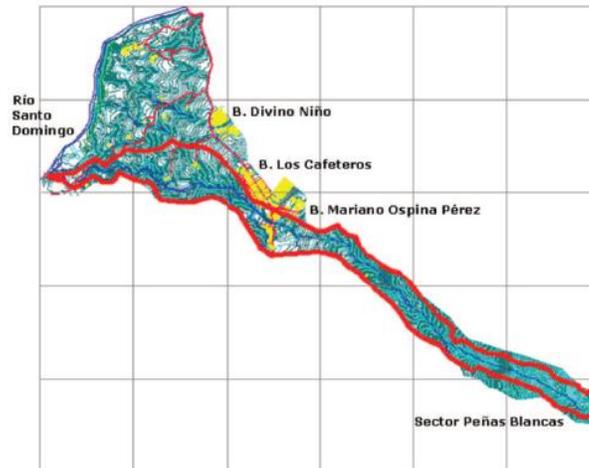
### **5.1.2. Municipio de Calarcá: Amenaza por proceso de remoción en masa sobre el cauce de la quebrada el cofre en el corregimiento de la Virginia.**

El departamento del Quindío está situado en el centro geográfico del occidente de Colombia. Su división político-administrativa se integra con 12 municipios, entre los cuales se encuentra el municipio de Calarcá. El municipio cuenta, en la zona urbana con 95 barrios, mientras que el sector rural está conformado por 27 veredas, 2 centros poblados y 3 corregimientos: Barcelona, la Virginia y Quebrada negra. El corregimiento de la Virginia se encuentra en el flanco occidental de la cordillera central, en una altitud media de 1703 msnm y hasta 6 kilómetros al sur de la cabecera municipal. Su topografía es quebrada y abrupta, con pendientes fuertes. (García, Monsalve y Lozano 2010).

Las quebradas El Cofre y Espartillal corren sobre las laderas del corregimiento, generando un aporte directo al caudal del río Santo Domingo, uno de los principales afluentes del río Quindío. la cuenca de la Quebrada El Cofre hasta la desembocadura en el río Santo Domingo. La parte alta de la cuenca tiene una cota de 2380 msnm y se encuentra en la esquina inferior derecha de la Figura 2, mientras que la desembocadura se localiza en el punto opuesto con una cota de 1400 msnm. El descenso de 980 m se hace en tan solo 3650 m, que es la longitud del cauce principal.

La pendiente promedio de la cuenca es del 52,94%, y en el Tramo 1 se incrementa hasta el 70,55%. Esta misma situación se observa en la pendiente del medio para el cauce, que para la cuenca es del 8,59%, mientras que para el Tramo 1 del 10,29%. La elevación media de la cuenca es de 1703 msnm, para el Tramo 1 es de 1838 msnm. Desde la perspectiva morfométrica, existe una marcada diferencia entre los dos puntos, hecho que se debe evidenciar en comportamientos del flujo de agua y escombros.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4



**CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA EN ESTUDIO**

PARAMETRO	HASTA PUENTE LA VIRGINIA	HASTA DESEMBOLCADURA
Longitud Cauce (m)	2.090 ,276	3.650 ,007
Área (m <sup>2</sup> )	257 .088 ,197	479 .937 ,684
Perímetro (m)	4.519 ,167	7.309 ,158
Longitud Curvas de Nivel (m)	18 .138 ,141	25 .407 ,741
Coefficiente de Compacidad	2,50	2,95
Pendiente Media Cuenca (%)	70,55	52,94
Pendiente Media Cauce (%)	10,29	8,59
Altura Máxima (msnm)	2380	1600
Altura Media (msnm)	1838	1703
Altura Mínima (msn m)	1600	1400

*Figura 33. Características de la Cuenca*  
*Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016).*

Hoy la cuenca presenta laderas inestables, cambios de cobertura, reducción de las tasas de infiltración y almacenamiento de sedimentos en el cauce. Desde la inferencia estadística, es probable que se presenten tormentas con periodos de retorno superiores a los cincuenta años en el corto o mediano plazo. Durante el trabajo de se observó un cauce móvil y activo que arrastra material grueso y que durante grandes crecientes es capaz de movilizar grandes bloques de roca. La caída de una gran tormenta podría provocar el represamiento por la falla de las zonas inestables, la remoción del material acumulado en el lecho y la generación de un flujo de escombros.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Los resultados de la simulación orientan la atención hacia dos zonas que no fueron objeto directo del estudio. La Quebrada Espartillal que pasa por el extremo sur del corregimiento de La Virginia, podría generar eventos similares. Aunque en la actualidad no se presenta flujo de escombros, el sólo flujo de agua representa una amenaza media para los habitantes del sector. Otra zona que demanda especial atención está representada por la cuenca baja, donde existen conflictos con el uso del suelo. Son pendientes pronunciadas que se encuentran con cultivos semestrales y suelos aluviales que se encuentran en zona de pastoreo (García, P; Monsalve, E.; Sandoval G., 2010).

### **5.1.3. Municipio de Salento. Amenaza por desbordamiento e inundación del Río Quindío, en la cuenca media alta del sector La Playa.**

En la inspección visual se pudo constatar dicha captura de drenaje, y que el cauce de ambos afluentes ha cambiado en este sector, debido a su dinámica con el pasar de los años; en la zona éste de la finca La Isla se evidencia que el cauce del río Quindío ha disminuido su profundidad debido al arrastre de material y posterior deposición sobre este lugar, además en este mismo sector se evidencian zonas de inundación que han afectado el predio y una de las viviendas de la finca La Isla, situación que probablemente se volvería a presentar si se cambia la dinámica del río.



*Figura 34. Imagen Río Quindío*  
*Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016).*

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

También se pudo constatar que la captura de drenaje entre el río Quindío y la quebrada Boquía se presenta de la misma forma 250 metros más arriba de la finca La Isla, por tal motivo, desde este sector la quebrada Boquía ya viene cargada con parte de las aguas del río Quindío cuando pasa por la finca La Isla, y 200 metros más arriba de este punto se puede volver a presentar otra captura de drenaje, teniendo en cuenta la dinámica del río Quindío y su acción erosiva en este punto.

En el margen derecho aguas abajo de la quebrada boquía se evidencia socavación lateral, lo cual pone en riesgo la estabilidad de la vía que conduce hacia la bocatoma.



*Figura 35. Fotografía aérea actual del sector*  
*Fuente: Naranjo y Amat (UGCA, 2016).*

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

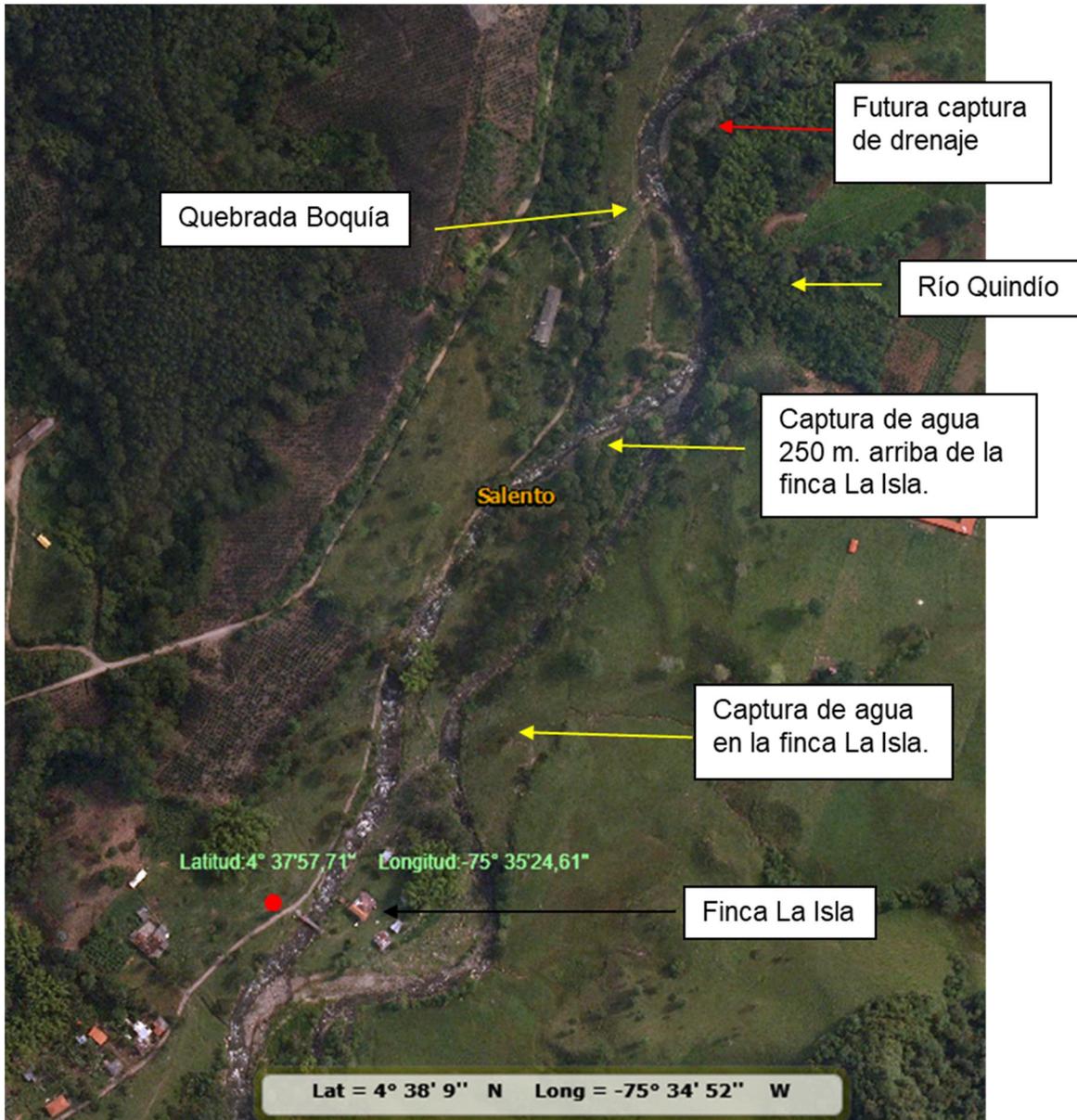


Figura 36. Fotografía satelital sacada del SIG Quindío, tomada antes de la captura de drenaje en la finca La Isla.  
Fuente: : Naranjo y Amat (UGCA, 2016).

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

## 10. DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN AFECTADA.

La población afectada por la problemática en el departamento del Quindío es, principalmente, la que habita en zonas rurales, corregimientos y veredas, representada en un 12% de la población total.

*Tabla 10. Población Afectada*

Departamento	Vereda, resguardo, comunitario, organización	pueblo, consejo	Personas	Familias	Cabecera	Zona rural, corregimientos, otros
Quindío	Todo el Departamento		571.733	175.818	502.841	68.892
<b>Total</b>			571.733	175.818	502.841	68.892

*Fuente: Proyección Población 2017 (DANE, 2005)*

### 6.1. DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN OBJETIVO.

Considerando las condiciones reales del Departamento se han priorizado los fenómenos asociados a características hidrometeorológicas y derivadas de estas tales como, los movimientos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones; y con base en la información que administra la gobernación del departamento, y las diferentes dependencias, se seleccionan los municipios de Pijao, Salento y Calarcá, debido al mayor impacto generado por este tipo de eventos:

*Tabla 11. Zonas afectadas por eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones.*

No.	MUNICIPIO	AMENAZA	MONITOREO
1	Pijao	AV. Torrencial - RM	MRM
2	Génova	AV. Torrencial - RM	Nivel del río - Meteorológico
3	Calarcá	AV. Torrencial - RM	Nivel del río - Meteorológico
4	Pijao	AV. Torrencial - RM	Nivel del río - Meteorológico
5	Pijao	AV. Torrencial - RM	MRM

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

No.	MUNICIPIO	AMENAZA	MONITOREO
6	Pijao	AV. Torrencial - RM	Nivel del río - Meteorológico
7	Génova	AV. Torrencial - RM	Nivel del río - Meteorológico
8	Pijao	AV. Torrencial- RM	Nivel del río - Meteorológico
9	Salento	Inundación	Nivel del río - Meteorológico
10	Quimbaya	Inundación	Nivel del río - Meteorológico
11	Montenegro	Inundación	Nivel del río - Meteorológico
12	Salento	Inundación	Nivel del río - Meteorológico
13	Tebaida	Inundación	Nivel del río - Meteorológico
14	Calarcá	Remoción en masa	MRM - Meteorológico
15	Calarcá	Remoción en masa	MRM - Meteorológico
16	Córdoba	Remoción en masa	MRM

Fuente: Udegerd (2018).

Tabla 12. Población objetivo por municipio y zona priorizada

Municipio	Vereda/Corregimiento	Exposición a:	Población objetivo
Pijao		Avenidas torrenciales	Urbano: 3654 habitantes Rural: 2386 habitantes.
Calarcá	Corregimiento La Virginia: Veredas Las palmas/Santo Domingo/la Virginia/Las Palomas.	Remoción en masa	3600 – 4000 habitantes, 290 viviendas
Salento	Vereda Cócora	Inundaciones	155 habitantes
	Vereda Boquía		438 habitantes y 277 predios
	Vereda el Agrado		56 habitantes
		<b>Total</b>	<b>10.289</b>

Fuente: Unidad Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres del Quindío – UDEGERD (2018).

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

Tabla 13. Población Objetivo por género

Región: Andina		Número de Beneficiarios por Condición				
Municipio	Entidad	Familias	Hombres	Mujeres	Edad	Total
Salento	Municipal		328	321		649
Calarcá	Municipal		1796	1804		3600
Pijao	Municipal		2.991	3.049		6.040
<b>Total</b>			<b>5.115</b>	<b>5.174</b>		<b>10.289</b>

Fuente: Proyecciones Población 2017 (DANE, 2005)

## 6.2. DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN OBJETIVO

A continuación, se presenta una descripción general de la población que habita cada uno de los municipios objeto de intervención:

### PIJAO

Está dividido territorialmente en 23 veredas y la cabecera municipal. Según las proyecciones del Dane (2005) al año 2017 el municipio cuenta con 6.040 habitantes, de los cuales el 49,5% son del género masculino y el 50,5% restante pertenecen al género femenino. El 60,5% de la población se ubica en zona urbana y el 39,5% restante se ubican en zona rural.

Las principales actividades económicas que desarrolla la población en el municipio son la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca con un 48,8%, seguido de la construcción con el 16,02%, las actividades de servicios sociales con un 12,09%, y el comercio, reparación, restaurantes y hoteles con un 10,72%.

### CALARCÁ

Conformada por la cabecera municipal y tres corregimientos: Barcelona, La Quebrada y La Virginia. Según las proyecciones del Dane (2005) al año 2017 el municipio cuenta con 78.385 habitantes, de los cuales el 49,9% pertenecen al género masculino y el 50,1% restante hace parte del género femenino. El 76,9% se ubica en el área urbana y el 23,01% restante se ubican en zona rural.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

Las principales actividades económicas que desarrolla la población en el municipio son la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca con un 21,16%, seguido de las actividades de servicios sociales con un 19,66%. Así mismo, se realizan actividades de construcción y comercio (reparación, restaurantes y hoteles) con un 16,02% y un 15.74% respectivamente.

## SALENTO

Lo conforman la cabecera municipal y 17 veredas en al área rural. Según las proyecciones del Dane (2005) al año 2017 el municipio cuenta con 7.103 habitantes, de los cuales el 50,5% pertenecen al género masculino y el 49,5% al género femenino. El 753,65% se ubica en zona urbana y el 46,35% restante se ubican en zona rural.

Las principales actividades económicas que desarrolla la población en el municipio son la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca con un 22,30%, seguido de las actividades de comercio, reparación, restaurantes y hoteles con un 21,17%, y el sector construcción con un 15,99%.

## 11. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE PARTICIPANTES

### 11.1. Identificación de participantes

Para efectos de identificar las partes involucradas en el proyecto se desarrolló la matriz descrita en la Tabla 14 que incluye un gran número de actores que juegan un papel fundamental en el proceso de la gestión del riesgo de desastres en el Departamento. Se ha definido su participación como Cooperantes porque su aporte es valioso para la ejecución de las diferentes etapas del proyecto y se han identificado expectativas y potenciales acciones de gestión acorde a la función misional de cada uno de ellos.

Tabla 14. Matriz de Identificación de Participantes

Actor	Entidad	Posición	Intereses o expectativas	Contribución o gestión
Nacional	Gobernación del Departamento del Quindío	Cooperante	Proporcionar a la población condiciones de seguridad y	Gestión de recursos para el desarrollo de mecanismos de

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

Actor	Entidad	Posición	Intereses o expectativas	Contribución o gestión
			bienestar.	alerta temprana ante situaciones de riesgos de desastres naturales.
Nacional	Servicio Geológico Colombiano - Dirección de Geomenazas	Cooperante	Suministrar información precisa y actualizada para la toma de decisiones	Apoyo técnico y científico en la evaluación y monitoreo de amenazas de origen geológico, la gestión integral del conocimiento geocientífico.
Nacional	Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC	Cooperante	Suministrar información precisa y actualizada para la toma de decisiones	Apoyo técnico y científico en el suministro de información en geodesia, geografía, cartografía.
Nacional	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam	Cooperante	Suministrar información precisa y actualizada para la toma de decisiones, fortalecer el proceso de pronósticos y evaluación del comportamiento de los fenómenos	Apoyo técnico y científico en el suministro de información hidrológica, meteorológica y ambiental del Departamento.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

Actor	Entidad	Posición	Intereses o expectativas	Contribución o gestión
			hidrológicos y meteorológicos	
Departamental	CRQ - Corporación Autónoma regional del Quindío	Cooperante	Favorecer las condiciones medioambientales del departamento y mitigar el impacto de los fenómenos naturales en el territorio	Lineamientos y acciones para análisis, seguimiento, prevención y control de desastres, en coordinación con las demás autoridades competentes, y asistencia en aspectos medioambientales en la prevención y atención de emergencias y desastres; gestión de programas para adecuación de áreas urbanas en zonas de alto riesgo, tales como control de erosión, manejo de cauces y reforestación.
Departamental	Cruz roja colombiana-seccional Quindío	Cooperante	Proteger la integridad física de la población	Mecanismos de asistencia humanitaria en la gestión de riesgos

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

Actor	Entidad	Posición	Intereses o expectativas	Contribución o gestión
				o calamidad pública para el manejo de emergencias o desastres.
Departamental	Defensa civil colombiana- seccional Quindío	Cooperante	Proteger la integridad física de la población	Estrategias y protocolos para la preparación y ejecución de respuestas a las emergencias y desastres naturales o antrópicos; participa en la rehabilitación social y ambiental, entrenamiento y organización de la comunidad.
Departamental	Ejército Nacional - Batallón de Ingenieros No. 8 Francisco Javier Cisneros	Cooperante	Proteger la integridad física de la población y el orden en el territorio	Apoyo a través de protocolos y mecanismos de protección de la población civil
Departamental	Departamento de policía Quindío	Cooperante	Proteger la integridad física de la población y el orden en el territorio	Mecanismos de atención de emergencias por peligros o riesgos ambientales ante la posible afectación a la integridad de la

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

Actor	Entidad	Posición	Intereses o expectativas	Contribución o gestión
				comunidad, el medio ambiente y la seguridad.
Otro	Empresas Públicas del Quindío	Cooperante	Suministrar apoyo logístico y de infraestructura al territorio	Infraestructura institucional para la prestación de servicios públicos domiciliarios de Acueducto, Alcantarillado y Gas.
Otro	Empresas públicas de armenia	Cooperante	Suministrar apoyo logístico y de infraestructura al territorio	Infraestructura institucional para la prestación de servicios públicos domiciliarios de agua potable y saneamiento básico.
Otro	EFIGAS-regional eje cafetero	Cooperante	Suministrar apoyo logístico y de infraestructura al territorio	Infraestructura institucional para la prestación de servicios públicos domiciliarios de gas natural.
Otro	ISSQ - Instituto Seccional de Salud del Quindío	Cooperante	Proteger la integridad física y salud de la población	Protocolos para la atención de emergencias por desastres naturales.
Otro	EDEQ – Empresa de energía del Quindío	Cooperante	Suministrar apoyo logístico y de infraestructura al	Infraestructura institucional para la prestación de

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

Actor	Entidad	Posición	Intereses o expectativas	Contribución o gestión
			territorio	servicios públicos domiciliarios de energía.
Otro	Movistar-telefónica Telecom	Cooperante	Garantizar la infraestructura de comunicaciones	Infraestructura tecnológica para las comunicaciones y gestión de la información.
Departamental	Unidad departamental de gestión del riesgo de desastres Quindío	Cooperante	Salvaguardar la integridad física de la población y del departamento.	Directrices para la implementación de la gestión del riesgo de desastres, atendiendo las políticas de desarrollo sostenible, y coordina el funcionamiento y el desarrollo continuo del sistema nacional para la prevención y atención de desastres – SNPAD.
Departamental	Cuerpo de Bomberos del Quindío	Cooperante	Proteger la integridad física de la población y la infraestructura del territorio	Mecanismos y protocolos para la atención y respuesta ante emergencias por desastres

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

Actor	Entidad	Posición	Intereses o expectativas	Contribución o gestión
				naturales.
Otro	Universidad del Quindío	Cooperante	Aportar al bien común de la sociedad y generar capacidades institucionales	Transferencia de conocimiento a través de los grupos de investigación con especialidad en gestión de riesgos.
Otro	Universidad la Gran Colombiana – Seccional Armenia	Cooperante	Ser partícipes desde la Academia aportando insumos para la gestión del proyecto.	Transferencia de conocimiento a partir de los resultados de investigaciones en las sublíneas de vulnerabilidad y gestión del riesgo.
Otro	Universidad San Buenaventura Medellín – Extensión Armenia	Cooperante	Apoyo de expertos y estudiantes del Programa de Arquitectura de la Institución	Capacidad, infraestructura, recurso humano con fortalezas en investigación y desarrollo tecnológico.
Otro	Comunidad	Cooperante	Atención y respuesta inmediata ante situaciones de riesgo que aseguren su bienestar	

Fuente: Elaboración Propia.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

### **11.2. Análisis de participantes**

Se establecerán acuerdos entre las partes donde se estipularán las obligaciones y responsabilidades de cada entidad. Se estructurará un comité técnico que realizará la labor de monitoreo, seguimiento y control. Así mismo, se documentarán las lecciones aprendidas durante la ejecución del proyecto que permitirá tener referencias para la replicabilidad de este en otras zonas del Departamento del Quindío e incluso del país.

Se designará un Gerente de Proyecto que velará por el cumplimiento de los objetivos del proyecto y deberá responder por los entregables con las entidades participantes. Así mismo, en las etapas de inicio y planificación del proyecto, una vez sea aprobado, se realizará una validación de la identificación de los interesados, un plan para la gestión de los interesados y un plan de comunicaciones, con el propósito de asegurar que se cumplan las expectativas de cada uno en el marco de los objetivos del proyecto.

## **12. IDENTIFICACIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN**

Nombre alternativa de solución: Desarrollar un prototipo de sistema inteligente de alerta temprana para la prevención de desastres por remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación en el departamento del Quindío.

El desarrollo de un prototipo de sistema de alerta temprana para la gestión del riesgo de desastres, es la alternativa que ha sido seleccionada para ser ejecutada. El propósito es desarrollar un conjunto de elementos que integrados permitan generar datos e información confiable para la toma de decisiones en tiempo real.

Esta alternativa implica el desarrollo de un subsistema de monitoreo y estaciones base para la atención de tres (3) eventos, a saber, remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones, en tres (3) zonas priorizadas del departamento del Quindío (Salento, Pijao y Calarcá), a partir de la integración de alternativas tecnológicas (nodos sensores) que generan datos y emiten señales de advertencia cuando ocurre una anomalía y que pueden variar acorde a las variables que se desean medir.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Así mismo, incluye el desarrollo de una plataforma tecnológica para la gestión de la información técnica que arrojará el sistema de monitoreo, cuyos datos permitirán la adecuada toma de decisiones y la emisión de alertas en tiempo real, integrando la información que se genere en las tres zonas, que será centralizada y administrada por la Unidad Departamental para la Gestión del Riesgo – UDEGERD Quindío.

Esta plataforma contempla la integración de un modelo estadístico que será desarrollado para predecir la ocurrencia de los fenómenos y generar alertas con mayores tiempos de respuesta para evacuaciones o implementación de acciones de mitigación.

Finalmente, se realizará una validación técnica y operativa del Sistema de Alerta Temprana para asegurar su correcto funcionamiento y verificar que cumpla con los requerimientos establecidos para cada fenómeno, involucrando a las partes interesadas en el ámbito local y nacional, así como a los proveedores de las alternativas tecnológicas.

### **13. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN**

Para calcular la relación costo beneficio de la alternativa de solución se utilizó la técnica de costos evitados o inducidos, método de gran utilidad cuando el producto bajo análisis no se comercializa en el mercado, pero demuestra una relación de sustitución con otro bien o servicio que sí lo hace y que por tanto posee un precio que puede asimilarse para estimar los beneficios en términos de los ahorros o pagos dejados de realizar.

Considerando que un sistema de alerta temprana busca salvaguardar la mayor cantidad de personas mediante acciones coactivas oportunas antes que ocurran los desastres naturales, se espera que los valores de pérdidas se limiten en lo más posible a pérdidas materiales; las labores de logística de salvamento, gastos hospitalarios, expediciones de rescate, pagos de pólizas de seguro y gastos exequiales representan un gran valor tanto para las entidades territoriales responsables como para el gobierno nacional.

Con base en una concepción relativa a los gastos en dichos rubros en desastres similares o que involucran remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones ocurridos en los últimos años en el territorio colombiano, se realizó el análisis para cada uno de los tres puntos priorizados en términos de los siguientes beneficios:

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

- *Ahorro en gastos exequiales.* Los gastos de pérdidas humanas representan valores cuantiosos cuando se requieren sepelios a una tasa mayor que el promedio de decesos normales. Si la pérdida de vidas se logra evitar una vez esté implementado y en funcionamiento el SAT, y considerando que las comunidades que el proyecto busca beneficiar son comunidades vulnerables, de baja capacidad adquisitiva, que son asistidas por el municipio o la gobernación para asumir los gastos fúnebres en caso que sea necesario, se lograría un ahorro o disminución de ese gasto para las entidades correspondientes.
- *Ahorro en costos por pólizas de seguros de vida.* Las pólizas de vida poblacional adquirida por el municipio o gobernación para población vulnerable o aquellas que las personas asumen cuando tienen productos financieros asociados a créditos educativos, agrarios, etc., representan un alto costo por parte de las entidades bancarias que pueden ser en última instancia cubiertas por las entidades territoriales.
- *Ahorro en costos por atención médica hospitalaria.* En caso que se presente una eventualidad los costos médicos promedio por persona los asume el Estado. Este beneficio se calcula con base en los seguros médicos que incluyen un monto para la atención de urgencias y gastos médicos básicos por un periodo de un mes.

A continuación se presenta el cálculo de los beneficios para cada punto priorizado:

*Tabla 15. Beneficios Población Pijao*

**PIJAO.** Población beneficiada: Centro urbano de Pijao 3654 personas.

<b>Beneficio</b>	<b>Efecto Directo/indirecto</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
Ahorro en gastos exequiales	Costos del Presupuesto del municipio y gobernación, no presupuestados.	Costos exequiales por persona	3654	\$1.900.000	\$6.942.600.000
Ahorro en costos por pólizas de seguros de vida	Costos del Presupuesto del municipio y gobernación, no presupuestados.	Valor de Póliza de vida por persona por año.	3654	\$540.000	\$1.973.160.000

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Beneficio	Efecto Directo/indirecto	Unidad de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Ahorro en costos por atención médica hospitalaria.	Costos del Presupuesto del municipio y gobernación, no presupuestados.	Costos médicos por persona por mes.	3654	\$10.000.000	\$36.540.000.000
				<b>Total</b>	<b>\$45.455.760.000</b>

*Fuente: Unidad Departamental de Gestión del Riesgo (2018)*

*Tabla 16. Beneficios Población de Salento.*

**SALENTO:** Población beneficiada: vereda Cocora con 155 habitantes, vereda El Agrado con 56 personas y la Vereda Boquia con 438 habitantes, para una población total de 649 personas.

Beneficio	Efecto Directo/indirecto	Unidad de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Ahorro en gastos exequiales	Costos del Presupuesto del municipio y gobernación, no presupuestados.	Costos exequiales por persona	649	\$1.900.000	\$1.233.100.000
Ahorro en costos por pólizas de seguros de vida	Costos del Presupuesto del municipio y gobernación, no presupuestados.	Valor de Póliza de vida por persona por año.	649	\$540.000	\$350.460.000
Ahorro en costos por atención médica hospitalaria.	Costos del Presupuesto del municipio y gobernación, no presupuestados.	Costos médicos por persona por mes.	649	\$10.000.000	\$6.490.000.000
				<b>TOTAL</b>	<b>\$8.073.560.000</b>

*Fuente: Unidad Departamental de Gestión del Riesgo (2018)*

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

Tabla 17. Beneficios Población de Calarcá

**CALARCÁ:** Población beneficiada: Corregimiento la virginia de Calarcá 4.000 personas.

Beneficio	Efecto Directo/indirecto	Unidad de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Ahorro en gastos exequiales	Costos del Presupuesto del municipio y gobernación, no presupuestados.	Costos exequiales por persona	4000	\$1.900.000	\$6.840.000.000
Ahorro en costos por pólizas de seguros de vida	Costos del Presupuesto del municipio y gobernación, no presupuestados.	Valor de Póliza de vida por persona por año.	4000	\$540.000	\$1.944.000.000
Ahorro en costos por atención médica hospitalaria.	Costos del Presupuesto del municipio y gobernación, no presupuestados.	Costos médicos por persona por mes.	4000	\$10.000.000	\$36.000.000.000
				<b>TOTAL</b>	\$49.760.000.000

Fuente: Unidad Departamental de Gestión del Riesgo (2018)

Para efectos de calcular los indicadores financieros y la relación costo beneficio se tomó el evento de avenida torrencial priorizado en el municipio de Pijao, con base en los datos históricos que indican que la probabilidad de ocurrencia es más alta y afectaría directamente a un 25-30% de la población objetivo. En la Tabla siguiente se presenta el impacto generado:

Tabla 18. Cálculo de beneficios para evaluación económica

Beneficio	Unidad de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Ahorro en gastos exequiales	Costos exequiales por persona	183	\$1.900.000	\$347.700.000
Ahorro en costos por pólizas de seguros de vida	Valor de póliza de vida por persona por año.	457	\$540.000	\$246.780.000

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

Beneficio	Unidad de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Ahorro en costos por atención médica hospitalaria.	Costos médicos por persona por mes.	274	\$10.000.000	\$2.740.000.000
			<b>Total</b>	<b>\$3.334.480.000</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 19. Proyección de Beneficios. Ahorro en gastos exequiales*

Periodo	Unidad	cantidad	Total Beneficios
1	personas	42	\$79.800.000
2	personas	60	\$114.000.000
3	personas	81	\$153.900.000
	<b>TOTAL</b>	<b>183</b>	<b>\$347.700.000</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 20. Proyección de Beneficios. Ahorro en costos por pólizas de seguros de vida.*

Periodo	Unidad	cantidad	Total Beneficios
1	personas	91	\$49.140.000
2	personas	137	\$73.980.000
3	personas	229	\$123.660.000
	<b>TOTAL</b>	<b>457</b>	<b>\$246.780.000</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 21. Proyección de Beneficios. Ahorro en costos por atención médica hospitalaria.*

Periodo	Unidad	cantidad	Total Beneficios
1	personas	55	\$550.000.000
2	personas	82	\$820.000.000
3	personas	137	\$1.370.000.000
	<b>TOTAL</b>	<b>274</b>	<b>\$2.740.000.000</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**Entregable 3** Ë Departamento del Quindío  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

*Tabla 22. Evaluación Económica*

Indicadores de rentabilidad			Indicadores de costo-eficiencia	Indicadores de costo mínimo	
Valor Presente Neto (VPN)	Tasa Interna de Retorno (TIR)	Relación Costo Beneficio (RCB)	Costo por beneficiario	Valor presente de los costos	Costo Anual Equivalente (CAE)
<b>Alternativa:</b> Desarrollar un sistema inteligente de alerta temprana para la prevención de desastres por remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación en el departamento del Quindío					
\$39.441.218,62	13,10 %	\$1,02	\$197.065,09	\$2.027.602.750,04	\$12.985.407,38

*Fuente: MGA – Módulo de Evaluación*

Bajo este escenario, se considera que la alternativa de solución planteada es viable.

#### 14. METODOLOGÍA, ACTIVIDADES Y PRODUCTOS

Para el desarrollo metodológico de esta propuesta se plantean 3 fases principales las cuales registran actividades conducentes a lograr los objetivos planteados.



*Figura 37. Metodología SAT Quindío*  
*Fuente:Elaboración Propia*

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

A continuación, se realiza una descripción detallada de cada una de las fases:

### **FASE 0. Alistamiento del Proyecto.**

El proyecto inicia con la planificación de su ejecución, definiendo el Plan del Proyecto y la estructura administrativa y operativa para su implementación. Esta labor estará a cargo del Director del proyecto y su equipo de apoyo, con el soporte de los funcionarios de la Gobernación del Quindío que sean asignados para los diferentes procesos y el apoyo de las entidades que participarán en el proyecto.

### **FASE 1. Diseño del sistema de monitoreo de variables para mitigar los efectos que produce las avenidas torrenciales, inundaciones y remoción en masa en el departamento del Quindío.**

Esta fase conduce al diseño de un “prototipo de Sistema de Monitoreo de variables de eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación”, el cual debe caracterizar e identificar variables de entrada a monitorear, tecnologías a implementar para la adquisición de datos y la comunicación de estos.

Para poder alcanzar esta fase inicialmente se establecerá el marco fundamental del sistema de monitoreo para la gestión del riesgo, para lo cual es importante realizar una revisión del estado actual de la bibliografía relacionada a este tema, con el fin de identificar tecnologías y soluciones similares que permitan abordar este problema en el contexto mundial, nacional y local. En esta fase es necesario determinar los factores que tienen mayor influencia sobre los fenómenos relacionados a los eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación, con el propósito de poder definir variables y escenarios a los cuales estará expuesto el sistema de monitoreo. De igual manera, en la definición de este escenario, se llevarán a cabo visitas a entidades locales, que permitan realizar un análisis de requerimientos y protocolos para generar la alerta a través del sistema de monitoreo. Con base en esto, se debe visitar el terreno en donde se ubicarán los equipos para capturar los requerimientos de obra civil, energía, sistema de comunicación, entre otros, previos a la implementación de la solución tecnológica. Lo anterior permitirá realizar una caracterización de los requerimientos tecnológicos del prototipo de sistema de monitoreo para gestión del riesgo. Esto finalmente permitirá realizar una representación de bloques funcionales para el prototipo ante la aparición de los fenómenos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación en el departamento del Quindío.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Seguidamente, se definirá la arquitectura general del sistema de monitoreo, subsistema de telecomunicaciones y subsistema de energía. Para esto se identificarán y evaluarán las características de las posibles tecnologías propuestas para el desarrollo del prototipo del sistema de alerta temprana, tales como plataformas de adquisición de datos, entre otros. De igual manera se definirá una arquitectura general del sistema de telecomunicaciones para el monitoreo de variables relacionadas a la gestión del riesgo de los eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación, en donde se determinarán aspectos del subsistema de telecomunicaciones, tales como la mejor tecnología a implementar, el sistema de direccionamiento, protocolos de comunicaciones y frecuencias posibles a utilizar. También en esta actividad se deben presentar y determinar las soluciones de energía renovable para la alimentación de nodos sensores y estaciones base, que garantice la autonomía del sistema en forma continua.

Con base en la información obtenida en la actividad anterior se evaluarán y seleccionarán los sensores y equipos necesarios para el prototipo de sistema de monitoreo de gestión de riesgo. Es en esta actividad en donde se evaluarán los sensores y plataformas de adquisición y transmisión de la información obtenida en cada una de los puntos de observación definidos anteriormente. De acuerdo a la evaluación obtenida se realizará la selección de los sensores y equipos necesarios para el sistema de monitoreo de variables afines a la problemática expuesta en este proyecto para el departamento de Quindío. Finalmente, en esta actividad se realizarán los códigos y configuración de prueba de los nodos sensores que harán parte del sistema de monitoreo.

Finalmente para completar esta primera fase se realizaría el desarrollo de un prototipo de nodo sensor y estación base que realice monitoreo de las variables en tiempo real, para lo cual se debe empezar con el diseño e implementación de una estación base local para el sistema de monitoreo de las variables de la gestión del riesgo de los fenómenos priorizados. Posteriormente se realizará la implementación de códigos y configuraciones de nodos sensores y estaciones base. Una vez realizado este paso se realizan pruebas de conectividad en diferentes ambientes de propagación de señales, con el fin de establecer pérdidas de paquetes, retardos y cualquier otro factor que pueda afectar la comunicación.

Una vez realizado el paso anterior se realizarán los ajustes de transmisión de datos necesarios en los equipos de acuerdo con las pruebas realizadas. Ya con los nodos funcionando y con

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

pruebas de comunicación entre nodos y estación base para recepción de información se procederá a implementar el prototipo de arquitectura de red planteado con anterioridad para realizar pruebas de campo en los puntos de monitoreo priorizados. Con base a estas pruebas se realizarán ajustes de verificación del funcionamiento de los equipos en los puntos de monitoreo. Todo este proceso llevará una labor de documentación del funcionamiento del sistema de monitoreo.

## **FASE 2. Implementación de un sistema de información que permita gestionar las alertas ante la presencia de los eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el departamento del Quindío.**

Mediante esta etapa se consolida el diseño y construcción del sistema de información que permita gestionar las alertas ante la presencia de los eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el departamento del Quindío.

Siendo la plataforma tecnológica para la gestión del sistema el producto final, para la obtención del mismo, iniciamos con diseñar la estructura de gestión de la información del sistema, para lo cual, empezaremos con analizar los requerimientos de base de datos para integración y reporte de la información con conectividad en la nube, siguiendo a esto, se necesitará identificar alcance de la infraestructura a implementar para el sistema de información de gestión del riesgo, luego Delimitar la tecnología, lenguaje de programación y motor de almacenamiento de la plataforma a diseñar, para que finalmente se pueda realizar el documento de requerimientos de la plataforma y que con el mismo se permita implementar los módulos necesarios para la integración de los actores locales que participen en el proceso de gestión del riesgo en el Departamento. De manera conjunta, durante el desarrollo de esta etapa se desea Configurar el sistema de control de versionamiento a utilizar.

La segunda parte de esta etapa corresponde a desarrollar un modelo estadístico predictivo para el análisis de la información y la gestión de las alertas ante los eventos de remoción en masa, inundación y avenidas torrenciales. Esta inicia con determinar el modelo estadístico/probabilístico a implementar, el cual requiriere de definir variables de entrada del modelo estadístico predictivo a desarrollar. Con este modelo, realizar pruebas de hipótesis para simulaciones de los fenómenos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación, para luego poder integrar el modelo al sistema de información. Del mismo, durante la ejecución de

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

esta parte se pretende realizar un entrenamiento en predicción de riesgos con los actores locales, coordinada por la Gobernación del Quindío.

Dentro de la tercera parte de esta etapa, se espera diseñar las herramientas de tratamiento de información del sistema, iniciando con codificar los diferentes módulos de la plataforma para monitoreo de variables de gestión del riesgo de los eventos remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación, para luego integrar los diferentes módulos del sistema de información para el análisis predictivo de alertas ante la presencia de eventos de remoción en masa, inundación y avenidas torrenciales, y posteriormente realizar pruebas locales de los módulos del sistema de información.

La cuarta parte busca diseñar las herramientas de interacción de usuarios del sistema, lo cual implica crear una plataforma web para la gestión del riesgo, que se encargue del almacenamiento, transmisión, retransmisión, consulta de datos y generar una aplicación móvil que se integre con el sistema de información como complemento de la gestión del riesgo ante los eventos remoción en masa, inundación y avenidas torrenciales.

La última parte de esta etapa, completadas las etapas anteriores, busca evaluar la integración de los componentes de interfaz de usuario y tratamiento de la información. Para tal fin, se parte por diseñar e implementar las pruebas de la plataforma para la integración y reporte de datos con conectividad en la nube, las cuales permitirán realizar documento de pruebas de la plataforma de integración y reporte de datos con conectividad en la nube, los mismos serán útiles para identificar el margen de error de los módulos para la plataforma de integración y reporte de datos con conectividad en la nube, con los cuales se deberán realizar los ajustes requeridos acorde a los resultados de las pruebas, para así realizar el documento de integración de datos y concluir con generar análisis de los datos previamente almacenado.

### **FASE 3. Validación de protocolos y operación del prototipo de Sistema de Alerta Tempranas (SAT) para Quindío.**

Esta actividad se encamina a tener la validación del SAT funcionando correctamente. Para esto se plantean tres actividades principales.

Inicialmente se realizarán las pruebas del sistema integrado de alerta temprana, esto es con el sistema de monitoreo y de información integrado. Para esto se diseñarán los diferentes

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

escenarios para la realización de las pruebas, esto es, posibles situaciones bajo las cuales estará operando el prototipo. Una vez diseñado los escenarios, se ejecutarán pruebas de funcionamiento de acuerdo con los diseños planteados. De acuerdo con los test realizados se analizarán los resultados de cada una de las pruebas, con el fin de evaluar y ajustar los tiempos de respuesta del sistema integrado de alerta temprana.

Posteriormente, una segunda actividad será la de comprobar que los procedimientos y protocolos del sistema de alerta temprana operan correctamente, es decir, que una vez se genere la alerta se tengan las respuestas adecuadas por cada uno de los organismos y entidades que harán uso del mismo. Para llevar a cabo la actividad, un primer paso será realizar pruebas de reacción ante las alarmas con las diferentes entidades encargadas de gestionar el riesgo ante los eventos de remoción en masa, avenida torrencial e inundaciones en el Departamento del Quindío. De acuerdo con los resultados que se obtengan en las pruebas se efectuarán los ajustes necesarios con el fin de que la reacción ante una alarma del SAT sea atendida de la mejor manera.

Finalmente, en esta fase se diseñarán mecanismos de sostenibilidad y mantenimiento del prototipo de SAT, con el fin de garantizar la operación del prototipo con el tiempo. Un primer paso para lograr el alcance de esta actividad será realizar un entrenamiento al personal encargado de administrar el sistema de alerta temprana desarrollado, con el fin de realizar la debida transferencia de conocimiento. También se diseñará un instructivo que incluya pruebas de mantenimiento correctivo y preventivo en la plataforma con el fin de poder abordar cualquier falla menor en el prototipo por parte de la gobernación del Quindío.

**14.1. CADENA DE VALOR**

*Tabla 23. Cadena de Valor*

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PRODUCTOS	UNIDAD	META	ACTIVIDADES	
Desarrollar un sistema de monitoreo de variables	Prototipo de Sistema de Monitoreo de variables	Número	1	A1. Alistamiento del Proyecto	Modelo de un

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

<p>ambientales que permita mitigar los efectos que produce las avenidas torrenciales, inundaciones y remoción en masa en el departamento del Quindío</p>	<p>de eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación.</p>			<p>A2. Definir el marco fundamental del sistema de monitoreo para la gestión del riesgo</p> <p>A3. Definir la arquitectura general del sistema de monitoreo, telecomunicaciones y energía</p> <p>A4. Evaluar y seleccionar los sensores y equipos</p> <p>A5. Desarrollar un prototipo de nodo sensor y estación base que realice monitoreo de las variables en tiempo real.</p>	<p>sistema inteligente de alerta temprana replicable en otras zonas del departamento y la región</p> <p>Fortalecimiento de la Infraestructura operativa y tecnológica del departamento frente a la gestión del riesgo de desastres</p>
<p>Implementar un sistema de información que permita gestionar las alertas ante la presencia de los eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el departamento del Quindío.</p>	<p>Plataforma tecnológica para la gestión del sistema</p>	<p>Número</p>	<p>1</p>	<p>A6. Diseñar la estructura de gestión de la información del sistema.</p> <p>A7. Desarrollar un modelo estadístico predictivo para el análisis de la información y la gestión de las alertas ante los eventos de remoción en masa, inundación y avenidas torrenciales.</p> <p>A8. Diseñar las herramientas de tratamiento de información del sistema</p> <p>A9. Diseñar herramientas de interacción de usuarios del sistema.</p> <p>A10. Evaluación de la integración de los componentes de interfaz de usuario y tratamiento de la</p>	<p>Articulación de los actores del sistema de gestión del riesgo de desastres en la implementación y operación del Sistema de Alerta Temprana</p>

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

				información.	
Validar el funcionamiento del sistema de alerta temprana para determinar su comportamiento en condiciones reales en el departamento del Quindío.	Protocolos de Operación del Sistema de Alerta Temprana	Número	1	A11. Realizar las pruebas del sistema integrado de alerta temprana	
				A12. Comprobar que los procedimientos y protocolos del sistema de alerta temprana operan correctamente	
				A13. Diseñar los mecanismos de sostenibilidad y mantenimiento del sistema	
				A14. Gestión Administrativa del Proyecto.	
				A15. Apoyo a la supervisión	

Fuente: Elaboración Propia

#### 14.2 LÓGICA DE INTERVENCIÓN

PRODUCTOS	ACTIVIDADES	SUB-ACTIVIDADES
<b>PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES DE EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA, AVENIDAS TORRENCIALES E INUNDACIÓN.</b>	A1. Alistamiento del Proyecto	Definición del Plan de Proyecto y estructura operativa y administrativo para su ejecución
	A2. Definir el marco fundamental del sistema de monitoreo para la gestión del riesgo	Realizar una revisión del estado actual de la bibliografía relacionada a sistemas de monitoreo para gestión del riesgo
		Identificar los factores que tienen mayor influencia sobre las variables de eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación
		Análisis de requerimientos y protocolos para generar la alerta

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

	<p>Realizar una visita técnica para captura de requerimientos previos a la implementación de la solución tecnológica</p> <p>Caracterizar los requerimientos del sistema de monitoreo para gestión del riesgo.</p> <p>Representar mediante bloques funcionales el sistema de monitoreo para gestión del riesgo de los fenómenos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación.</p>
<p>A3. Definir la arquitectura general del sistema de monitoreo, telecomunicaciones y energía</p>	<p>Identificar y evaluar las tecnologías propuestas para el desarrollo del prototipo del sistema de alerta temprana.</p> <p>Definir una arquitectura general del sistema de telecomunicaciones para el monitoreo de variables relacionadas a la gestión del riesgo de los eventos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación.</p> <p>Generar soluciones de energía renovable para la alimentación de nodos sensores y estaciones base, que garantice la autonomía del sistema en forma continua.</p>
<p>A4. Evaluar y seleccionar los sensores y equipos</p>	<p>Evaluar los sensores y plataformas de monitoreo para la transmisión de la información.</p> <p>Seleccionar los sensores y equipos necesarios para el sistema de monitoreo de variables ambientales.</p> <p>Realizar códigos y configuración de prueba de los nodos sensores que harán parte del sistema de monitoreo.</p>
<p>A5. Desarrollar un prototipo de nodo sensor y estación base que realice monitoreo de las variables en tiempo real.</p>	<p>Diseñar e implementar una estación base local para el sistema de monitoreo de las variables de la gestión del riesgo de los fenómenos priorizados.</p> <p>Desarrollar códigos y configuraciones de aplicación final de nodos sensores y estaciones base.</p>

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

<p><b>PLATAFORMA TECNOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DEL SISTEMA</b></p>		<p>Realizar pruebas de conectividad en diferentes ambientes de propagación de señales.</p> <p>Realizar ajustes de transmisión de datos en los equipos de acuerdo con las pruebas realizadas.</p> <p>Implementar un prototipo de arquitectura de red para realizar pruebas de campo en los puntos de monitoreo priorizados.</p> <p>Realizar ajustes de verificación del funcionamiento de los equipos en los puntos de monitoreo.</p> <p>Documentar el funcionamiento de la plataforma de monitoreo.</p>
	A6. Diseñar la estructura de gestión de la información del sistema.	<p>Analizar los requerimientos de base de datos para integración y reporte de la información con conectividad en la nube.</p> <p>Identificar alcance de la infraestructura a implementar para el sistema de información de gestión del riesgo.</p> <p>Delimitar la tecnología, lenguaje de programación y motor de almacenamiento de la plataforma a diseñar.</p> <p>Realizar el documento de requerimientos de la plataforma a diseñar.</p> <p>Implementar los módulos necesarios que permitan la integración de los actores locales que participen en el proceso de gestión del riesgo en el Departamento.</p> <p>Configurar el sistema de control de versionamiento.</p>
	A7. Desarrollar un modelo estadístico predictivo para el análisis de la información y la gestión de las alertas ante los eventos de remoción en masa, inundación y avenidas torrenciales.	<p>Determinar el modelo estadístico/probabilístico a implementar</p> <p>Definir variables de entrada del modelo estadístico predictivo a desarrollar</p> <p>Realizar pruebas de hipótesis para simulaciones de los fenómenos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación</p>

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

<b>PROTOCOLOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE</b>		Integrar el modelo al sistema de información
		Realizar un entrenamiento en predicción de riesgos
	A8. Diseñar las herramientas de tratamiento de información del sistema	Codificar los diferentes módulos de la plataforma para monitoreo de variables de gestión del riesgo de los eventos remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación. Integrar los diferentes módulos del sistema de información para el análisis predictivo de alertas ante la presencia de eventos de remoción en masa, inundación y avenidas torrenciales. Pruebas locales de los módulos del sistema de información.
	A9. Diseñar herramientas de interacción de usuarios del sistema.	Crear una plataforma web para la gestión del riesgo, que se encargue del almacenamiento, transmisión, retransmisión, consulta de datos. Generar una aplicación móvil que se integre con el sistema de información como complemento de la gestión del riesgo ante los eventos remoción en masa, inundación y avenidas torrenciales.
	A10. Evaluación de la integración de los componentes de interfaz de usuario y tratamiento de la información.	Diseñar e implementar las pruebas de la plataforma para la integración y reporte de datos con conectividad en la nube. Realizar documento de pruebas de la plataforma de integración y reporte de datos con conectividad en la nube. Identificar el margen de error de los módulos para la plataforma de integración y reporte de datos con conectividad en la nube. Realizar los ajustes requeridos acorde a los resultados de las pruebas. Realizar documento de integración de datos. Generar análisis de los datos previamente almacenado.
	A11. Realizar las pruebas del sistema integrado de alerta temprana	Diseñar los diferentes escenarios para la realización de las pruebas Ejecutar las pruebas de acuerdo con los diseños

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

ALERTA TEMPRANA  PROTOTIPO DEL S.A.T. VALIDADO.		planteados
	A12. Comprobar que los procedimientos y protocolos del sistema de alerta temprana operan correctamente	planteados Analizar los resultados de cada una de las pruebas realizadas Ajustar los tiempos de respuesta del sistema integrado de alerta temprana.
	A13. Diseñar los mecanismos de sostenibilidad y mantenimiento del sistema	Realizar pruebas con las diferentes entidades encargadas de gestionar el riesgo en el Departamento Efectuar los ajustes necesarios de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas Capacitar al personal encargado de administrar el sistema de alerta temprana desarrollado.
	A14. Gestión Administrativa	Diseñar un instructivo que incluya pruebas de mantenimiento correctivo y preventivo en la plataforma Ejecución del proyecto en términos administrativos y operativos, coordinación logística de las actividades del proyecto, así como seguimiento y evaluación a los indicadores de avance del proyecto.
	A15. Apoyo a la supervisión	Supervisión técnica, financiera y jurídica de las actividades que componen el proyecto.

Fuente: Elaboración Propia

### 14.3. Alternativas Tecnológicas para los sistemas de monitoreo y medición de variables.

Un sistema de monitoreo instalado en un sitio donde existe la preocupación de que ocurra una remoción en masa, el cual podría poner en riesgo vidas y propiedades materiales, debe proporcionar una alerta oportuna a las personas en las inmediaciones del desastre natural. En este caso particular, “oportuna” se define como un lapso suficiente para que las personas tomen acciones predeterminadas que les permitan llegar a un lugar seguro.

Se debe tener en cuenta que existe una diferencia fundamental entre un sistema de monitoreo que proporcione una *alerta* directa a la comunidad, y aquel que proporcione una *advertencia* a una entidad central. En el caso de una *advertencia*, la capacitación y experiencia de los expertos de la entidad se utiliza para interpretar la información del sistema de monitoreo y luego se decide si se debe informar a la comunidad sobre el posible evento de derrumbe. Si bien

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

involucrar expertos agrega rigor a la interpretación de los resultados del monitoreo, de ser necesaria en la emisión de la *alerta* para la comunidad en cuestión, este proceso resulta también en un retraso. Este proceso también requiere la capacidad de transmitir la *advertencia* desde la pendiente a la entidad central, y otra capacidad extra similar para transmitir la *alerta* a la comunidad.

El sistema de comunicación debe operar continuamente, incluso durante los eventos climáticos extremos que desencadenen deslizamientos de tierra. La operación de los sistemas de telecomunicación operativa (por ejemplo, GPRS, GSM) y los sistemas inalámbricos de largo alcance es un desafío en las regiones montañosas, remotas y escasamente pobladas. Existe una experiencia considerable en todo el mundo con el uso de tales sistemas y las fallas son comunes, lo que significa que la capacidad de una comunicación efectiva y/o confiable puede ser el elemento más débil en un sistema de *advertencia*. Si no hay un sistema de comunicación operacional, no hay *alerta* para la comunidad.

A fin de reducir el riesgo que presenta la falta de un sistema de comunicación confiable, la alternativa de solución aquí propuesta funcionaría principalmente como una red local. La comunicación inalámbrica de corto alcance se usa para transmitir el mensaje de *alerta* (es decir, la pendiente se está volviendo inestable y podría ocurrir un deslizamiento) desde el sensor ubicado en la pendiente hasta la estación base ubicada en la comunidad (Figura 32). La alerta se transmite inmediatamente a la comunidad utilizando una sirena de muy alto volumen en conjunto con una luz estroboscópica (comparable a una alarma antirrobo en una casa).

La idea es que la comunidad siga un plan de respuesta predeterminado, el cual se explicará más adelante. También existe la posibilidad de que la alerta se comunique simultáneamente a través de una red de telecomunicaciones a una agencia central. Esto permitiría que las alertas de múltiples sitios sean evaluadas por expertos y se pueda desarrollar una respuesta coordinada. La provisión de esta función requeriría la adición de un módem a la estación base con la potencia adecuada.

### *Estrategia para la respuesta de la comunidad*

La instalación y el uso de un sistema de monitoreo de eventos de remoción en masa solo es productivo si los usuarios finales, en este caso la comunidad, tienen un plan de acción adecuado y definido que se pone en marcha una vez que se recibe una *alerta*. Sin dicho plan, hay poco

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

mérito en monitorear una pendiente. Es imprescindible guiar a la comunidad en el desarrollo de estos planes de respuesta en caso de que se active una *alerta*. En el Emergency Management Australia (2001) se puede conseguir un ejemplo de un plan relevante a este punto.

Un elemento clave en este concepto de SAT es que la custodia del sistema de monitoreo (para proteger y mantener la instalación de manera proactiva) es responsabilidad de la comunidad. Existen ejemplos dónde este tipo de asociación ha llevado a una instalación y operación comunitaria exitosa de SAT en países de bajos y medianos ingresos, como lo es monitoreo de inundaciones en India (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2017).

Para atender cada uno de los eventos objeto del presente proyecto, se propone considerar las alternativas tecnológicas de monitoreo y medición descritas a continuación, por su capacidad para integrarse y conformar el prototipo sistema inteligente de alerta temprana.

#### *Sistema de monitoreo y medición para eventos de remoción en masa.*

Tras una revisión tanto de la instrumentación como también de los sistemas disponibles en la actualidad, y considerando los requisitos de un SAT definido por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres UNISDR (2009) y (Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente UNEP 2012), en el marco de la alianza con el British Council se propone la implementación de un sistema de monitoreo de Emisiones Acústicas (EA) empleando Sensores Community Slope SAFE (Sensors for Acoustic Failure Early warning: Sensores de detección temprana de fallas acústicas), CSS, que ha sido desarrollado por el grupo de investigación del Profesor Neil Dixon y Doctor Alister Smith en la Universidad de Loughborough (Reino Unido), aliado del Programa Alto Impacto Colombia CTel – SGR.

La Ilustración 37 muestra un esquema del sistema instalado en una pendiente junto con sus especificaciones, los materiales y el procedimiento de instalación.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

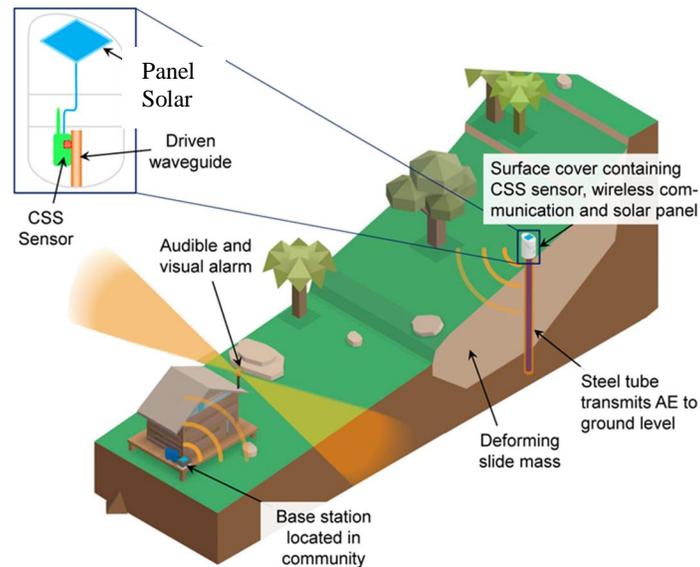


Figura 38. Monitoreo de EA a través de un Community Slope SAFE (CSS) que incorpora una guía de onda impulsada.  
Fuente: Dixon & Alister (2018)

La mayoría de los materiales geológicos (es decir, suelos) implicados en derrumbes superficiales son de grano fino (por ejemplo, arcillas y limos), estos solo generan una EA de baja energía cuando se deforman durante un deslizamiento, y las ondas de estrés de la EA se atenúan de forma muy rápida a medida que se propagan a través del suelo (pueden atenuarse completamente luego de unos 100 mm).

Esto requiere la adición de material "ruidoso" en la adyacencia de la guía de ondas de acero y así poder generar niveles altos de EA detectable (en el orden de 10 a 100 miles de RMS en un período de monitoreo de 15 minutos), lo que tiene el beneficio adicional de ayudar a la interpretación de las tasas de EA observadas – dado que una extensa variedad de suelos granulares tiene relaciones de tasa de EA comparables con las tasas de desplazamiento aplicadas, lo que simplifica la interpretación y el establecimiento de umbrales de activación (Smith et al., 2017).

El uso de guías de onda fabricadas de tubos de acero simplifica el proceso de instalación dado que solo se necesita usar de equipos fácilmente disponibles y de bajo costo (por ejemplo, apisonadores de poste manuales), lo cual también reduce los costos; aunque las profundidades a las que estas guías puedan llegar dependerán de las propiedades de resistencia y rigidez del suelo en cuestión (suelo huésped). Un ejemplo reciente de esto pueden ser las guías de ondas introducidas hasta profundidades superiores a los 10 m en una prueba de campo en Malasia.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

La instalación de una guía de onda mediante su inserción da como resultado que el tubo esté en contacto íntimo con el suelo "in situ" que forma la pendiente. Es posible que el suelo huésped sea granular, lo que generará niveles detectables de EA, pero también es probable que en muchas aplicaciones este suelo sea predominantemente de grano fino "silencioso". Esta limitación se supera colocando material "ruidoso" dentro de la guía de onda de modo que cuando el tubo se deforme por movimientos de la pendiente, las deformaciones del relleno generen EA que se propaguen a la superficie a través del tubo de acero donde el sensor puede detectarlas y cuantificarlas. La arena es ideal como material de relleno "ruidoso" ya que es barato y universalmente disponible, pero también se pueden usar productos de desecho como vidrio triturado.

Un estudio realizado por el grupo de trabajo de la Universidad de Loughborough (Dixon et al., 2018) ha demostrado que existen relaciones reproducibles entre las tasas de desplazamiento de pendiente y las tasas de RMS de AE generadas a medida que se deforma la guía de ondas llena de arena.

Una motivación clave para desarrollar el enfoque de CSS no es solo establecer el rendimiento de un sistema de monitoreo de pendiente subsuperficial continuo en tiempo real (o casi tiempo real) que pueda fabricarse al menor costo posible, sino también entregar un sistema que pueda ser atendido por su comunidad respectiva. Es importante que personas que no sean especialistas en esta área puedan instalar y configurar el sistema, y que los miembros de la comunidad puedan mantener y usar el SAT. Se prevé que el soporte técnico para la instalación, configuración y solución de problemas sea proporcionado por un equipo pequeño a nivel regional (por ejemplo, que trabaje para una agencia gubernamental) el cual contará con el personal capacitado para poder proporcionar este servicio. El equipo de soporte técnico ayudará en la selección de los lugares óptimos de instalación de los sensores (con el respaldo de la agencia central apropiada) y luego educará a la comunidad en la instalación y operación del sistema de monitoreo y del mismo modo apoyará las actividades de mantenimiento.

En resumen, el enfoque del Community Slope SAFE (CSS) puede proporcionar los siguientes beneficios:

- Bajo costo, lo cual lo hace accesible en países que actualmente no cuentan con ningún sistema de medición para los deslizamientos de tierra en general;

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

- Fácil de instalar usando herramientas simples (es decir, guías de onda manuales), y de fácil mantenimiento y operación por miembros previamente capacitados dentro de la comunidad.
- Opera en una gran variedad de condiciones: diferentes tipos de suelo, geometrías de pendiente, mecanismos de falla y condiciones ambientales;
- Funciona de manera continua, autónoma e inteligente (por ejemplo, sistema de paneles solares para recarga de energía, procesamiento de datos y toma de decisiones mediante el uso de sensores, y telemetría inalámbrica de mensajes de alerta y de salud entregados a la comunidad en un formato simple);
- Identifica automáticamente las tasas de deformación de las pendientes que podrían representar un riesgo para la comunidad;
- Transfiere una alerta a la comunidad de usuarios en tiempo real; y
- Es robusto, con un mínimo de alertas falsas y de recuperación automática en caso de ocurrir una falla de algún sensor (por ejemplo, en el caso de pérdida de energía eléctrica).

*Especificaciones Técnicas de los SAT*

▪ *Sistema Sensor*

Los componentes principales junto con la arquitectura operativa para este enfoque de monitoreo se muestran en la Ilustración 38. Los sensores de emisión acústica de Community Slope SAFE (CSS) se colocan en guías de onda de acero ubicadas en la pendiente y protegidas por una cubierta resistente. Los sensores se comunican de forma inalámbrica con una estación base ubicada en la comunidad. Los sensores detectan y procesan las EA durante un período de tiempo definido (por ejemplo, 30 segundos) para calcular la actividad media de estas emisiones durante el período de supervisión, luego se compara la tasa de EA durante este período con un valor de umbral predeterminado; y si este se excede se genera un mensaje de *alerta* automática a la estación base que activa una *alerta* audible y visual a la comunidad. Esto *alerta* a la comunidad para activar el plan de acción acordado, como por ejemplo la evacuación de un área específica utilizando rutas acordadas, la inspección de la pendiente si y solo si es seguro hacerlo, e informar a las autoridades y profesionales designados.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

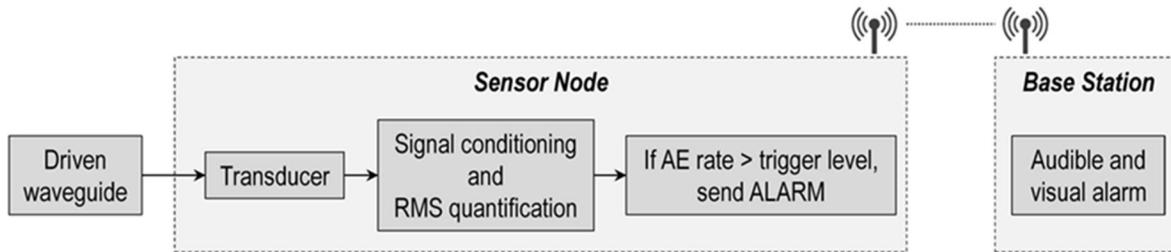


Figura 39. Arquitectura del sistema del enfoque Community Slope SAFE (CSS)  
Fuente: Dixon & Alister (2018)

Los elementos clave del sistema CSS incluyen:

- El uso de un transductor piezoeléctrico de muy bajo costo (en comparación con los utilizados en el sistema Slope ALARMS) para convertir las ondas de tensión a voltajes y la integración del transductor en el cuerpo del sensor para simplificar la instalación y mejorar la robustez;
- Los circuitos optimizados de acondicionamiento y procesamiento de señales de EA para lograr un bajo número de componentes (y por lo tanto, del costo total), y donde parte de la funcionalidad se ha implementado en un software. Esto permite minimizar la energía de reserva a través de las instalaciones de administración de energía incorporadas del microcontrolador;
- La cuantificación de los voltajes de la señal de EA usando un proceso de eficiencia energética para calcular la media cuadrática (Root Mean Square) y producir una medida de energía de EA por unidad de tiempo;
- La arquitectura de un software simple y accesible al usuario que incluye las funciones de configuración, operación y comunicación;
- Un módulo para estación base diseñado con la finalidad de comunicarse con los sensores para la configuración, determinación del estado de funcionalidad, registro de los parámetros de rendimiento y recepción de mensajes de *alerta*, que luego se utilizan para la activación de una sirena y una luz intermitente;
- El uso de baterías pequeñas integrales tanto en el sensor como en la estación base que se recargan mediante paneles solares, lo que es posible gracias a los bajos requisitos de energía de los componentes electrónicos;
- Un sistema de cubierta diseñado especialmente para proteger la guía de onda y el sensor, y que integra el panel solar del sensor; y
- La instalación de las guías de onda de acero al conducir las al suelo, lo cual es una operación simple y de bajo costo.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

Como se muestra en la ilustración 38, el sistema CSS lleva a cabo las siguientes funciones:

- Conversión de las EA (las ondas de tensión que se propagan a lo largo de la guía de ondas de acero) a voltajes usando un transductor piezoeléctrico;
  - Amplificación y filtración de la señal para eliminar el ruido a frecuencias bajas (<15kHz) y altas (> 40kHz) que pueden ser generadas por los componentes electrónicos y/o factores ambientales; cálculo la media cuadrática de la señal (la cual representa una medida de la energía de la señal);
- Agrupar los valores de la media cuadrática durante un período de tiempo definido (por ejemplo, 30 segundos) para calcular la actividad promedio de EA durante este período de monitoreo;
- Comparación de la tasa (de la media cuadrática obtenida) de las EA durante el período de agregación con un valor umbral predeterminado; y
- Generación de un mensaje de *alerta* a la comunidad a través de la estación base si se excede este umbral.

La Figura 40 muestra fotografías de los componentes del sensor y la estación base del sistema CSS (a), y el método de conexión del sensor en la guía de ondas (b).



Figura 40. a) Componentes del sensor CSS y la estación base y b) una vista de un sensor ubicado en la guía de onda dentro de una cubierta.

Fuente: Dixon & Alister (2018)

- *Materiales para la instalación*

Los materiales de la guía de ondas y las especificaciones de la cubierta protectora en una instalación CCS son:

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

- a. El tubo de acero que forma la guía de ondas debe tener un espesor de pared mínimo de 2 mm, el grosor típico utilizado es de 3 mm. Las longitudes se conectan usando acoplamientos de tornillos roscados. Por lo general, no se especifica un grosor máximo de la pared ya que a menudo su costo es un factor limitante. Es importante tener en cuenta que las barras de acero macizas no deben ser utilizadas ya que la atenuación de EA en estos elementos es alta.
- b. El diámetro del tubo de acero utilizado debe ser optimizado para equilibrar los dos requisitos de facilidad de conducción y generación de EA mediante la deformación del suelo de relleno. Se recomienda un tubo con un diámetro interno de alrededor de 27 mm. Un tubo de este diámetro es lo suficientemente rígido para conducirlo dentro del suelo (incluyendo los acoplamientos), y al mismo tiempo puede contener un volumen suficiente de tierra de relleno para generar una EA detectable en un rango de velocidades de desplazamiento. Para minimizar el número de conexiones, se importante maximizar la longitud de las secciones de acero (una longitud promedio típica es de 1,5 m por sección).
- c. El relleno utilizado generalmente consiste en arena angular con un tamaño de grano de medio a grueso (entre 0.6 a 2 mm), como se muestra en la figura 41.
- d. Se requiere una cubierta con cerradura para proporcionar seguridad y aislar la guía de onda de acero de los factores ambientales (desechos arrastrados por el viento, etc) y con dimensiones lo suficientemente grandes para alojar el sensor y montar un panel solar.



*Figura 41. Ejemplo de materiales de relleno: arena angular de media a gruesa*  
*Fuente: Dixon & Alister (2018)*

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4



*Figura 42. Cubierta segura que aloja la guía de onda y el sensor, con un panel solar integrado  
Fuente: Dixon & Alister (2018)*

#### *Análisis del precio unitario de instalación*

A la fecha de presentación de este proyecto, el sistema de sensor CSS no está disponible en el mercado. Los sensores han sido desarrollados por la Universidad de Loughborough y todos los lotes de sensores han sido fabricados por un subcontratista especializado en electrónica para su uso en ensayos de campo. Estos ensayos han sido diseñados para demostrar la eficacia del sistema. Sin embargo, la Universidad de Loughborough ha llegado a un acuerdo con la empresa especialista en instrumentación geotécnica RST Instruments Ltd (ver detalles de contacto a continuación) para que puedan desarrollar, fabricar y distribuir los sensores en todo el mundo. Por lo tanto, se anticipa que los sensores CSS estarán disponibles comercialmente en RST Instruments a mediados de 2018. El costo de los sensores RST CSS aún no se ha establecido, pero como se examina más adelante en el análisis de costos, se espera que sea considerablemente más bajo que la instrumentación alternativa descrita en el *Informe de la Alternativa de Solución* (que puede utilizarse para proporcionar información subsuperficial, continua y en tiempo real sobre el desarrollo de deslizamientos de tierra).

Como referencia, a continuación, se presenta el precio pagado por la Universidad de Loughborough para fabricación de los componentes principales del sistema CSS utilizados en los ensayos (en dólares estadounidenses, USD). Cabe señalar que estos costos son solo para la

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

fabricación (no incluyen ningún margen de beneficio) y para volúmenes bajos (los costos generalmente se reducen para lotes de fabricación más grandes).

#### *Costo actual de fabricación*

- Conjunto de nodo sensor, el cual comprende: un nodo sensor que incluye una antena y un panel solar de 5W con cable (\$ 400 USD)
- Conjunto de la estación base, el cual comprende: una estación base (incluye la antena, un cable de extensión para la antena), un panel solar de 10W con cable y soporte, y una caja de alarma con cable (\$ 800 USD)
- Cubiertas con cerrojos y llaves que alojarán los nodos del sensor en las pendientes (\$150 USD)

#### *Descripción de la metodología propuesta de instalación y monitoreo*

A continuación, se da una descripción de los materiales y métodos utilizados para construir una guía de onda activa con relleno interno "ruidoso":

- El tubo de acero que forma la guía de ondas debe tener un espesor de pared mínimo de 2 mm, generalmente se utiliza un grosor de 3 mm. Las longitudes han de ser unidas utilizando acoplamientos de tornillos con rosca. Las conexiones entre las secciones de la tubería se deben engrasar y apretar con la llave inglesa adecuada. Las guías de onda de acero están formadas por longitudes de tubos de acero, típicamente de 1,5 metros de largo, con acoplamientos roscados. En el Reino Unido se utilizaron tubos de gas, los cuales se consiguen fácilmente en el mercado y pueden ser comprados por diámetro y grosor de pared, otro beneficio adicional es que estos tubos ya vienen con conexiones roscadas de manera estándar.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4



*Figura 43. Conexión de los tubos utilizando una llave inglesa para apretar los extremos roscados en un acoplamiento  
Fuente: Dixon & Alister (2018)*

Una guía cónica de sacrificio debe atornillarse al extremo delantero de la primera longitud de la tubería de acero para facilitar la conducción (Figura 44).



*Figura 44. Un cono atornillado en el extremo delantero del tubo de acero para facilitar la conducción de la guía de onda  
Fuente: Dixon & Alister (2018)*

- Se debe enroscar un cabezal de inserción separable en la parte superior del tubo de acero para ayudar a introducirlo en el suelo (Figura 45).

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4



*Figura 45. Cabezal de manejo incorporada a la parte superior del tubo de acero para ayudar a conducirlo*  
*Fuente: Dixon & Alister (2018)*

- Se puede usar una apisonadora de estacas operada manualmente para introducir la guía de ondas si no hay equipo mecánico disponible. Después de que cada sección de tubo de acero se introduce en el suelo, se retira el cabezal de inserción, se agrega la siguiente sección del tubo de acero (como se detalla anteriormente), se acopla de nuevo el cabezal de manejo a la parte superior de esta nueva longitud, y se repite el proceso hasta llegar al máximo de profundidad posible con la fuerza aplicada (cuando no ocurra más penetración), o la punta de la guía de onda está en la profundidad de diseño. Nota: la parte superior de la guía de ondas debe estar a 300 mm por encima del nivel del suelo al finalizar la instalación.



*Figura 46. Uso de una apisonadora de estacas para conducir la guía de ondas*  
*Fuente: Dixon & Alister (2018)*

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

- El relleno de los tubos de la guía de onda con la arena angular se debe hacer por secciones de aproximadamente 0,25 m de altura, y compactando cada capa con un peso sobre un trozo de cuerda (Figura 47).



Figura 47. Relleno (arena en este caso) colocado dentro de la guía de ondas en capas nominales de 0,25 m y compactados usando un peso en una cuerda delgada.  
Fuente: Dixon & Alister (2018)

- Para instalar la cubierta protectora es necesario excavar un agujero alrededor de la guía de ondas de aproximadamente 300 mm de profundidad y con un diámetro mayor que el de la cubierta.
- Coloque la cubierta con panel solar integrado en este agujero - con la guía de ondas ubicada en el centro, asegurando que la cubierta esté de forma vertical (Figura 48).



Figura 48. Puesta de a cubierta para encapsular y/o proteger la guía de onda  
Fuente: Dixon & Alister (2018)

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

- Para finalizar la instalación de la cubierta, es necesario cementarla al agujero en el suelo, dejando la superficie del concreto a nivel con el suelo original.
- Para colocar el transductor, limpie el tubo de acero (eliminando el óxido y la suciedad) para poder obtener un área de contacto uniforme. Coloque gel de silicona sobre el área de contacto. Conecte el sensor a la guía de onda usando ataduras de cables y bandas acolchadas en el tubo de acero, que lo fijaran de forma segura en caso de ocurrir un deslizamiento (Figura 49).



Figura 49. Sensor conectado a la guía de onda y protegido por la cubierta  
Fuente: Dixon & Alister (2018)

- La estación base debe estar colocada de forma segura en la propiedad seleccionada, asegurándose de que haya conectividad inalámbrica entre la estación base y todos los sensores (Figura 50).



Figura 50. Estación base ubicada en una propiedad cercana al sistema.  
Fuente: Dixon & Alister (2018)

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

- Conecte el panel solar, la antena y la caja de alarma en una pared exterior adecuada y conecte los tres a la estación base usando los cables.
- Para finalizar, es necesario hacer una prueba de funcionamiento y puesta en marcha del sistema.

### ***Metodología de monitoreo***

Los sensores de EA están ubicados en guías de ondas de acero ubicadas en la pendiente y encerradas en la cubierta protectora. Estos se comunican de forma inalámbrica con una estación base que está ubicada en la comunidad. El sensor funciona de manera continua para detectar emisiones acústicas que se propagan a lo largo de la guía de ondas de acero hasta el sensor en la superficie. Si el material del suelo que forma la pendiente comienza a deformarse (es decir, la pendiente comienza a volverse inestable con el potencial de formar un deslizamiento de tierra debido a un período prolongado de lluvia), esto deformará tanto los suelos alrededor de la guía de onda como el material de relleno dado que el tubo comenzará a doblarse.

Estos mecanismos de deformación generarán una EA (es decir, un ruido de alta frecuencia) a medida que las partículas que forman el relleno del tubo se mueven una contra otra, como también contra el tubo de acero. Los sensores detectan esta emisión y la procesan durante un período de tiempo definido (por ejemplo, 30 segundos), calculan la actividad promedio de EA (la media cuadrática de la señal) durante este período de monitoreo, y la compara con un valor de umbral predeterminado. Si la EA medida está por encima de este umbral, se envía automáticamente un mensaje de *alerta* a la estación base, que activa una alerta sonora y visual. Esto alerta a la comunidad para activar el plan de acción previamente acordado.

### ***Selección del umbral de activación de alerta de las EA***

El aspecto central del SAT CSS es el uso de un umbral único asociado con la tasa de desplazamiento de la pendiente, con el objetivo de poder desencadenar el plan de acción por parte de la comunidad. Para definir un umbral basado en la tasa de la media cuadrática de la EA, y generar una alerta de desplazamiento inminente, es imprescindible conocer la siguiente información:

- Configuración de la guía de onda:

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

- Diámetro interno del tubo
- Características del relleno
- Configuraciones del sensor:
  - Monitoreo del rango de frecuencia
  - Período durante el cual se calcula la tasa de EA (por ejemplo, 30, 60, 180 segundos)
- Características de la pendiente
  - Tipo de material (es decir, clasificación y forma de partícula)
  - Mecanismo anticipado de falla (por ejemplo, profundidad de la superficie cortante, volumen de falla)
  - Mecanismo de activación (por ejemplo, lluvia, actividad de construcción)
  - Tasa anticipada de deterioro de la estabilidad de la pendiente.

El diseño de la guía de onda y la configuración del sensor pueden definirse, sin embargo, de los criterios anteriores se puede ver que para establecer un umbral útil se necesita un conocer las características de la pendiente en cuestión, de lo contrario, cualquier umbral establecido será especulativo y de uso limitado para la comunidad. Este criterio es válido para el uso de cualquier tipo de instrumentación de monitoreo de pendientes (por ejemplo, inclinómetros y extensómetros in situ). Esto radica en que el entendimiento de la velocidad a la que una pendiente se volverá inestable (causando tasas grandes de desplazamiento y deformación) es necesario para establecer el umbral, lo cual a su vez proporcionará una alarma con suficiente tiempo para permitir que la comunidad pueda completar la respuesta acordada (es decir, la evacuación a un área segura). Esto refuerza la necesidad de que un SAT de la comunidad incorpore los cuatro elementos discutidos anteriormente (PNUMA 2012), y específicamente incorpore la necesidad del conocimiento local específico del sitio para ubicar los instrumentos y establecer los umbrales apropiados.

Un sistema de referencia para ayudar a seleccionar el umbral de las tasas de desplazamiento de pendiente es proporcionado por Petley et al. (2005), este vincula el desarrollo de una primera falla progresiva dentro de una pendiente con la existencia de tendencias lineales cuando el inverso de la velocidad antes de la falla se grafica a medida del tiempo (Saito 1980). Aunque todavía hay escasez de datos para relaciones de velocidad de desplazamiento (velocidad) en fallas que ocurren por primera vez, si existe suficiente información para establecer la validez de esta relación lineal para un rango de de este tipo de fallas circulares y traslacionales en suelos de grano fino. De ahí la expectativa de desplazamientos acelerados durante el inicio de la falla

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

de la pendiente. Por lo tanto, la tarea actual consiste en identificar una tasa de desplazamiento de talud que pueda interpretarse como una “posibilidad significativa de aceleración continua” de la pendiente que terminaría como un deslizamiento de tierra y, por lo tanto, movimientos a gran escala de forma rápida e incontrolable de escombros los cuales representan un riesgo para la comunidad. Utilizando la escala de clasificación estándar de la velocidad de la pendiente propuesta por Cruden y Varnes (1996), las fallas disruptivas que ocurren por primera vez pueden clasificarse como *Rápida o Mayor* (es decir, de *Muy Rápida* a *Extremadamente Rápida*) con la categoría *Rápida* definida como tasas de desplazamiento de pendiente de 30 a 3.000 mm/minuto (figura 50). Se propone que establecer un umbral en el rango de desplazamiento de pendiente *Moderado*, que se define de 0,3 a 30 mm/minuto, proporcionaría evidencia suficiente de que se están produciendo desplazamientos de aceleración significativa y en un nivel que indica que es probable ocurra por primera vez un evento de falla por deslizamiento.

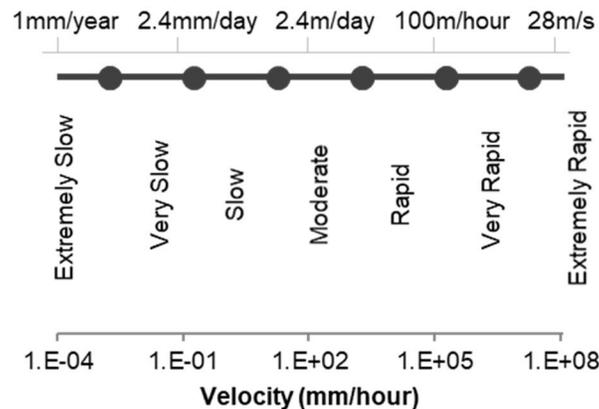


Figura 51. Escala de velocidad de desplazamientos de tierra de Cruden and Varnes (1996)  
Fuente: Dixon & Alister (2018)

Para un diseño específico de guía de onda (diámetro y relleno) y configuración del sensor, este enfoque puede implementarse seleccionando una tasa de media cuadrática que es indicativa de tasas de desplazamiento de pendiente en el orden de 5 a 10 mm/minuto (Rango *Moderado*) y usar esto como el umbral que desencadene un mensaje de *alerta*. Sin embargo, también se requiere una decisión sobre el período de tiempo durante el cual se registra esta tasa de desplazamiento antes de que se active una *alerta*. Se propone que este período de monitoreo (el período de agregación en el sistema CSS) debe estar entre 30 y 60 segundos, ya que esto indicaría movimientos sostenidos de la pendiente a una velocidad *moderada*.

Los costos primarios incluyen:

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

- Instalación, incluida la formación de cualquier perforación
- Compra del sistema de sensores
- Costos de operación, incluida la comunicación y el mantenimiento continuos

*Resultados esperados de la solución SAT de deslizamiento*

Actualmente se está llevando a cabo una prueba del sistema CSS en Malasia, en un suburbio de Kuala Lumpur. La Universidad de Loughborough está trabajando con la Universidad Sains Malaysia, en particular con el Departamento de ingeniería de rampas, la agencia gubernamental de obras públicas y, por último, si bien no menos importante, con el grupo comunitario SlopeWatch ([www.slopewatch.org.my/](http://www.slopewatch.org.my/)).

SlopeWatch es un programa comunitario administrado por residentes que monitorean las pendientes en su vecindario en busca de signos de deslizamientos de tierra, y llevan a cabo el mantenimiento simple de taludes, tales como la limpieza del crecimiento excesivo de vegetación en los desagües. Al participar como SlopeWatch, los residentes se convierten en los "ojos y oídos" de las autoridades locales. Debido a que los residentes están familiarizados con su entorno, son los mejores observadores de cualquier cambio en las pendientes alrededor de sus hogares. Al trabajar junto con las agencias federales de pendientes y las autoridades locales y estatales, las comunidades pueden adoptar un enfoque de reducción de riesgos para la vida en las laderas. Las sesiones de sensibilización y educación pública ayudan a los residentes a tener más conocimiento sobre la protección de sus comunidades. La participación de SlopeWatch es fundamental para el éxito de este ensayo. Como se detalla anteriormente, la operación del sistema CSS se basa en la participación activa de los miembros de la comunidad para alojar la estación base, recibir la alerta y mantener el sistema en funcionamiento.

En abril de 2017 se instalaron tres guías de onda con sensores en una pendiente con historial de inestabilidad. Estos fueron conectadas a una estación base ubicada en la cresta de la pendiente dentro de la propiedad de un miembro de SlopeWatch. Los detalles de la instalación se mostraron en la sección del Método de Instalación (las fotografías utilizadas como ilustración son de la instalación de este sistema CSS). La prueba de Malasia fue diseñada para probar el funcionamiento del sistema de sensores en el suelo, la vegetación y las condiciones climáticas, las cuales son representativas de muchas partes del sudeste de Asia y América Central y del Sur. Se están evaluando los aspectos del consumo de energía y el rendimiento de la red inalámbrica local, pero el sistema de buzón de alarma audible/visual no se ha conectado hasta la fecha, por

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

lo que las pruebas pueden llevarse a cabo sin perturbar a la comunidad. Los miembros de SlopeWatch mantienen el sistema y también están descargando y reportando los datos sobre su desempeño. La información típica obtenida de este sistema se presenta en las Figuras 45, 46 y 47. Es importante tener en cuenta que esta información se ha descargado desde la estación base por miembros de SlopeWatch y se está siendo utilizada para la generación de un diagnóstico. Sin embargo, no es información que el grupo de usuarios de la comunidad necesitara acceder o analizar.

La Figura 52 muestra una serie de mediciones de emisión acústica en función del tiempo realizadas por el sensor unido a una de las guías de onda. Esta muestra el funcionamiento continuo con niveles bajos de EA medidos para cada período de monitoreo de 15 segundos de duración, excepto en tres ocasiones cuando los picos de AE exceden el umbral predeterminado. Estos tres eventos se han generado para probar el funcionamiento del sistema tocando en la parte superior de la guía de ondas de acero (es decir, la fuente que genera esas EA específicas es artificial). Cada uno de estos tres eventos desencadenó una *alerta* de que podría significar el desarrollo un deslizamiento de tierra y, aunque las EA no fueron generadas por movimientos de la pendiente, la respuesta del sistema es equivalente. La estación base recibió una alerta dentro de un segundo del final de cada período de monitoreo cuando se excedió el umbral. Si la alarma hubiese estado conectada al sistema, estos eventos artificiales hubiesen activado una alerta a la comunidad a través de la sirena y la luz estroboscópica.

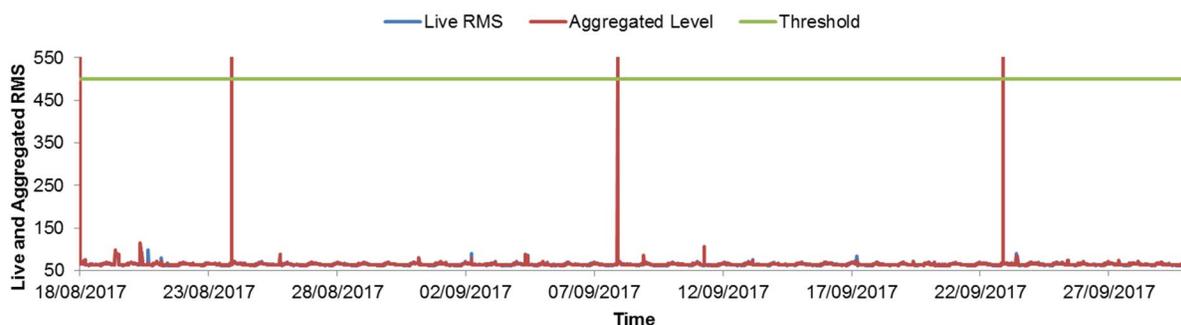


Figura 52. Emisión acústicas medida en función del tiempo (en vivo y media cuadrática agregada)  
Fuente: Dixon & Alister (2018)

En las Figuras 53 y 54 se muestra el uso de energía y la carga del panel solar para la estación base y el sensor, respectivamente. Estas figuras exponen cómo los elementos del sistema

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

pueden funcionar continuamente durante largos períodos de tiempo sin intervención. La prueba continúa y la instalación de otros sistemas de CSS comenzará en Myanmar en marzo de 2018.

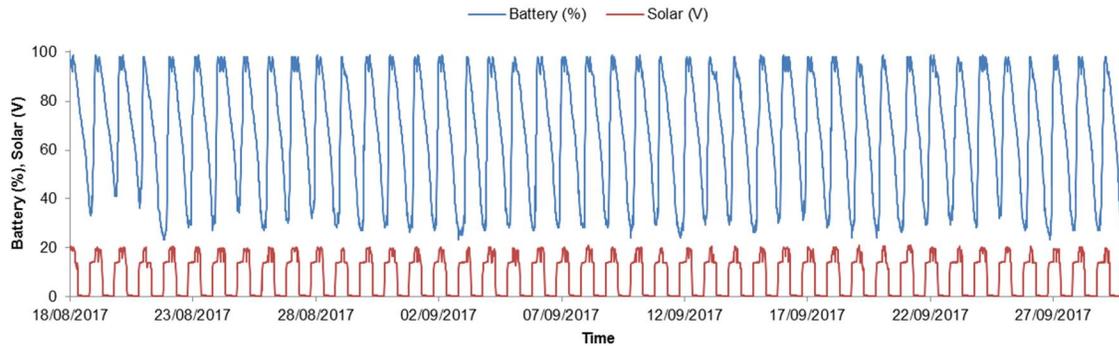


Figura 53. Nivel de batería de la estación base (%) y de voltaje del panel solar en función del tiempo  
Fuente: Dixon & Alister (2018)

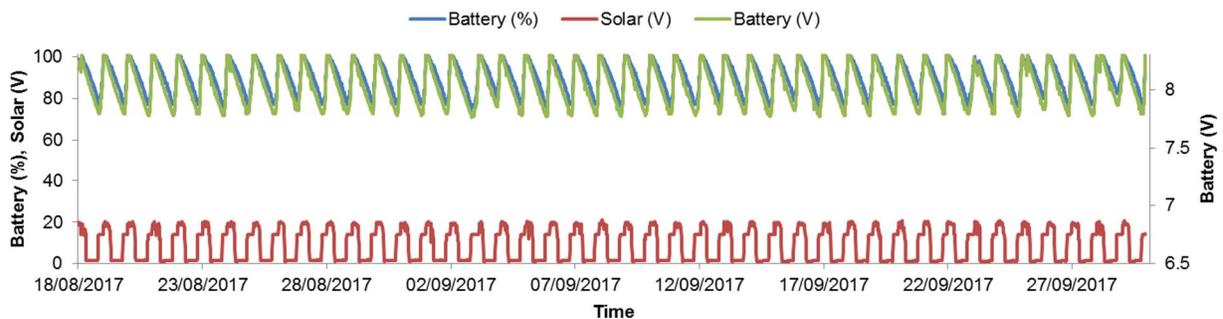


Figura 54. Nivel de batería del sensor (%) y de tensión (voltaje) del panel solar en función del tiempo  
Fuente: Dixon & Alister (2018)

Información requerida para el mantenimiento y para garantizar el funcionamiento continuo del SAT

Como se detalla en la sección de *Especificaciones del Sistema CSS*, la función de monitoreo continuo y en tiempo real es autónoma. La energía se proporciona a través de paneles solares, y la red inalámbrica local funciona sin costo adicional. Por lo tanto, el nivel de mantenimiento requerido para garantizar el funcionamiento continuo del SAT es bajo. Las actividades de mantenimiento se pueden dividir en aquellas que son responsabilidad de los encargados dentro la comunidad y las del equipo de soporte técnico regional, tal como se detalla a continuación:

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

Tabla 24. Responsabilidades de la comunidad y del equipo regional de soporte técnico para garantizar el funcionamiento ininterrumpido del SAT de CSS

Encargados dentro de la comunidad	Equipo regional de soporte técnico
Responder a las advertencias producidas por la estación base que estén relacionadas con el nivel de potencia, la conectividad inalámbrica y el nivel de memoria del sistema (por ejemplo, verificar los paneles solares y la antena, organizar la descarga de datos)	Descarga periódica de datos del sistema desde la estación base para su revisión
Eliminación periódica de vegetación que podría obstruir la carga de los paneles solares o bloquear las señales inalámbricas	Proporcionar cualquier soporte técnico requerido por los encargados de la comunidad
Realizar pruebas periódicas del SAT de CSS produciendo EA manuales/artificiales en cada sensor para verificar que se genere un mensaje de alerta y que este se transmita a la estación base;	
Informar cualquier falla en el funcionamiento del sistema al equipo de soporte técnico.	Reemplazar cualquier elemento del sistema que no funcione de manera adecuada

Fuente: Dixon & Alister (2018)

#### Identificación de los costos de operación y mantenimiento del SAT

En función de los requisitos detallados anteriormente, se puede observar que el costo de operación y mantenimiento de SAT de CSS en cada sitio es mínimo. Existe un requisito para proporcionar soporte técnico a las comunidades a escala regional y el costo de esto dependerá de la cantidad de sitios que se monitorean en cada región y las distancias de viaje desde la base del equipo de soporte técnico. El costo será un recurso de personal en número de días por mes más viajes y gastos generales.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

### *Sistema de Pluviómetros*

Se propone el desarrollo de un sistema de pluviómetros para la medición de la precipitación en las zonas donde se presenten lluvias intensas y que puedan producir inundaciones o avenidas torrenciales. Ente otras tecnologías desarrolladas en el ámbito nacional, se menciona un sistema desarrollado por la Universidad de La Costa, a través del Grupo de Investigación en Electrónica – GIECUC.

### *RED DE SENSORES INALÁMBRICOS - WSN*

Para el sistema de monitoreo se implementará una Red de Sensores Inalámbricos (WSN - *Wireless Sensor Networks*) desplegados en las zonas a monitorear y para examinar, recolectar, procesar y transmitir datos de variables relacionados a intensidad de lluvia a través de una red de pluviómetros conformada por una plataforma Waspote de Libelium, módulos LoRa y pluviómetros ECRN-100 de alta resolución.

Dentro de las ventajas de una WSN se tiene que los sensores se despliegan en ambientes complicados y/o de difícil acceso, donde implementar redes tradicionales no son recomendables; además a través de protocolos y otros algoritmos permite la reconfiguración de los sensores. Otra ventaja asociada es las opciones de comunicación entre nodos para determinar el tipo de ruta. Los modos de hibernar de las plataformas de los nodos permiten llevar a cabo ahorro energético.

### *DISEÑO DE UNA WSN PARA LA MONITORIZACIÓN DE INTENSIDAD DE LLUVIAS*

Para el diseño de la WSN se tiene como escenario el departamento del Quindío, en el cual se presentan fenómenos de inundaciones, remoción en masa y avenidas torrenciales. Para apoyar la alerta de estos fenómenos se implementa un sistema de monitoreo que sería el componente tecnológico en cuanto al SAT para la captura de información y posterior divulgación de los datos.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Como resultado de la caracterización mencionada, se identificarán 18 puntos en donde se presenten estos fenómenos de acuerdo los requerimientos del departamento, y que deben ser objetos de monitoreo y es donde se ubicarán los nodos que vigilarán las condiciones de intensidad de lluvia en determinado instante de tiempo para establecer un nivel de alerta.

A continuación, se muestran los detalles del sistema energético de un nodo donde se detallan las alternativas energéticas decididas para la red.

*Tabla 25. Alternativas energéticas para la red*

	<b>Baterías</b>	<b>Panel Solar</b>	<b>Cableado</b>
Tipo de Alimentación	SI	SI	SI
Voltaje de Funcionamiento	3.3 v	3.3v-5v	3.3v-5v
Voltaje nominal de entrada	3.3v	3.3v	3.3v
Consumo en potencia	0.85w	1.25w	0.85w

*Fuente: Grupo de Investigación en Electrónica – Universidad de la Costa.*

Tomando como referencia lo anterior se diseña la arquitectura de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de intensidad de lluvia, el cual despliega 18 nodos que se encargarán de vigilar las condiciones ambientales presentes los puntos escogidos. Se contará con 18 nodos que operarán como dispositivos finales que se comunicarán a través de saltos (Red Ad-Hoc) con el Gateway. Este último es el más completo de todos debido a que se encarga de controlar la red y regular los eventos y mensajes. La información obtenida por los nodos se alojará en un servidor para que esta sea presentada en un entorno disponible a través de una conectividad a internet. Para este sistema se usarán nodos conformados por la plataforma Waspnote, la cual tiene las siguientes características:

*Tabla 26. Características Plataforma Waspnote*

<b>WASPMOTE</b>
-----------------

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

Microcontrolador:	ATmega1281
Frecuencia de procesos:	14.74 MHz
SRAM:	8 kB
EEPROM:	4 kB
Memoria FLASH:	128 kB
Tarjeta SD:	2 GB
Peso:	20 g
Dimensiones:	73.5 x 51 x 13 mm
Rango de temperatura:	[-30 °C, +70 °C]*
Reloj de operación:	RTC (32 kHz)
Entradas/salidas	7 entradas análogas, 8 I/O digitales. Puertos: 2 UARTs, 1 I2C, 1 SPI, 1 USB
Voltaje de batería	3.3- 4.2 V
Carga USB	5V 480mA
Carga panel solar	6-12V 300mA

*Fuente: Grupo de Investigación en Electrónica – Universidad de la Costa.*

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

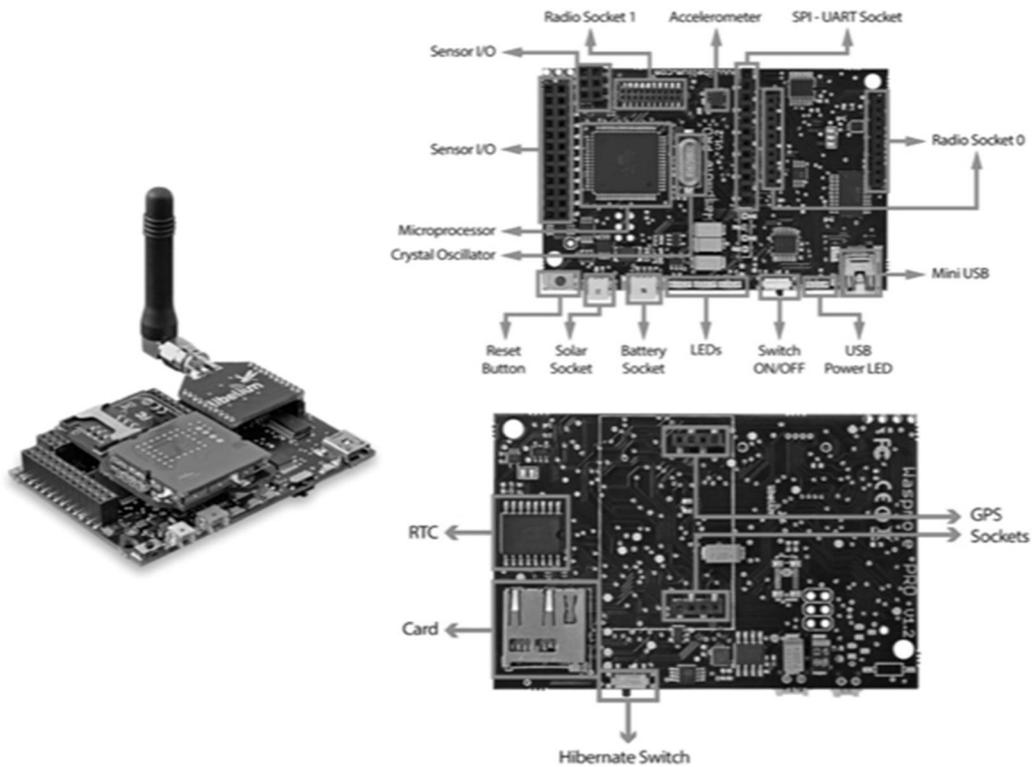


Figura 55. Placa Wasp mote

Fuente: Grupo de Investigación en Electrónica ó Universidad de la Costa

Dentro de los sistemas a evaluar para la medición de intensidad de lluvia se tiene el ECRN-100, el cual se describe a continuación:



Figura 56. ECRN-100

Fuente: Grupo de Investigación en Electrónica ó Universidad de la Costa

Tabla 27. Características Sensor ECRN-100

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

<b>DESCRIPCIÓN SENSOR ECRN-100</b>	
<b>Resolución</b>	1 goteo
<b>Diámetro del embudo colector</b>	16.0 cm
<b>Altura</b>	16.0 cm
<b>Volumen por goteo</b>	4.02 ml/goteo
<b>Lluvia por goteo</b>	0.2 mm
<b>Tipo de sensor</b>	Colector de goteo de doble cuchara
<b>Salida</b>	Pulso
<b>Material</b>	ABS
<b>Temperatura de operación</b>	0 °C to 60 °C
<b>Longitud de cable</b>	5 m
<b>Tipo de conector</b>	3.5 mm “stereo” plug
<b>Dimensión del pluviómetro</b>	17 cm x 14.2 cm
<b>Compatibilidad Data Logger</b>	METER <a href="#">Em5b</a> , <a href="#">Em50/50G</a> , <a href="#">EM60/60G</a> , <a href="#">ProCheck</a>
<b>Garantía</b>	Un año, partes y mano de obra

*Fuente: Grupo de Investigación en Electrónica – Universidad de la Costa*

El pluviómetro SCR-100 tiene un principio de funcionamiento de envío de una señal a la unidad de procesamiento cada vez que el su colector de goteo de doble cuchara, alcanza su capacidad máxima. El pluviómetro se usará para medir la variación de intensidad de lluvia.

Para la transmisión de los datos a través de la red de sensores inalámbricos se seleccionó la tecnología LoRa, mediante el módulo de radio Semtech SX1272, el cual presenta un acople con la plataforma seleccionada. Este módulo posee las siguientes características, las cuales se describen a continuación:

*Tabla 28. Características Modem LoRa*

<b>LoRa Modem</b>	
<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>VALOR</b>
Potencia máxima de enlace	157 dB maximum
Potencia de salida vs consumo energético	20 dBm at 100 mW

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Eficiencia	14 dBm
Tasa bit programable	Up to 300 kbps
Sensibilidad	Down to -137 dBm
Consumo de corriente	Low RX current of 10 mA, 100 nA register retention
Resolución	Fully integrated synthesizer with a resolution of 61 Hz
Modulaciones	FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa and OOK

*Fuente: Grupo de Investigación en Electrónica – Universidad de la Costa*

*Sistema sensor de nivel de caudal*

Para la medición de nivel de caudal existen alternativas tecnológicas como la plataforma Max2, un sistema que controla totalmente una gama de equipos electrónicos de forma inalámbrica, independiente del tipo, marca o modelo; con facilidad de instalación y bajos costos.

En particular esta plataforma cuenta con dos módulos optativos de control, ejecutados a través de dispositivos denominados sensor nivel Max 2. El primero módulo permite conectar cualquier nodo de censado de variable hídrica pueda ser manejado por mando remoto en un equipo inteligente, a través del uso de modernos dispositivos y un robusto sistema integrado, el cual es independiente de los protocolos comerciales de comunicación propios de la empresa (llámese LoRa o satelital y 4G, entre otros), otorgando la capacidad de uso de las funciones internas del equipo desde cualquier lugar de la organización; ofrecer métricas sobre estimaciones de consumo, tiempos de uso, ahorro energético comprobable y mucho más.

Por otra parte, el segundo módulo brinda medición y supervisión inalámbrica de las variables de nivel y caudal, agregando detalladas gráficas e históricos de datos, programación de eventos y procesamiento de datos en tiempo real a partir de sensores de altas precisión.

Este sistema incluye la instalación de nodos sensores de nivel con los módulos respectivos para la medición de afluentes hídricos y el desarrollo de los siguientes componentes:

- Dispositivos repetidores y/o amplificadores.
- Nodo sensor de nivel con módulos de control medición de nivel.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

- Estudio técnico y de topología para el despliegue de la red inalámbrica en área de medición.
- Instalación, configuración y puesta en marcha de los dispositivos.
- Licencia del software de control con manejo ilimitado de equipos para nodos sensores a través de una plataforma con acceso web desde cualquier lugar mediante un único usuario registrado.
- Capacitación, asesoría y acompañamiento gratuito para su manejo y puesta en marcha.



Figura 57. Sensor de nivel Max2 en campo.  
Fuente: Emerge Tecnologías (2018)

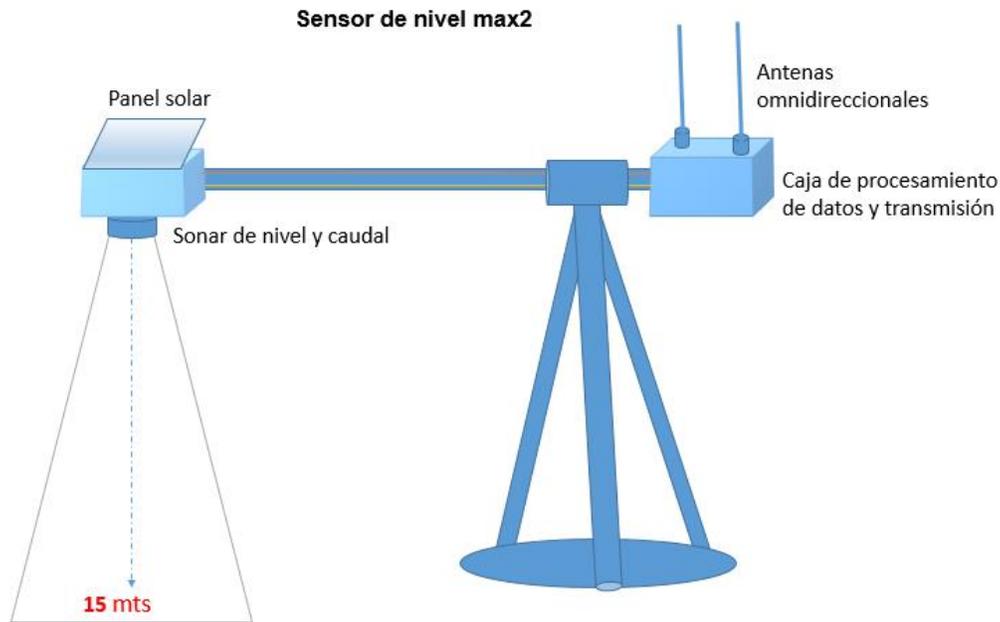
## DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE COMPONENTES Y COSTOS DEL DISPOSITIVO MAX 2

### Transmisión y recepción

Información básica sensor : el nodo sensor MAX 2 puede transmitir emisión de datos máximas de bits 300 kbps con una alta sensibilidad además cuenta con una baja de 137 Dbm sumado a un bajo consumo energético en el proceso de transmisión de RX de 10mA y 200 NA en registro de retención, con un potente sintetizador con una resolución de 61 Hz, todo esto sumado a una transmisión potente de 5 a 25kms sin línea de vista en zonas rurales y en algunos perímetros urbanos, el sensor con el que cuenta el MAX 2 es tiene una penetración de 25mts de profundidad que le permite actuar de varias formas, 1 de ellas es llegar hasta la superficie del objeto de medición y medir des de allí el nivel de líquidos, 2 en su segunda fase con el mismo

**Entregable 3** Ë Departamento del Quindío  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

sensor permite medir el caudal del cuerpo de agua y le limitando el nivel y el caudal se pueden generar alertas de cambios abruptos, sumado que cuenta con una unidad de procesamiento lógica y autónoma que le permite guardar históricos de ocurrencias para poder comparar y predecir situaciones que podrían repetirse.



*Figura 58. Sensor de nivel MAX2  
Fuente: Emerge Tecnologías (2018).*

### Datos de SENSOR

Aplicaciones Aguas y aguas residuales, medición de caudal en canal abierto y control de nivel

Rango de medición hasta 15 m

Conexión de proceso Rosca G1½, Soporte de montaje, Brida de compresión desde DN 80, 3"

Temperatura de proceso -40 ... +80 °C

Presión de proceso -1 ... +2 bar (-100 ... +200 kPa)

Precisión ±2 mm

Bandas de frecuencia Banda K

Salida electrónica 4 ... 20 mA/HART, Profibus PA, Foundation Fieldbus

Indicación/ajuste PACTware, VEGADIS 82

Certificación ATEX, IEC, EAC (GOST), UKR Sepro, CSA

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

### Beneficios

- Solución rentable gracias a las numerosas y sencillas opciones de montaje.
- La carcasa IP 68 estanca permite un funcionamiento continuo y sin mantenimiento.
- Programación de horarios de encendido y apagado automático de los sensores.
- Manejo de los sensores desde cualquier lugar.
- Visualización de estadísticas de las mediciones e históricos de uso y consumo de los equipos.
- Control en el sistema que permite tener un mayor ahorro energético y mayor autonomía.

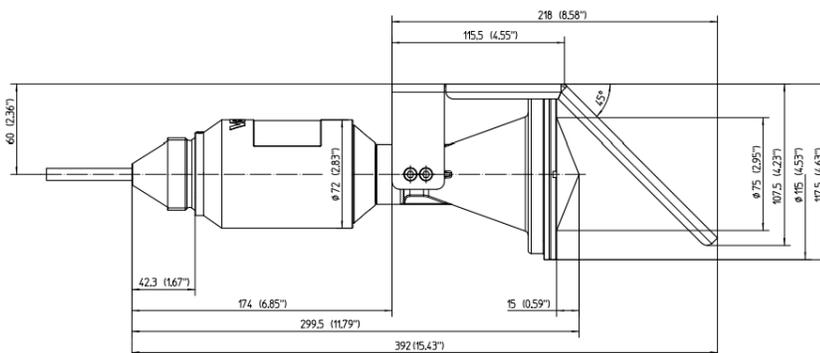


Figura 59. Carcasa IP 68 ó Sensor de Nivel  
Fuente: Emerge Tecnologías (2018).

### Parámetros de longitud de corriente

Se considera como longitud de la corriente de agua, a la máxima extensión o Longitud, entre el nacimiento y su desembocadura, de una corriente de agua. Generalmente todos los caudales (medios, máximos y mínimos) crecen con la Longitud de la corriente debido a la normal relación que existe entre la longitud de la corriente y el área de la cuenca correspondiente. De tal manera que la variación de los caudales en relación con el crecimiento de la longitud de la corriente será, generalmente, similar a la variación del caudal con el área y las excepciones, cuando estas se presenten, serán análogas a las de las áreas. En fenómenos extremos como crecientes súbitas o tiempo de concentración retardado, la longitud del cauce es un factor determinante, ya que a una longitud mayor

Supone mayores tiempos de desplazamiento de las avenidas y, como consecuencia de esto, mayor atenuación de las crecidas.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

Información básica controlador

El nodo de transmisión y retransmisión MAX 2 puede transmitir ráfagas de datos máximas de bits 300 kbps con una alta sensibilidad además cuenta con una baja de 137 dbm sumado a un bajo consumo energético en el proceso de transmisión de rx de 10mA y 200 NA en registro de retención, con un potente sintetizador con una resolución de 61 Hz, todo esto sumado a una transmisión potente de 5 a 25kms sin línea de vista en zonas rurales y en algunos perímetros urbanos, además puede atender más de un nodo sensor, también cuenta con la facultad de hacer saltos de transmisión y retransmisión para ampliar el rango de la red, esta soportado para generar alertas de forma local cuando se generen fallas entre la carga de la data a la nueva y el evento de alerta.

Tabla 29. Variables de transmisión de datos

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
<b>DevAddr</b>	Dirección corta del dispositivo.
<b>FPort</b>	Campo de puerto de multiplexación. El valor cero significa que la carga útil contiene sólo los comandos MAC.
<b>FCNT</b>	Contador de tramas.
<b>MIC</b>	Código de integridad de mensaje cifrado, calculada sobre los campos <i>MHDR</i> , <i>FHDR</i> , <i>FPort</i> y el cifrado <i>FRMPayload</i>
<b>Mtype</b>	Tipo de mensaje, que indica, entre otras cosas si se trata de un enlace ascendente o un mensaje de enlace descendente y si es o no es un mensaje de confirmado.
<b>ADR y ADRAckReq</b>	Controla el mecanismo de adaptación de velocidad de datos por el servidor de red. <i>ACK</i> reconoce la última trama recibida
<b>ACK</b>	Reconoce la última trama recibida. (Variable de Notificación)
<b>FPending</b>	Indica que el servidor de red tiene más datos para enviar y que el dispositivo terminal debe enviar otra trama tan pronto como sea posible para que se abra ventanas de recepción

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
<b><i>FOptsLen</i></b>	Indica la longitud de la <i>FOpts</i> campo en bytes.
<b><i>FOpts</i></b>	Se utiliza para piggyback comandos de MAC en un mensaje de datos.
<b><i>CID</i></b>	Es el identificador de comando MAC
<b><i>Args</i></b>	Son los argumentos opcionales de la orden
<b><i>FRMPayload</i></b>	Es la carga útil, que se cifra usando AES con una longitud clave de 128 bits.

*Fuente: Emerge Tecnologías (2018).*

#### **13.4 Sistema de monitoreo de deformaciones del suelo**

Una solución para el sistema de monitoreo requerido debe permitir un análisis automático de cada evento, y la respuesta de cada cuenca, talud, perfil o región, ante cualquier evento, de tal manera de poder determinar con facilidad si el evento está asociado a un mecanismo focal de origen geológico, hidrológico, geotérmico, vulcanológico, o saturación de suelos directamente sobre las zonas sensibles o que presenten un potencial de riesgo de menor o mayor grado, determinado por las autoridades competentes.

Tratándose de un sistema de alerta temprana para los fenómenos naturales descritos en el presente documento, se hace esencial la disposición de un sistema de operación completamente autónomo, con respaldo de energía para al menos 2 días y sistema de comunicaciones vía modem GPRS o similar para asegurar en lo posible la continuidad operacional del sistema de monitoreo.

Para avenida torrencial y como complemento del sistema de monitoreo de remoción en masa existen tecnologías de gran posicionamiento en el mercado internacional como

Esta tecnología ha sido diseñada por la empresa GEMPA GEOSERVICE S.A., con sede en la ciudad de Panamá. A continuación, se presenta una breve descripción.

Integración de un sistema de monitoreo de deformaciones del suelo en donde se presente:

- Tabla de magnitudes y focalización.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

- El evento determinado como microsismo en su formato original
- Caracterización del fenómeno (microsismo, deslizamientos, etc.)
- Sistema de información geográfica (mapa) que permita la visualización de la ubicación del evento de manera rápida y determinar distancias a sitios de interés como centros poblados, sedes de organismos públicos, etc.
- Archivo de estado de salud y configuración del sistema de monitoreo
- Sistema de registros de reportes históricos.

Software de procesamiento en línea y post procesamiento de datos.

De este se espera que emitan informes que contengan la siguiente información:

- Tabla con magnitudes y focalización
- Código de colores para rango de magnitudes y focalización así: verde (condiciones de bajo riesgo), amarillo (condiciones de medio riesgo) y rojo (condiciones de alto riesgo)
- El evento determinado en su formato original
- Un mapa que permita visualización de la ubicación del evento de manera rápida.
- Periodos fundamentales de vibración y tasas de deformación, factor de amortiguamiento y PGA.
- Archivo de estado de salud y configuración del sistema de monitoreo
- Nota: tratándose de un sistema de alerta temprana para los fenómenos naturales descritos anteriormente, se hace esencial la disposición de un sistema de operación completamente autónomo, con respaldo de energía para al menos 2 días y sistema de comunicaciones vía modem GPRS o similar para asegurar en lo posible la continuidad operacional del sistema de monitoreo.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

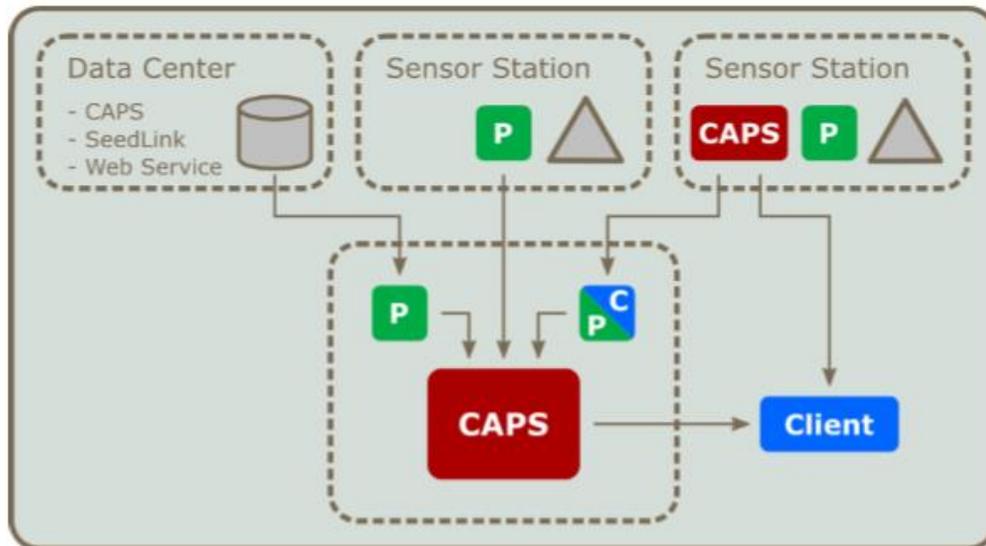


Figura 60. Diagrama del Sistema de Monitoreo  
Fuente: Gempa S.A. (2018).

Instrumentación primaria de monitoreo.

Estaciones de 6-canales integradas con sensores de corto periodo y aceleración (ambos sensores triaxiales) que incluyen las siguientes especificaciones:

- a) Disponer de todos los dispositivos que integran la unidad en un único compartimiento, a saber:
  - i. Sensor de aceleración triaxial con disposición ortogonal.
  - ii. Sensor de velocidad triaxial con disposición ortogonal
  - iii. Hyperdamper
  - iv. Digitilizador
  - v. Módulo de tiempo GPS
  - vi. Módulo comunicaciones
  - vii. CPU
  - viii. Memoria de 8Gb tipo USB
- b) Digitalizador debe estar dispuesto de un convertidor Delta-Sigma de 24bit de 6-canales.
- c) Registrar datos a al menos 100 muestras por segundo.
- d) Disponer de una antena GPS y cable de 5 metros.
- e) Dispuesto para Marca de tiempo vía NTP (Network Timing Protocol) con una precisión de +/- 10 ms a 100 mps, o mejor.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

f) Sensor de velocidad:

- i. tipo geófono de corto periodo de 4.5 Hz de frecuencia natural o mejor.
- ii. con respuesta en frecuencia plana entre 0.7 y 17 Hz o superior.
- iii. con nivel de saturación: 28 mm/s, desde 0.1 a 10 Hz.
- iv. con umbral de detección mínimo: 0.1  $\mu\text{m/s}$  RMS desde 1 a 40 Hz @ 100 mps o mejor.
- v. con centrado de masa: no requerido.

g) Sensor de aceleración:

- i. tipo piezoeléctrico
- ii. frecuencia plana entre 0.4 y 32 Hz o superior.
- iii. Nivel de saturación: +/-2G (16.3  $\text{m/s}^2$  desde 0.1 a 10 Hz).
- iv. Ruido electrónico: 19  $\mu\text{m/s}$  (0.002 Gal) RMS desde 1 a 10 Hz @ 100 mps o inferior.

h) Centrado de masa: no requerido.

i) El voltaje de operación debe estar en el rango de 9.7 a 16.5 VDC o más amplio.

j) Integridad: IP66 o superior, con cobertura de policarbonato.

k) Operar en el rango de temperatura de de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$ .

l) Debe poseer Protocolo de comunicaciones Seedlink nativo.

m) El formato de salida de los datos debe ser mseed.

n) Debe poseer una interface web de configuración remota.

o) Debe tener la capacidad de generar el archivo de respuesta instrumental directamente desde la unidad en formatos dataless SEED, RESP.

p) Sistema operativo base Linux.

q) un puerto de comunicaciones ethernet bajo protocolo TCP/IP con terminal RJ45.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

---



*Figura 61. Dispositivo de sensor para remoción en masa y avenidas torrenciales  
Fuente: Gempa S.A. (2018).*

Este dispositivo es una solución plug-and-play de monitoreo de tierra que detecta y mide terremotos y actividades sísmicas como fracking, explosiones, erupciones, avalanchas, deslizamientos de tierra, etc. Incluye el tablero Raspberry Pi y todos los componentes, viene preconstruido con todo lo que se necesita para que funcione el Raspberry Shake. Incluye una carcasa a medida a prueba de lluvia, a prueba de polvo, a prueba de errores, para todo clima y ambiente.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

### 15. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

ACTIVIDADES	MES																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A1. Alistamiento del Proyecto																								
A2. Definir el marco fundamental del sistema de monitoreo para la gestión del riesgo																								
A3. Definir la arquitectura general del sistema de monitoreo, telecomunicaciones y energía																								
A4. Evaluar y seleccionar los sensores y equipos																								
A5. Desarrollar un prototipo de nodo sensor y estación base que realice monitoreo de las variables en tiempo real.																								
A6. Diseñar la estructura de gestión de la información del sistema.																								

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

ACTIVIDADES	MES																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A7. Desarrollar un modelo estadístico predictivo para el análisis de la información y la gestión de las alertas ante los eventos de remoción en masa, inundación y avenidas torrenciales.																								
A8. Diseñar las herramientas de tratamiento de información del sistema																								
A9. Diseñar herramientas de interacción de usuarios del sistema.																								
A10. Evaluación de la integración de los componentes de interfaz de usuario y tratamiento de la información.																								
A11. Realizar las pruebas del sistema integrado de alerta temprana																								

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

ACTIVIDADES	MES																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A12. Comprobar que los procedimientos y protocolos del sistema de alerta temprana operan correctamente																								
A13. Diseñar los mecanismos de sostenibilidad y mantenimiento del sistema																								
A14. Gestión Administrativa del Proyecto.																								
A15. Apoyo a la supervisión																								

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

## 16. PRESUPUESTO

RUBROS		RESUMEN					
		CONTRAPARTIDA		CONTRAPARTIDA		SGR	TOTAL
		POR CADA INSTITUCION		TOTAL DE CONTRAPARTIDA		Efectivo	
		Especie	Efectivo	Especie	Efectivo		
01.	Talento humano	\$ 209.193.600,00	\$ -	\$ 209.193.600,00	\$ -	\$ 627.702.400,00	\$ 836.896.000,00
02.	Equipos y software	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 438.155.200,00	\$ 438.155.200,00
03.	Capacitación y participación en eventos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
04.	Servicios tecnologicos y pruebas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 601.850.000,00	\$ 601.850.000,00
05.	Materiales, insumos y documentación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
06.	Protección de conocimiento y divulgación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 20.000.000,00	\$ 20.000.000,00
07.	Gastos de viaje	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 43.600.000,00	\$ 43.600.000,00
08.	Infraestructura	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	-	\$ -
09.	Administrativos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 190.368.000,00	\$ 190.368.000,00
10.	Interventoria	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 188.160.000,00	\$ 188.160.000,00
11.	Otros	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 209.193.600,00</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 209.193.600,00</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 2.109.835.600,00</b>	<b>\$ 2.319.029.200,00</b>

Para mayor detalle ver Anexo Ficha Presupuesto.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

### 17. ANÁLISIS DE RIESGOS

Nivel de clasificación	Tipo de riesgo	Descripción del riesgo	Probabilidad	Impacto	Efectos	Medidas de mitigación
Componente	Operacionales	Baja participación en la implementación del proyecto de la comunidad y de entidades cuya función está asociada a la gestión de riesgos de desastres en el departamento.	MODERADO	MAYOR	Retrasos en la ejecución del proyecto.	Realizar una adecuada identificación de las partes interesadas en el proyecto. Socializar los objetivos del proyecto a través de diversos medios de comunicación. Realizar jornadas o eventos de sensibilización y socialización con la comunidad y entidades del territorio y del ámbito nacional.
Componente	Asociados a fenómenos de origen natural: atmosféricos, hidrológicos, geológicos, otros.	Dificultades en la configuración del sistema de comunicación y transmisión de los datos a las estaciones base y a su vez a la plataforma para la gestión de la información,	MODERADO	MODERADO	Retrasos en el cronograma de ejecución e incremento en los costos del componente implementación de una plataforma tecnológica	Identificar alternativas tecnológicas que soporten la transmisión de los datos acorde a la fisiografía de los puntos priorizados para instalación del sistema de monitoreo

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

Nivel de clasificación	Tipo de riesgo	Descripción del riesgo	Probabilidad	Impacto	Efectos	Medidas de mitigación
		debido a la complejidad de la topografía de la zona.				
Propósito	Asociados a fenómenos de origen socio-natural: inundaciones, movimientos en masa, incendios forestales.	Retrasos en la instalación de los sistemas de monitoreo y estaciones base por condiciones climáticas de lluvias intensas	PROBABLE	MODERADO	Desfases en el cronograma de ejecución del proyecto en el componente de prototipo del sistema de monitoreo de variables.	Elaborar un plan de probabilidad de ocurrencia de lluvias y con base en éste realizar los ajustes en el cronograma.
Componente	Asociados a fenómenos de origen natural: atmosféricos, hidrológicos, geológicos, otros.	Acceso limitado a los puntos priorizados para instalación de los sistemas de monitoreo	MODERADO	MAYOR	Retrasos en el cronograma de ejecución del proyecto en el componente de prototipo del sistema de monitoreo de variables.	Diseñar un plan de rutas de acceso a los puntos priorizados que contemple varias alternativas.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
 Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
 27 de septiembre de 2018  
 Versión No. 4

Nivel de clasificación	Tipo de riesgo	Descripción del riesgo	Probabilidad	Impacto	Efectos	Medidas de mitigación
Componente	De mercado	Por efectos de la inflación (para compras nacionales) o aumento del dólar (para compras internacionales) la adquisición de equipos, tecnologías, materiales o software varía con respecto a la proyección inicial	PROBABLE	MODERADO	Afectación del flujo de caja del proyecto y del presupuesto total	Incluir en la reserva de contingencia o imprevistos el costo por concepto de inflación o fluctuación del dólar para mitigar su efecto en el presupuesto inicial.

## 18. ESTRATEGIA DE OPERACIÓN Y SOSTENIBILIDAD

El proyecto contempla la definición de mecanismos de sostenibilidad, operación y mantenimiento del sistema, para lo cual se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

### SOCIAL

- Contar con el respaldo de instituciones de carácter científico y técnico, y aquellas responsables de la Gestión del Riesgo de Desastres en el Departamento, para que el estudio, vigilancia, seguimiento, control y evaluación de una amenaza o evento adverso, así como del sistema de alerta temprana, contenga una base científica válida que permita la mejora continua en este tipo de procesos.
- Se requiere la participación de las autoridades locales e instituciones nacionales, que componen el Consejo Departamental de Gestión del Riesgo, las cuales tienen la

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

responsabilidad de establecer operaciones y acciones relacionadas con la preparación y respuesta en caso de materializarse los eventos.

- Desarrollo de estrategias que involucren y empoderen a la comunidad como actor principal del proceso y como garantía para el funcionamiento y operación del sistema de monitoreo y la seguridad de la infraestructura física (sistema de monitoreo y transmisión).
- Articular a las entidades locales de radio y televisión al sistema de comunicaciones, de tal manera que se puedan fortalecer las estrategias de difusión y divulgación de alertas y emergencias, conservando la credibilidad de la población.

## **LEGAL**

- El sistema deberá operar en el marco de la legislación colombiana y de las políticas territoriales, tales como Decreto 308 del 24 de febrero de 2016. Por medio del cual se adopta el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres; la Ley 1523 - 24 de abril del 2012, por la cual se adopta la política nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres; Ley 1523 - 24 de abril del 2012, por la cual se adopta la política nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, plan departamental para la Gestión del Riesgo, entre otros
- La Unidad Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres adscrita a la Gobernación del departamento del Quindío, dentro de sus funciones será la responsable de administrar el Sistema de Alerta Temprana.

## **ECONÓMICA**

- Crear una partida o fondo departamental que se incluya en el presupuesto del gobierno local para realizar el mantenimiento de los dispositivos, estructuras, estaciones base y plataforma tecnológica que conforman el sistema.
- Desarrollar estrategias de articulación con el SIG departamental, el IDEAM, el Servicio Geológico Colombiano, el observatorio Departamental, las Instituciones de Educación Superior, a fin de compartir información y recursos, adoptar fuentes comunes de datos, personal, y procedimientos para asegurar la sostenibilidad del sistema.

Entregable 3 Ë Departamento del Quindío  
Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1  
27 de septiembre de 2018  
Versión No. 4

## TÉCNICA

- Licenciamiento de las alternativas tecnológicas que respondan a los requerimientos y necesidades del departamento, en los procesos de monitoreo y transmisión de datos.
- Entrenamiento y actualización continua del equipo y personal de apoyo en las comunidades que participa en la operación del sistema de alerta temprana.
- Desarrollar un plan de mantenimiento periódico de los equipos y sistemas.
- Definir mecanismos de evaluación participativa y retroalimentación del sistema.
- Investigación permanente sobre el sistema desarrollado para mejorar su funcionalidad y adaptarlo en nuevos escenarios, así como para fortalecer el modelo de pronóstico de eventos.
- Asegurar el fácil acceso a las piezas, dispositivos, materiales o insumos requeridos para el correcto funcionamiento del sistema, considerando la disponibilidad y costos de adquisición.

## AMBIENTAL

- El desarrollo del sistema de alerta temprana implica la instalación de los sistemas de monitoreo, transmisión y estaciones base, cuyo impacto en el ambiente es poco significativo, considerando que son equipos de tamaño moderado y que se requieren modificaciones mínimas en los puntos de intervención.
- Definir un Plan de Monitoreo de los puntos priorizados para la instalación del sistema, de tal manera que se compruebe periódicamente que la estructura implementada no está generando efectos en el entorno.
- Sensibilización de la comunidad y entidades involucradas de la importancia del entorno y la identificación de estrategias para su protección.

## 19. SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

En el marco del Sistema General de Regalías, la Ley 1530 de 2012 proporciona los lineamientos de operación del Sistema de Monitoreo, Seguimiento, Control y Evaluación (SMSCE), cuyo propósito es velar por el uso eficiente y eficaz de los recursos del SGR, fortaleciendo la Transparencia, la Participación Ciudadana y el Buen Gobierno. Esta labor es realizada periódicamente y en doble vía, es decir, el Departamento reportará la información requerida en

**Entregable 3** Ë Departamento del Quindío  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

las fechas estipuladas y el SMSCE llevará a cabo visitas técnicas selectivas para verificar los resultados que a la fecha de corte se hayan obtenido, producto de la implementación del proyecto.

Bajo este contexto, la labor de seguimiento y evaluación del proyecto será liderada por el Gerente del Proyecto, principalmente, y por el equipo del Proyecto. Así mismo, el proyecto contempla la contratación de una interventoría que soporte y facilite tales procesos.

Los indicadores del objetivo general y objetivos específicos, así como, el cronograma de actividades y el presupuesto establecidos en el proyecto, serán la base para verificar periódicamente el avance físico y financiero del proyecto. De igual manera, el Departamento, podrá establecer sus propios sistemas de evaluación acorde a sus políticas internas, que vayan en el mismo sentido de los indicadores que hacen parte del índice de gestión de proyectos del SGR.

Por otra parte, se definirá un plan de gestión del cambio que permitirá realizar los ajustes necesarios en la ejecución del proyecto, minimizando los efectos que pueda traer sobre la calidad, costos, cronograma y desempeño del proyecto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Abdoun, T., Bennett, V., Desrosiers, T., Simm, J. & Barendse, M. (2013). Asset Management and Safety Assessment of Levees and Earthen Dams Through Comprehensive Real-Time Field Monitoring. *Geotechnical and Geological Engineering*, 31(3), 833-843.

Alcaldía de Salento - Quindío. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal "Creer en lo que somos" 2016-2019*. Obtenido de <http://salento-quindio.gov.co/apc-aa-files/34343863353036643664306332663537/plan-de-desarrollo-creer-en-lo-que-somos.pdf>

Alcaldía Municipal de Calarcá - Quindío. (2016). *Planes del Municipio*. Obtenido de Plan de Desarrollo "Somos el Cambio" 2016-2019: [http://www.calarca-quindio.gov.co/Nuestros\\_planes.shtml?apc=gbPlan%20de%20Desarrollo%20Municipal-1-&x=3113154](http://www.calarca-quindio.gov.co/Nuestros_planes.shtml?apc=gbPlan%20de%20Desarrollo%20Municipal-1-&x=3113154)

**Entregable 3** Ë Departamento del Quindío  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Alcaldía Municipal de Pijao - Quindío. (2016). *Plan de Desarrollo Territorial "El Gobierno del Pueblo" 2016-2019*. Obtenido de [http://pijao-quindio.gov.co/apc-aa-files/34306536396163653636633361373133/acuerdo-n\\_-004-plan-de-desarrollo-pijao-2016-2019.pdf](http://pijao-quindio.gov.co/apc-aa-files/34306536396163653636633361373133/acuerdo-n_-004-plan-de-desarrollo-pijao-2016-2019.pdf)

Aristizábal, E., González, T., Montoya, J. D., Vélez, J. I., Martínez, H., & Guerra, A. (2011). Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el Valle de Aburrá, Colombia. *Revista EIA*, (15).

Banco Mundial. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas*.

Banco Mundial. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas*. Banco Mundial. Bogotá. 2012.

Banner (2000-2007). *Sensores Ultrasónicos*. Recuperado de <http://global.bannerengineering.com/es-MX/products/65/Sensors/218/Ultrasonic-Sensors>.

Basher, R. (2006). Global early warning systems for natural. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364, 2167–2182. doi:10.1098/rsta.2006.1819

Berg, N., Smith, A., Russell, S., Dixon, N., Proudfoot, D. & Take A. (2017). Correlation of acoustic emissions with patterns of movement in an extremely slow moving landslide at Peace River, Alberta, Canada. *Canadian Geotechnical Journal*. (In press).

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED. (2016). 2016 preliminary data1 - Human impact of natural disasters. *Cred crunch*, 45, 1-2.

Chichibu, A., Jo, K., Nakamura, M., Goto, T. & Kamata, M. (1989). Acoustic Emission Characteristics of Unstable Slopes. *Journal of Acoustic Emission* 8, No. 4, 107–112.

Colombiana, C. R. (2016). *Sistemas de Alerta Temprana*. Obtenido de Guajira: <http://www.cruzrojacolombiana.org/donde-estamos/sistema-de-alerta-temprana-sat>

Cooper, M. R., Bromhead, E. N., Petley, D. J. & Grants, D. I. (1998). The Selborne cutting stability experiment. *Géotechnique* 48, No. 1, 83-101.

Cornforth, D.H. (2012). Advances in investigation and analysis for soil landslides: Three selected topics. *Landslides and engineered slopes: Protecting society through improved understanding* (pp. 59–71).

Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996). *Landslides: Investigation and Mitigation*. Chapter 3- Landslide types and processes. Transportation research board special report, (247).

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

DANE. (2005). *Estimaciones De Población 1985 - 2005 Y Proyecciones De Población 2005 - 2020 Total Departamental Por Área.*

*Departamento Nacional de Planeación.* (13 de Febrero de 2016). Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de Diálogos regionales para la planeación de un nuevo país: Quindío: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaciones/2016-02-13%20Presentacio%CC%81n%20Quindio.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo "Todos por un nuevo país" 2014-2018.* Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/Paginas/Que-es-el-Plan-Nacional-de-Desarrollo.aspx>

Departamento Nacional de Planeación. (2015.). *Reporte de Emergencias municipales.*

Dixon, N., Smith, A., Spriggs, M. P., Ridley, A., Meldrum, P. & Haslam, E. (2015b). Stability monitoring of a rail slope using acoustic emission. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Geotechnical Engineering* 168 (5), 373-384.

Dixon, N., Spriggs, M. P., Smith, A., Meldrum, P. & Haslam, E. (2015a). Quantification of reactivated landslide behaviour using acoustic emission monitoring. *Landslides* 12 (3), 549-560.

Domínguez-Calle, E., & Lozano-Báez, S. (2014). Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia. *Revista Académica Colombiana de Ciencias*, 321-332.

Dunnicliff, J. (1988). *Geotechnical instrumentation for monitoring field performance*, John Wiley & Sons.

Efraín Domínguez-Calle Sergio Lozano-Báez. (2014). Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38, 321–332.

Elizabeth Ramirez, O. C. (29 de 11 de 2014). *Programación Movil* . Obtenido de [programacionmovilufps.blogspot.com.co/2014/11/que-es-la-programacion-la-programacion.html?m=1](http://programacionmovilufps.blogspot.com.co/2014/11/que-es-la-programacion-la-programacion.html?m=1)

Emergency Management Australia (2001). Guide 8 - Reducing the community impact of landslides. Australian Emergency Manuals Series, Part III Emergency Management Practice, Volume 3 – Guidelines.

Emergency Management Australia (2001). Guide 8 - Reducing the community impact of landslides. Australian Emergency Manuals Series, Part III Emergency Management Practice, Volume 3 – Guidelines.

Estudio de Identificación y caracterización de los movimientos de remoción en masa del municipio de Pijao como mecanismo de soporte en la gestión del riesgo y complemento al esquema de ordenamiento territorial, Naranjo y Amat, 2016.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

European Flood Awareness System. (2014). *Archivos*. Obtenido de Pronósticos EFAS: <https://www.efas.eu/>

F. García, Manual de climatología aplicada, Madrid: Síntesis, 1995.

Fujiwara, T., Ishibashi, A. & Monma, K. (1999). Application of acoustic emission method to Shirasu slope monitoring. In *Slope stability engineering* (Yagi, Yamagami & Jiang (eds)). Rotterdam: Balkema, pp. 147–150.

García Carvajal, S. (2015). Formulación de protocolos en incendios forestales, inundaciones y deslizamientos para la adecuada gestión administrativa del riesgo de desastre.

Gobernación del Quindío UDEGERD. (2015). *Gobernación del Quindío*. Obtenido de Estrategia Departamental para la respuesta a emergencias y desastres: [https://quindio.gov.co/home/docs/items/item\\_107/ESTRATEGIA\\_DEPARTAMENTAL\\_1.0\\_2015\\_FINAL.pdf](https://quindio.gov.co/home/docs/items/item_107/ESTRATEGIA_DEPARTAMENTAL_1.0_2015_FINAL.pdf)

Gobernación del Quindío. (2016). *Plan de Desarrollo en defensa del bien común 2016-2019*. Obtenido de Gobernación del Quindío: <https://www.quindio.gov.co>

Hakala, *Wireless Sensor Network in Environmental Monitoring - Case Foxhouse* de IEEE Computer Society - The Second International Conference on Sensor Technologies and Applications. 2008

Hansson, D. H. (Julio de 2004). *Rails*. Obtenido de [www.rubyonrails.org/es/](http://www.rubyonrails.org/es/)

Howard B. Glasgow, JoAnn M. Burkholder, & Robert E. Reed, Alan J. Lewitus, Joseph E. Kleinman. (2004). Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 300(1-2), 409– 448.

Infrastructure Development Institute(IDI). (2006). *International Flood Network*. Obtenido de <http://gfas.internationalfloodnetwork.org/gfas-web/>

Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM, Programa de las Naciones Unidas PNUD. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100*. Bogotá.

International Flood Network. (2017). *GFAS II*. Obtenido de <http://gfas.internationalfloodnetwork.org/n-gfas-web/PC/frmMain.aspx>

Jakob, M., Owen, T., & Simpson, T. (2012). A regional real-time debris-flow warning system for the District of North Vancouver, Canada. *Landslides*, 9(2), 165-178.

Kane, W.F. & Beck, T.J. (2000). Instrumentation practice for slope monitoring. *Engineering geology practice in Northern California*. Association of engineering geologists Sacramento and San Francisco sections.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Kane, W.F., Beck, T.J. & Hughes, J.J. (2001). Applications of time domain reflectometry to landslide and slope monitoring. Second International Symposium and Workshop on Time Domain Reflectometry for Innovative Geotechnical Applications, Infrastructure Technology Institute at Northwestern University, Evanston, IL (pp. 305–314).

Koerner, R. M., McCabe, W. M. & Lord, A. E. (1981). Acoustic emission behaviour and monitoring of soils. In *Acoustic Emission in Geotechnical Practice*, ASTM STP 750, pp. 93-141.

Lagomarsino, D., Segoni, S., Fanti, R., & Catani, F. (2013). Updating and tuning a regional-scale landslide early warning system. *Landslides*, 10(1), 91-97.

Leroueil, S. (2001). Natural slopes and cuts: movement and failure mechanisms. *Géotechnique*, 51, 3, 197-243.

Martelloni, G., Segoni, S., Fanti, R., & Catani, F. (2012). Rainfall thresholds for the forecasting of landslide occurrence at regional scale. *Landslides*, 9(4), 485-495.

Matz. (29 de Noviembre de 2001). An Interview with the creator of Ruby. *Science Today*.

Michlmayr, G., Chalari, A., Clarke, A., & Or, D. (2017). Fiber-optic high-resolution acoustic emission (AE) monitoring of slope failure. *Landslides*, 14(3), 1139-1146.

Millis, S.W., Ho, A.N.L., Chan, E.K.K., Lau, K.W.K. & Sun, H.W. (2008). Instrumentation and real-time monitoring of slope movement in Hong Kong. The 12th international conference of international association for computer methods and advances in geomechanics (IACMAG) (pp. 4563–4576).

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2017). *Datos Abiertos*. Obtenido de Proyecciones Población: <https://www.datos.gov.co/Mapas-Nacionales/PROYECCIONES-POBLACION-Characterizacion-poblacion/2yih-wg7m/data>

Moreno, D., Bolaños, É. Q., & Garrido, L. C. T. (2014). Los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, una herramienta para la prevención de desastres por inundación y efectos del cambio climático. *Revista Ciencias e Ingeniería al Día*, 9(1), 7-24.

Naciones Unidas (EIRD/ONU). (2004). Obtenido de Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional: <http://www.eird.org/fulltext/LwR2004-esp/fulldoc/LwR%20Vol1.pdf>

Nakajima, I., Negishi, M., Ujihira, M. & Tanabe, T. (1991). Application of the acoustic emission monitoring rod to landslide measurement. Proc. 5th Conf. on Acoustic Emission/Microseismic Activity in Geologic Structures and Materials, Pennsylvania, pp. 1–15.

Petley, D.N., Mantovani, F., Bulmer, M.H. & Zannoni, A. (2005). The use of surface monitoring data for the interpretation of landslide movement patterns. *Geomorphology*, 66, 133–147.

Petley, D.N., Mantovani, F., Bulmer, M.H. & Zannoni, A. (2005). The use of surface monitoring data for the interpretation of landslide movement patterns. *Geomorphology*, 66, 133–147.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Ramírez, A., Buitrago, A., & Marín, I. (2014). RED DE SENSORES DE LARGA DISTANCIA USANDO ZIGBEE PARA EL MONITOREO Y LA GESTIÓN DEL RIESGO EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO-COLOMBIA. *Journal of Research of the University of Quindío*, 25(1), 63-72.

Saito, M. (1980). Semi-logarithmic representation for forecasting slope failure, in *Proceedings, International Symposium on Landslides, Volume 1: Meerut, India, Sarita Prakashan*, p. 321–324.

Saito, M. (1980). Semi-logarithmic representation for forecasting slope failure. *Proceedings Smethurst, J. A., Smith, A., Uhlemann, S., Wooff, C., Chambers, J., Hughes, P., Lenart, S., Springman, S. M., Lofroth, H. & Hughes, D. (2017). Current and future role of instrumentation and monitoring in the performance of transport infrastructure slopes. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. (10.1144/qjegh2016-080).*

Sassa, K., Wang, G., Wang, F., Wang, Y. and Tian, Y. (2005). Landslide Risk Assessment and Disaster Management in the Imperial Resort Palace of Lishan, Xian, China (C101-4). In *Landslides Risk Analysis and Sustainable Disaster Management*, Editors: Sassa, K., Fukuoka, H., Wang, F. and Wang, G., Springer Berlin Heidelberg. 88-89.

Secretaria del Interior - Unidad Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres - Udegerd - Gobernación Del Quindío. (2015). *Plan Departamental de Gestion del Riesgo de Desastres*.

Simeoni, L. & Mongiovì, L. (2007). Inclinometer monitoring of the Castelrotto landslide in Italy. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(6), 653–666.

Smith, A. & Dixon, N. (2015). Quantification of landslide velocity from active waveguide-generated acoustic emission. *Canadian Geotechnical Journal* 52 (4), 413-425.

Smith, A., Dixon, N., & Fowmes, G. J. (2017a). Early detection of first-time slope failures using acoustic emission measurements: large-scale physical modelling. *Géotechnique*, 67(2), 138-152.

Smith, A., Dixon, N., Meldrum, P., Haslam, E. & Chambers, J. (2014). Acoustic emission monitoring of a soil slope: Comparisons with continuous deformation measurements. *Géotechnique Letters* 4 (4), 255-261.

Smith, A., Dixon, N., Moore, R. & Meldrum, P. (2017b). Photographic feature: Acoustic emission monitoring of coastal slopes in NE England, UK. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*. qjegh2016-081.

Stähli, M., Sättele, M., Huggel, C., McArdeU, B.W., Lehmann, P., Van Herwijnen, A., Berne, A., Schleiss, M., Ferrari, A., Kos, A. & Or, D. (2015). Monitoring and prediction in early warning systems for rapid mass movements. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(4), 905-917.

Tomado de: Aspectos hidrológicos e hidráulicos del estudio de amenaza por fenómenos de remoción en masa en la quebrada el cofre, Pedro León García Reinoso, Elkin Aníbal Monsalve Durango , Gabriel Lozano Sandoval, 2010.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

Uhlemann, S., Smith, A., Chambers, J., Dixon, N., Meldrum, P., Dijkstra, T., Haslam, E., Merritt, A. & Gunn, D. (2016). Assessment of ground-based monitoring techniques applied to landslide investigations. *Geomorphology* 253 (1), 438-451.

UNEP (2012). Early Warning Systems: A State of the Art Analysis and Future Directions. Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, 2012.

UNEP (2012). Early Warning Systems: A State of the Art Analysis and Future Directions. Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, 2012.

Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. (11 de 09 de 2015). *Noticias: UNGRD*. Obtenido de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2015/Popayan-ya-cuenta-con-Sistema-de-Alerta-Temprana-para-inundaciones.aspx>

Unidad Nacional de Gestión del Riesgo. (2017). *Sistemas de Alerta Temprana*. Obtenido de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/SAT.aspx>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de desastres. (2016). *Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*. Obtenido de Informe de Gestión: [file:///C:/Users/vcera/Downloads/Informe-gestion-2016-spa%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/vcera/Downloads/Informe-gestion-2016-spa%20(1).pdf)

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo. (2017). *Boletín Informativo No. 007*. Obtenido de [http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20758/Boletin\\_No\\_007.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20758/Boletin_No_007.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo. (28 de Abril de 2015). *Boletín - Subdirección para Reducción del Riesgo*. Obtenido de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/blogsrr/Lists/EntradasDeBlog/Post.aspx?List=003b4730-d02e-498e-a498-070533326a9e&ID=10&Web=c5b6d3de-e6be-4be6-8017-c89fe7919b27>

Unidas Naciones. (2009). *UNISDR*. Obtenido de Terminología sobre reducción de Riesgos: [http://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf)

UNISDR (2007). Hyogo Framework for Action (HFA) 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction (UNISDR), Geneva, Switzerland, 28pp.

UNISDR (2009). Terminology on Disaster Risk Reduction, United Nation International Strategy for Disaster Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), Geneva, Switzerland, 35 pp.

UNISDR (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), UNISDR/GE/2015 - ICLUX EN5000, 1st edition.

**Entregable 3 Ë Departamento del Quindío**  
**Contrato No - NF\_PDE\_Colombia\_CRP\_P1**  
**27 de septiembre de 2018**  
**Versión No. 4**

United Nations Framework Convention on Climate Change (2017). India community-based flood early-warning system. [http://unfccc.int/secretariat/momentum\\_for\\_change/items/8688.php](http://unfccc.int/secretariat/momentum_for_change/items/8688.php) (accessed 1/8/2017)

United Nations Framework Convention on Climate Change (2017). India community-based flood early-warning system. [http://unfccc.int/secretariat/momentum\\_for\\_change/items/8688.php](http://unfccc.int/secretariat/momentum_for_change/items/8688.php) (accessed 1/8/2017)

Universidad del Quindío – INGEOMINAS – C.R.Q. – FOREC. Estudio de amenaza sísmica en los 26 municipios del eje cafetero, afectados por el sismo del 25 de enero de 1999. Armenia, Febrero 2000. 67 páginas.

Wan, M.S.P. & Standing, J.R. (2014). Lessons learnt from installation of field instrumentation. *Proceedings of the ICE - Geotechnical Engineering*, 167(5): 491-506.

Wilkinson, P., Chambers, J., Meldrum, P., Gunn, D.A., Ogilvy, R.D. & Kuras, O. (2010). Predicting the movements of permanently installed electrodes on an active landslide using time-lapse geoelectrical resistivity data only. *Geophysical Journal International*, 183, 543–556.

Wilkinson, P., Uhlemann, S., Chambers, J. & Meldrum, P. (2014). Development and testing of displacement inversion to track electrode movements on 3D Electrical Resistivity Tomography monitoring grids. submitted to *Geophysical Journal International*.