

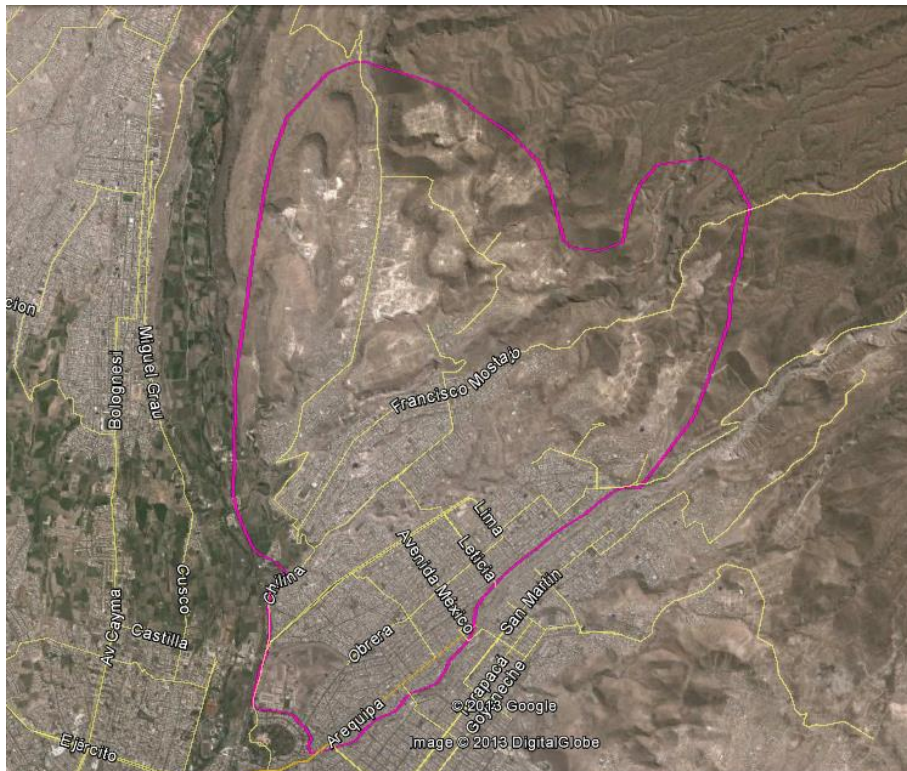


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



**“ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA Y EVALUACIÓN DEL RIESGO EN ZONAS UBICADAS EN LOS DISTRITOS DE CARABAYLLO Y EL AGUSTINO (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA); DISTRITO DEL CUSCO (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DEL CUSCO); Y DISTRITO DE ALTO SELVA ALEGRE (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA)”**

**PRODUCTO 04: DISTRITO DE ALTO SELVA ALEGRE  
TOMO I – RESUMEN EJECUTIVO**



**LIMA – NOVIEMBRE 2013**



**PRODUCTO 04: DISTRITO DE EL ALTO SELVA ALEGRE**

**TOMO I**

**RESUMEN EJECUTIVO**

**1. ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO**

Con fecha 09 de Setiembre de 2013, el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento y la Universidad Nacional de Ingeniería, suscribieron un Convenio Específico, con la finalidad de iniciar los “Estudios de Microzonificación Geotécnica Sísmica y Evaluación del Riesgo en Zonas Ubicadas en los Distritos de Carabaylo y El Agustino (Provincia y Departamento de Lima); distrito del Cusco (provincia y departamento del Cusco); y distrito de Alto Selva Alegre (Provincia y Departamento de Arequipa). Estos estudios están siendo ejecutados por el CISMID.

El presente informe presenta un resumen de los principales resultados obtenido para la zona de estudio del distrito de Alto Selva Alegre, provincia y departamento de Arequipa.

El área de estudio para este distrito se encuentra definido en el Mapa II-1 del presente Tomo II, el cual fue proporcionado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

El objetivo principal del estudio es el desarrollo de Mapas de Microzonificación Geotécnica Sísmica, Peligros Naturales, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la zona de estudio ubicada en el distrito de Alto Selva Alegre (provincia de Arequipa, departamento de Arequipa) a través de un análisis de la sismicidad de la zona, condiciones geotécnicas, determinación de demandas en las edificaciones y finalmente la evaluación del riesgo sísmico.

Para ello fue necesario desarrollar como objetivos complementarios lo siguiente:

- Elaborar el estudio de microzonificación geotécnica y sísmica basado en el Peligro Sísmico, la Geotecnia, la Geofísica y la Dinámica de los Suelos en el área de estudio.
- Realizar la evaluación de eventos naturales que apliquen para el ámbito de estudio y representarlos en un mapa de peligros naturales.
- Determinar el grado de vulnerabilidad en áreas de ocupación urbana, material de la edificación, número de pisos, sistema estructural predominante y otros.
- Análisis del riesgo sísmico en la zona de estudio.
- Análisis de riesgo sísmico de las redes de distribución de agua, en los lugares donde la disponibilidad de datos lo permita.
- Elaboración de bases de datos geoespaciales para la sistematización de la información generada.



La estrategia de trabajo fue considerar la organización de cuatro grupos, los mismos que trabajaron en forma paralela, de manera que se llegue al desarrollo del proyecto a tiempo cumpliendo el cronograma programado, las labores específicas de cada grupo fue el siguiente:

- Grupo 1: Este grupo desarrolló los trabajos de exploración geológica, geotécnica, geofísica y de dinámica de suelos. En gabinete este grupo generó el estudio de Peligro Sísmico y el estudio de microzonificación sísmica entre otros.
- Grupo 2: Este grupo se encargó de la identificación de los peligros naturales para el ámbito de estudio y de su representación en el mapa de peligros naturales.
- Grupo 3: Este grupo se encargó del trabajo de campo en las zonas urbanas del ámbito del estudio, donde se levantó información de campo para estimar el grado de vulnerabilidad en áreas de ocupación urbana, material de la edificación, número de pisos, sistema estructural predominante y otros. Asimismo, diagnosticó la respuesta de la edificación a la aceleración máxima inducida por el sismo en base a los parámetros de verificación estructural. Utilizando la microzonificación producida por el grupo 1, generó el estudio del riesgo sísmico de las zonas urbanas involucradas en el estudio. Este análisis se realizó de manera muestral, considerando en la manzana de análisis la vivienda o edificación representativa. Finalmente el producto de evaluación del riesgo será interpolado para cubrir las áreas que no fueron evaluadas.
- Grupo 4: Este grupo se encargó del desarrollo del análisis de riesgo de las redes de distribución de agua, en aquellos lugares donde se contó con información disponible (catastro de redes de agua).

Los cuatro grupos trabajaron de manera coordinada intercambiando información con el único objetivo de generar un producto de calidad.

El informe final del presente estudio es presentado en tres tomos, el Tomo I corresponde a un resumen ejecutivo del estudio, el Tomo II corresponde a los estudios para el Diagnóstico del Riesgo y el Tomo III corresponde el procesamiento de la información para la Estimación del Riesgo. A continuación se presenta la descripción de los principales Mapas obtenidos para la zona de estudio del distrito de Alto Selva Alegre.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA**

Para determinar el comportamiento de un suelo ante la ocurrencia de un sismo, se tienen que tomar en cuenta las características mecánicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales del terreno. Estas características han sido determinadas para el distrito de Alto Selva Alegre y representadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Mapa II-3 del Tomo II) y de Isoperiodos (Mapa III-1 del Tomo III) respectivamente. Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar tres



zonas en el Mapa de Microzonificación Sísmica (Mapa III-2 del Tomo III). A continuación se describen estas zonas:

### Zona I

Esta zona incluye depósitos de grava de compacidad media, que se registran al norte y en las partes altas del distrito de Alto Selva Alegre. Los tipos de materiales descritos en esta zona presentan las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, varía entre 2.0 y 4.0 kg/cm<sup>2</sup>. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos. Períodos mayores a 0.1 s y menores a 0.2 s.

### Zona II

Esta zona incluye depósitos de arena de compacidad suelta a media densa, de 3.0 m de espesor, que se encuentran en gran parte del distrito de Alto Selva Alegre. Los tipos de materiales descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y a una profundidad mínima de 0.80 m, varía entre 1.0 y 2.5 kg/cm<sup>2</sup>. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos. Períodos menores a 0.4 s.

### Zona IV

Esta zona incluye a las quebradas denominadas torrenteras, que han sido identificados y delimitados en el Estudio Geológico. Dado su comportamiento dinámico y su topografía desfavorable, se considera que esta zona no es apta para la construcción de edificaciones.

### Zona V

Esta zona incluye a los rellenos antrópicos, identificados en sectores específicos del área urbana. Dadas las características desfavorables de los materiales de rellenos, se considera que estos sectores, actualmente, no son aptos para la construcción de edificaciones.

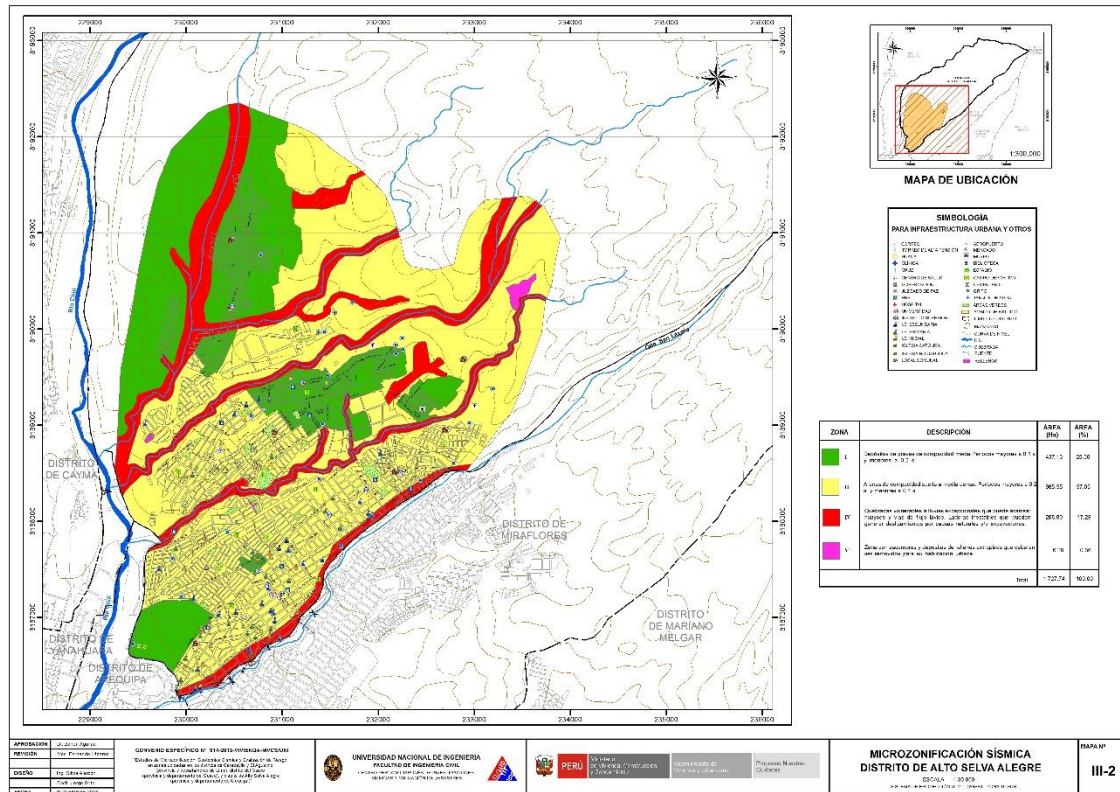
Esta zona también incluye a los rellenos sanitarios, identificada al noreste del área en estudio, está destinada a la disposición final de basura o desechos; por lo que, no es apta para la construcción de edificaciones.

Los rellenos podrían ser reemplazados por material competente, esto podrá ser posible



siempre y cuando se ejecuten estudios específicos de mecánica de suelos, que respalden técnicamente esta decisión.

La Figura 1 muestra el mapa de Microzonificación Sísmica descrito.



**Figura 1.** Mapa de Microzonificación Sísmica del Distrito de Alto Selva Alegre.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE PELIGROS

El distrito de Alto Selva Alegre, presenta peligros naturales geológicos, relacionados mayormente a la presencia del Volcán Misti, estando el área urbana del distrito ubicada en las laderas medias a inferiores del sector Suroeste del volcán. Los procesos geodinámicos, corresponden tanto a la geodinámica externa, como a la geodinámica interna (sismicidad y vulcanismo). Los terrenos naturales, actualmente han sido trastocados por actividad humana, relacionada a construcción de viviendas, explotación de canteras, botaderos, que últimamente se están incrementando.

Se ha sectorizado el distrito por la intensidad de peligros geológicos, encontrándose peligros muy alto a peligros altos.



### **Peligro Muy Alto**

Los peligros de rango muy alto, se relaciona a la presencia de quebradas llamadas localmente torrenteras, que se originan de las partes superiores del Volcán Misti, desembocando estas en el Río Chili. Estas quebradas van a servir para que discurran aguas de lluvias excepcionales, que pueden acarrear huaycos, asimismo si se produjera una actividad volcánica, estas quebradas podrían ser vías de flujos lávicos.

Pese a que las quebradas no son de gran longitud, pero al ser de materiales de origen volcánico más que nada de origen piroclástico, estas han sido fácilmente erosionadas por las aguas de las lluvias que discurren por ello, produciendo quebradas profundas en el sector cercano al río Chile, cauces amplios.

En el sector Suroeste del distrito, estas quebradas están siendo ocupadas por familias, que han y están construyendo viviendas, estos es de mucha peligrosidad por lo expuesto en párrafos anteriores. Asimismo las laderas que forman las quebradas son inestables, produciéndose deslizamientos producidos por causas naturales (sismos) y tecnógenos (excavaciones para diversas construcciones).

### **Peligro Alto**

Las demás áreas que ocupa el distrito, son laderas de pendiente media a fuerte y colinas bajas. Mayormente estas laderas y colinas, están conformadas por materiales de origen volcánico como depósitos piroclásticos y lahares, suelos mal formados y de poco espesor, provenientes de materiales volcánicos y flujos de lava. Debido a el material superficial mayormente disgregado, mas las laderas de pendiente moderada a fuerte que nacen de la cumbre del Volcán Misti, pueden ser removidas por agua de lluvias excepcionales, actividad volcánica y por actividad sísmica, produciendo remoción de masa superficiales de los materiales disgregados, afectando a la población y obras civiles.

La zonificación descrita se muestra en el Mapa II-4 del Tomo II.

La Figura 2 muestra el mapa de peligros descrito.

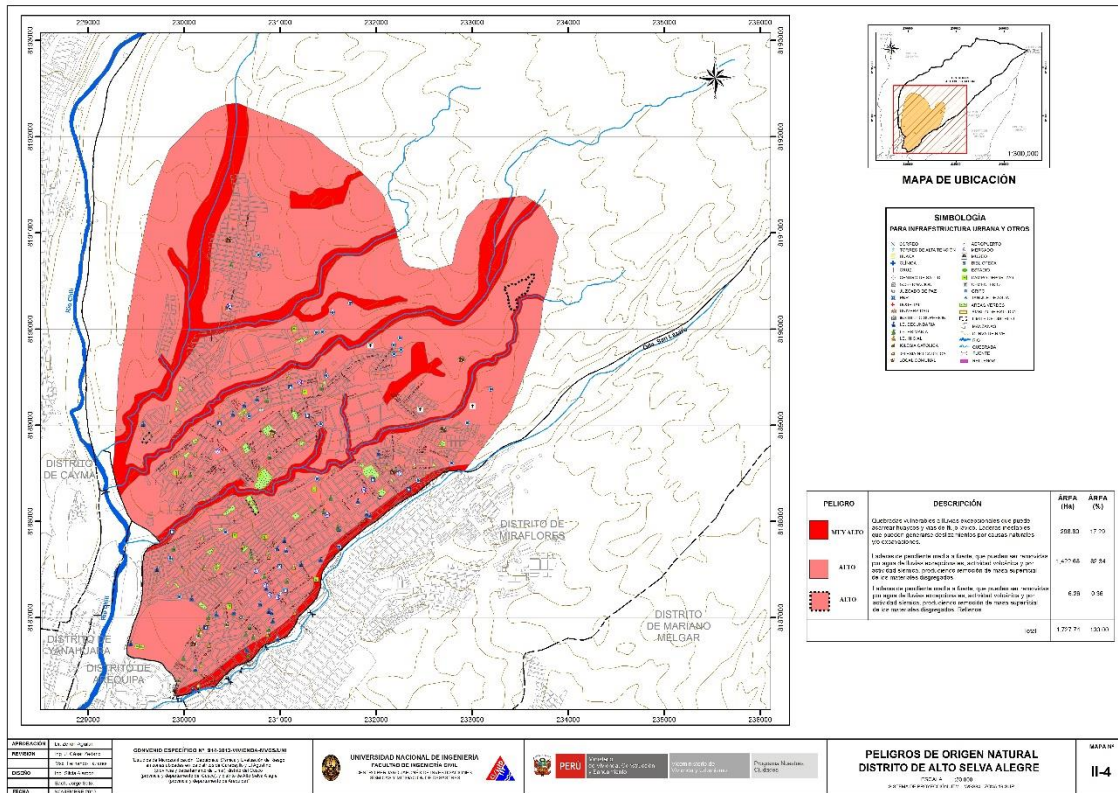


Figura 2. Mapa de Peligros del Distrito de Alto Selva Alegre.

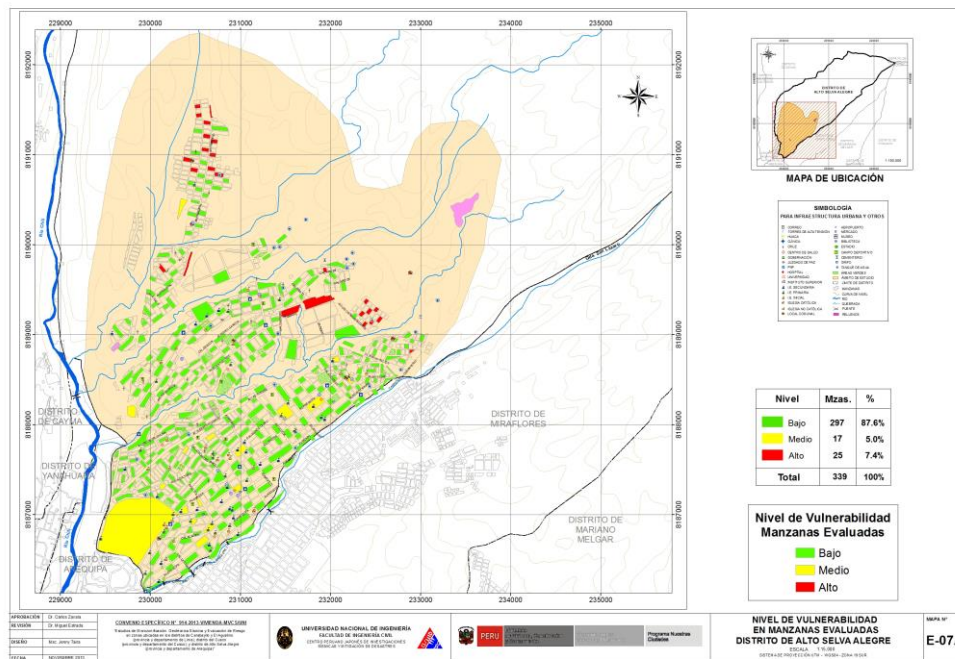
#### 4. DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD

El desarrollo del mapa de vulnerabilidad se basa en el análisis estructural de las edificaciones representativas de cada una de las manzanas evaluadas. El método desarrollado en CISMID es una ampliación de la metodología propuesta por Miranda en el artículo "Approximate Lateral deformation Demands in Multistory Buildings" del Journal of Structural Engineering, ASCE, 1999. El análisis propuesto por CISMID considera la aceleración mínima obtenida en el estudio de microzonificación geotécnica sísmica y aplicada a todas las estructuras en estudio, simulando un solo tipo de suelo para que las condiciones de análisis sean las mismas para todas las edificaciones. Para el análisis se consideran como parámetros base, la demanda sísmica (aceleración de la base) material de edificación, número de pisos, sistema estructural y otros datos obtenidos del levantamiento de campo. Con los parámetros locales de suelo y los datos obtenidos en campo se desarrolla el análisis numérico de la estructura obteniendo las distorsiones de entrepiso por el método de los índices  $\beta_i$ , tal como se explica detalladamente en el Tomo III de este producto.

Posterior al análisis estructural bajo una demanda sísmica igual para todas las edificaciones, se clasifican éstas en tres niveles de vulnerabilidad: Nivel Bajo, edificaciones que resistirán un sismo severo, con daños menores, Nivel Medio, que son edificaciones en las cuales



pueden producirse daños importantes, pero sin llegar al colapso, y Nivel Alto, que son edificaciones con una alta probabilidad de falla, con graves daños y un probable colapso. Con respecto a los resultados del estudio en el distrito de Alto Selva Alegre, se tienen edificaciones con vulnerabilidades relativamente bajas que representan el 50% de la muestra concentradas en la zona sur del distrito y en las partes bajas, así como vulnerabilidades medias, que representan el 7% de la muestra, que se concentran en la zona sur oeste del distrito en color amarillo; mientras que las edificaciones con vulnerabilidades altas representan el 43% de la muestra, que se concentran en la zona norte (parte alta) del distrito como se muestra en la Figura 33.



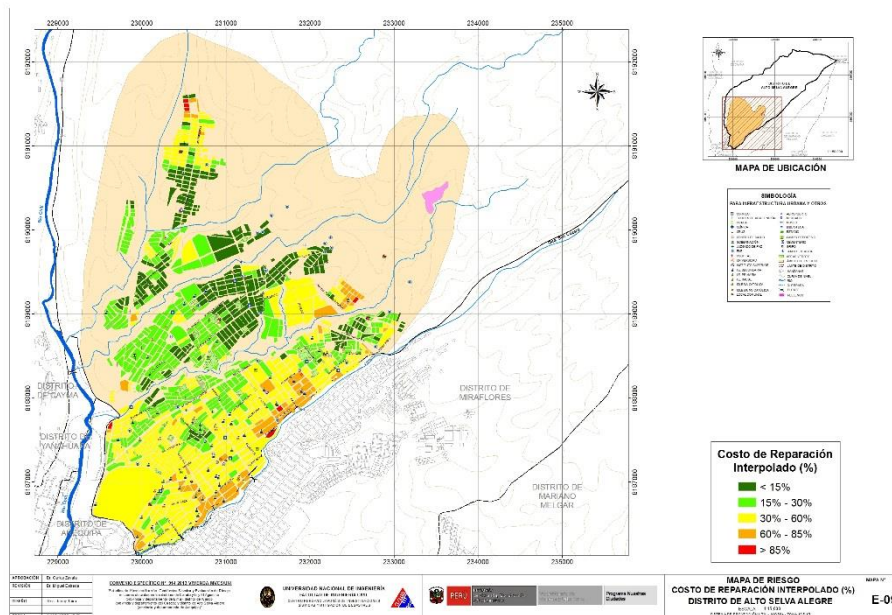
**Figura 3.** Mapa de vulnerabilidad del Distrito de Alto Selva Alegre - Arequipa.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE RIESGO

Se define el Riesgo como la pérdida material o humana, debido a la acción de evento sísmico severo tomando en cuenta la magnitud de éste y la vulnerabilidad de la edificación. Como se puede apreciar en la Figura 4, la zona con un mayor grado de riesgo es la parte sur del distrito (zona de color rojo). El cálculo de estos niveles de riesgo se basa en el cálculo de la vulnerabilidad de la edificación, al cual se le añade la información de las condiciones locales de suelo. Como se sabe los suelos con características de suelos blandos amplifican las ondas sísmicas produciendo demanda sísmicas mayores a las edificaciones construidas sobre éstos. Para la determinación del riesgo sísmico del distrito



de Alto Selva Alegre, se ha utilizado el método de aproximación al valor de reparación de una edificación, expresado como porcentaje del costo de la edificación. Conocida la respuesta sísmica de las edificaciones y utilizando las metodologías presentadas en el Tomo III se estima el nivel de distorsión máxima, considerando el escenario sísmico propuesto en el estudio de peligro. Conocido el nivel de distorsión es posible estimar el nivel de daño por tipo de sistema estructural, para el lote representativo de la manzana estudiada, dando como resultado de riesgo el costo de reposición de la edificación, es decir el costo que demande restaurar a la edificación a su estado antes del sismo. Calculado el riesgo en una manzana se procede a la interpolación del valor del riesgo, considerando que las edificaciones aledañas son similares en cierta medida.



**Figura 4.** Mapa de Riesgo Interpolado del Distrito de Alto Selva Alegre - Arequipa

El 69% de las viviendas tienen un riesgo bajo y se localizan en los sectores intermedios del distrito. En las zonas bajas ubicadas al sur, se ubican sectores con riesgo medio, teniéndose algunos sectores con riesgo alto en la zona sur oeste del distrito.

## 6. DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE SECTORES CRÍTICOS

Para el desarrollo del mapa de sectores críticos se han seleccionado las zonas evaluadas con un mayor nivel de riesgo. Se han agrupado a las edificaciones con niveles de riesgo IV y V, es decir se presenta en el mapa las edificaciones con porcentajes de costo de reparación entre 60 y 85% y mayores a 85%. Los niveles tres y cuatro con alto costo de reparación son presentados en color naranja y rojo respectivamente. Finalmente, en el Tomo III del

presente producto se presentan recomendaciones para la mejora estructural proponiendo sistemas de reforzamiento para diferentes tipologías constructivas.

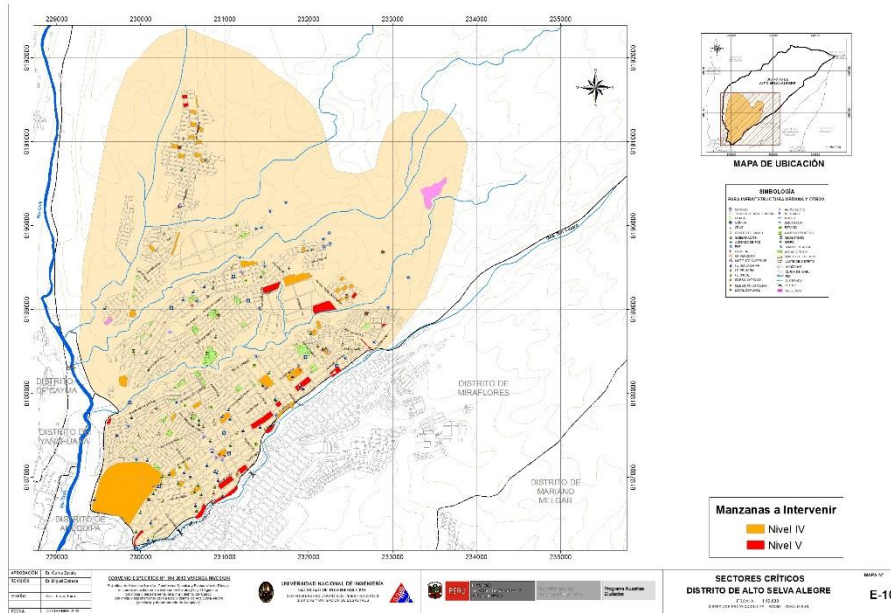


Figura 5. Mapa de Sectores Críticos del Distrito de Alto Selva Alegre - Arequipa.