Recurso de reposición y en subsidio de apelación proceso Rad. 76147-33-33-003-2022-00011-00 contra el auto interlocutorio del dos de marzo de dos mil veintidós

Personería Municipal de San José del Palmar, Chocó <personeria@sanjosedelpalmar-choco.gov.co>

Lun 07/03/2022 16:57

Para: Juzgado 03 Administrativo - Valle Del Cauca - Cartago <j03admcartago@cendoj.ramajudicial.gov.co>

Cordial saludo:

Mediante el presente correo, en archivo adjunto, me permito remitir recurso de reposición y en subsidio apelación. Para su conocimiento y fines pertinentes.

Gracias por su atención. Favor de acusar recibo.

Atentamente,

Personería Municipal
San José del Palmar Chocó
NIT. 900948464-8

Jorge Enrique Perea Cossío
Personero Municipal

Daniela Arias Velásquez
Secretaria

3126901614
personeria@sanjosedelpalmar-choco.gov.co
http://www.personeriasanjosedelpalmar.gov.co/
Calle 9 No. 3-44 piso 1 - Plaza Principal

facebook

San José del Palmar, Chocó 07 de marzo de 2022
Oficio N° 042

Doctor
Juan Fernando Arango Betancur
Juez
Juzgado Tercero Administrativo de Cartago, Valle del Cauca
E.S.D.

Radicado: 76147-33-33-003-2022-00011-00

Medio de Control: Protección de los derechos e intereses colectivos - Acción Popular

Demandante: Jorge Enrique Perea Cossio – Personero Municipal de San José del Palmar

Demandados: Departamento del Valle del Cauca y Departamento del Chocó

Asunto: Recurso de reposición y en subsidio de apelación contra el auto interlocutorio del dos de marzo de dos mil veintidós

Jorge Enrique Perea Cossio, identificado con la cedula de ciudadanía No. 1.088.342.736 de Pereira, en mi calidad de personero municipal de San José del Palmar - Chocó, la cual se encuentra debidamente acreditada conforme lo establecido en el acta de posesión del 8 de enero de 2020 -que fuere allegada junto con el escrito de demanda-, expedida por el H. Concejo Municipal de San José del Palmar - Chocó, actuando como accionante en el proceso de la referencia, conforme los términos establecidos en los arts. 242, 243 y 244 de la Ley 1437 de 2011; asimismo, en razón de que según lo previsto por parte del Consejo de Estado y la Corte Constitucional, es procedente presentar ambos recursos en el trámite de la acción popular en mención, contra el auto que resuelve solicitud de medidas cautelares; por lo que me permito presentar de manera respetuosa, recurso de reposición y en subsidio de apelación[1], en contra del auto interlocutorio del dos de marzo de dos mil veintidós, proferido en el marco del presente proceso, teniendo en cuenta el siguiente sustento:

Su despacho manifiesta en la providencia objeto del presente recurso lo subsecuente:

> Considera el Juzgado que en este momento procesal **no se advierte una amenaza o riesgo de daño con la connotación de inminente**, que amerite la intervención del juez constitucional a través de una medida cautelar, y para determinarlo se requiere agotar un debate probatorio que no se ha surtido, del que se establezcan además las obligaciones y responsabilidades de las entidades demandadas, en relación con el mantenimiento de la vía que del municipio de El Cairo, Valle del Cauca, conduce a los municipios de San José del Palmar y Nóvita, Chocó, por lo que

[1] La Sala Plena de lo Contencioso Administrativo del Consejo de Estado, mediante sentencia del 26 de junio de del dos mil diecinueve (2019), Radicación 25000-23-27-000-2010-02540-01(AP)B, haciendo alusión previamente a la sentencia C-377 de 2002 proferida por la Corte Constitucional indicó lo subsecuente: "Conforme con lo expuesto, en atención a la celeridad que debe caracterizar las acciones populares es claro que el recurso procedente contra las decisiones dictadas en el curso de este tipo de acciones es únicamente el de reposición, salvo lo dispuesto expresamente en los artículos 26 y 37 de la Ley 472 de 1998 respecto de las providencias a través de las cuales se dicta una medida cautelar y se profiere sentencia de primera instancia, decisiones estas que son apelables; sin que con dicha limitación se afecte en manera alguna el debido proceso o el derecho a la doble instancia conforme el análisis efectuado frente al punto por la Corte Constitucional".

no resulta procedente decretar la medida solicitada frente a los Departamentos del Valle del Cauca y del Chocó.

(…)

El Despacho exhorta a las entidades demandadas, que el mantenimiento vial es una obligación de orden legal, por lo tanto, no se puede judicializar la función administrativa y el cumplimiento de los fines del Estado, por lo tanto, y sin la necesidad de una orden judicial, las entidades encargadas del mantenimiento vial, **están en la obligación legal de velar por el adecuado estado de la vía**, **omisión que de continuar** puede generar responsabilidad administrativas y personales para los funcionarios que en sus competencias, deben vigilar y realizar las labores de mantenimiento vial.[2] (negrillas)

Al respecto, es importante resaltar que el concepto de riesgo, amenaza y de daño con carácter o con criterios de inminencia, debe ser analizado en relación con los derechos e intereses colectivos invocados en la demanda obedecen -y demás que considerare vulnerados o amenazados- al (i) goce del espacio público y la utilización y defensa de los bienes de uso público, (ii) **el derecho a la seguridad y prevención de desastres previsibles técnicamente**, (iii) la realización de las construcciones, edificaciones y desarrollos urbanos respetando las disposiciones jurídicas, de manera ordenada, y dando prevalencia al beneficio de la calidad de vida de los habitantes, (iv) defensa del patrimonio público y (v) a la infraestructura pública vial o de transporte terrestre en condiciones de seguridad. También, se destaca que en el marco de la presente casuística constitucional, además de los videos y fotografías aportados, el día 24 de enero de 2022, mediante el Oficio No. 006, también se allegó un estudio de doscientas treinta (230) páginas, emitido con el apoyo del Municipio de San José del Palmar, Chocó, denominado "Zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa para el municipio de San José del Palmar Chocó". Año de publicación y socialización 2022, en el marco del mentado estudio se indicó lo subsecuente:

"**Aproximadamente 33 km de la red vial cartografiada en el municipio se encuentran en zona de amenaza alta por movimientos en masa. En la vía San José del Palmar-Cartago el 90% de la extensión dentro del municipio presenta este nivel de amenaza, que sumado a la intervención antrópica y al análisis de los buzamientos en estratos sedimentarios realizados en el numeral 2, convierte a esta vía en una zona de alto potencial de ocurrencia de movimientos en masa y de interés para estudios posteriores**. **En la vía Palmar – La Italia esta amenaza se extiende desde la cabecera municipal hasta el límite de las veredas la Badea y La Libertad; y en la vía a la vereda La Selva la amenaza alta se presenta entre el casco urbano y el paraje de Casa Azul de la vereda Corcovado y en los 4 km finales de esta. Otros segmentos importantes que presentan este grado de amenaza están en las vías a Corcovado, a La Albania y en la vía ubicada al occidente de Curundó."**[3] (Subraya y negrilla fuera de texto).

Teniendo en cuenta lo planteado en el citado estudio, *contrario sensu* a lo dispuesto en la providencia objeto del presente recurso, **si se advierten amenazas o riesgos de connotación inminente**, principalmente respecto del derecho o interés colectivo a la seguridad y prevención de desastres previsibles técnicamente, -prioritariamente de las personas que se transportan o transitan por las vías objeto de la presente casuística

[2] Juzgado Tercero Administrativo del Circuito de Cartago, auto interlocutorio del dos de marzo de dos mil veintidós, Rad. 76147-33-33-003-2022-00011-00.

[3] Andrés Marín Flórez, Est. de Ingeniería Geológica, tutor, Ingeniero Jhon Stevens Bejarano Copete, Secretario de Planeación y Obras Públicas del Municipio de San José del Palmar, Alcaldía de San José del Palmar: Zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa para el municipio de San José del Palmar Chocó. Año 2022 Pág. 225 Mapa 67 Amenaza total por movimientos en masa.

constitucional-, como componente del derecho a la infraestructura pública vial o de transporte terrestre en condiciones de seguridad; habida consideración que en términos del Consejo de Estado, el mentado derecho se concibe de la siguiente forma:

> El derecho colectivo a la seguridad y **prevención de desastres previsibles técnicamente pretende garantizar que la sociedad no este expuesta a padecer posibles o inminentes alteraciones de las condiciones normales de vida** o **daños graves causados "por fenómenos naturales y efectos catastróficos de la acción accidental del hombre, que demanden acciones preventivas, restablecedoras, de carácter humanitario o social, constituyéndose en un derecho de naturaleza eminentemente preventiva**"[4] (subraya fuera de texto).

En ese sentido y en razón a que su mismo despacho estableció y/o determino en la providencia objeto de recurso, que respecto de la obligación legal de mantenimiento de vías por parte de las accionadas existe una omisión "que de continuar puede generar responsabilidad administrativas y personales para los funcionarios que en sus competencias"[5]; sin embargo, dicha responsabilidad no culminaría allí, dada la inminencia que existe respecto de la vulneración del derecho colectivo previamente mencionado, pues a raíz de las conclusiones del estudio previamente aportado como prueba de la demanda y los demás documentos probatorios, aunado a que teniendo en cuenta la naturaleza eminentemente preventiva del derecho colectivo o interés colectivo a la seguridad y prevención de desastres previsibles técnicamente y la obligación de cumplir con el principio de seguridad como fundamental en el sector transporte[6], la intervención del juez popular en el presente asunto, decretando las medidas provisionales solicitadas se torna necesaria y ponderada; pues, con la decisión de ordenar que, mientras se surte el proceso en mención, los departamentos del Chocó y del Valle del Cauca, realicen labores de mantenimiento vial que tengan como eje rector la seguridad de las personas que transitan por las mentadas vías especialmente por las condiciones de alta pluviosidad y/o precipitaciones que se presentan en los tramos de las vías que conectan al municipio de San José del Palmar con el departamento del Valle del Cauca -límites con el Cairo, Valle del Cauca- y al municipio de San José del Palmar con Novita - Chocó[7], presentando herramientas de planeación pertinentes con incidencia en la citada vía -como planes de contingencia o preventivos en el marco de las labores de mantenimiento de la red vial secundaria a cargo de cada uno de los entes territoriales afectados - e informes periódicos a su despacho y al suscrito accionante el cumplimiento del citado plan de cara a evitar afectaciones en la integridad física de las personas o afectaciones también en el derecho e interés colectivo a la prestación del servicio público de transporte automotor terrestre de carga y pasajeros[8] , no se estaría judicializando a la administración; sino que por el contrario, dicha intervención se enfoca en la preservación de los derechos e intereses colectivos en amenaza o riesgo inminente.

---

[4] Sección Tercera, Sala de lo Contencioso Administrativo del Consejo de Estado, Sentencia del (8) junio de 2011, Radicado 25000-23-26-000-2005-01330-01.

[5] Juzgado Tercero Administrativo del Circuito de Cartago, auto interlocutorio del dos de marzo de dos mil veintidós, Rad. 76147-33-33-003-2022-00011-00.

[6] La Ley 105 de 1993, determina obligaciones de los departamentos y en lo que respecta a su infraestructura de transporte, predica en el art. 2 e) consagrando a la seguridad como un principio fundamental, estableciendo lo subsecuente: La seguridad de las personas constituye una prioridad del Sistema y del Sector Transporte.

[7] Andrés Marín Flórez, Est. de Ingeniería Geológica, tutor, Ingeniero Jhon Stevens Bejarano Copete, Secretario de Planeación y Obras Públicas del Municipio de San José del Palmar, Alcaldía de San José del Palmar: Zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa para el municipio de San José del Palmar Chocó. ver pág. 16, mapa 3 Precipitación media anual en San José de Palmar. Aunado a ello, es de anotar que para los próximos meses se acercan condiciones de precipitación relativamente altas para la región pacifica, según informe del IDEAM del año 2022.

[8] También puede ser analizada la vulneración del citado derecho en razón a sus facultades oficiosas y extra y ultra petita.

Por lo anteriormente narrado, se depreca de modo respetuoso que se modifique la decisión proferida y en efecto acceda a las medidas cautelares solicitadas en la demanda con la precisión de que se deberán construir herramientas de planeación pertinentes con incidencia en la citada vía -como planes de contingencia o preventivos en el marco de las labores de mantenimiento de la red vial secundaria a cargo de cada uno de los entes territoriales afectados - e informes periódicos a su despacho y al suscrito accionante el cumplimiento del citado plan de cara a evitar afectaciones en el derecho a la seguridad y prevención de desastres previsibles técnicamente o afectaciones también en el derecho e interés colectivo a la prestación del servicio público de transporte automotor terrestre de carga y pasajeros.

En caso de no acceder a lo deprecado bríndese el trámite correspondiente en los términos del art. 244 de la Ley 1437 de 2011.

En constancia firma,

Jorge Enrique Perea Cossio
Firmado digitalmente por Jorge Enrique Perea Cossio
Fecha: 2022.03.07 16:54:13 -05'00'

Jorge Enrique Perea Cossio
Personero Municipal
Municipio de San José del Palmar

Aprobado por: Jorge Enrique Perea Cossio.

INFORME DE PREDICCIÓN CLIMÁTICA A CORTO, MEDIANO Y LARGO

CORTO PLAZO (marzo/22)

MEDIANO PLAZO (abril y mayo/22)

LARGO PLAZO (junio, julio y agosto/22)

Fecha de publicación:
18 de febrero de 2022

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

Elaboró:
JOSÉ FRANKLYN RUIZ MURCIA
JEIMMY YANELY MELO FRANCO
Grupo Modelamiento Numérico de Tiempo y Clima
Subdirección de Meteorología

IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

INFORME DE PREDICCIÓN CLIMÁTICA A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO EN COLOMBIA

Para referenciar, cítese como: Ruiz, J.F. & Melo, J.Y., febrero, 2022: Informe de Predicción Climática a corto, mediano y largo plazo en Colombia. Grupo de Modelamiento de Tiempo y Clima, Subdirección de Meteorología - IDEAM

RESUMEN

De acuerdo con el Instituto Internacional de Investigación para Clima y Sociedad (IRI por sus siglas en inglés) en su informe del 18 de febrero de 2022 explicó que, a mediados de febrero, las temperaturas de la superficie del mar (TSM) se mantienen por debajo del promedio en el Pacífico ecuatorial centro-oriental. La evolución de las variables oceánicas y atmosféricas clave es consistente con condiciones débiles de La Niña y, por lo tanto, se mantiene un aviso de La Niña para febrero de 2022. Una gran mayoría de los modelos predicen que las TSM se mantendrán por debajo de lo normal en el nivel de La Niña débil hasta marzo-mayo, y luego regresar a niveles neutrales de ENOS en abril-junio de 2022. La perspectiva más reciente de CPC/IRI, emitida el 10 de febrero de 2022, basada en un modelo objetivo también predice una continuación del evento La Niña débil con alta probabilidad durante marzo-mayo. Sin embargo, existe un ligero desacuerdo entre los dos métodos de pronóstico sobre la disipación del evento actual.

Por lo anterior, el comportamiento esperado de las variables meteorológicas para los próximos seis meses en Colombia no solo estará influenciado por el ciclo estacional propio de la época del año y de oscilaciones de distinta frecuencia como las ondas intraestacionales y ecuatoriales; sino también dependerá de la evolución de La Niña, su debilitamiento, y el retorno a la normalidad del ENOS.

En respuesta a ello, el modelo de predicción climática del Ideam para la precipitación estima, durante el trimestre consolidado **marzo-abril-mayo**, registros de lluvias muy cercanas a la climatología de referencia 1991-2020 excepto en La Guajira y centro del litoral caribe donde se estiman reducciones entre 20% y 30% en los volúmenes de lluvia. Por su parte, aumentos superiores al 20% se estiman en Córdoba.

Para el trimestre consolidado **junio-julio-agosto** se prevén valores de precipitación cercanos a la climatología de referencia 1991-2020 en gran parte del territorio nacional; excepto en Tolima, oriente de Cauca y Nariño, donde, por ahora se estiman incrementos de las lluvias entre un 20% y 40%.

Sin embargo, la predicción para este semestre presenta fuerte incertidumbre ya que depende de la velocidad con que se presente el cambio entre las fases La Niña y Neutral del ciclo ENOS, como de la velocidad de transición entre la primera temporada de lluvias y la segunda temporada de menos lluvias de mitad de año en el centro del país, la cual es modulada por el ciclo estacional, y por las fluctuaciones que se presenten dadas por la variabilidad intraestacional. De la misma forma esta predicción se emite en la barrera de predictibilidad de la primavera del hemisferio norte; época en la cual los modelos bajan su rendimiento para realizar predicciones climáticas.

El comportamiento promedio mensual de las temperaturas (mínima, media y máxima) se prevén entre cercanas a los promedios históricos y medio grado por encima en gran parte del país para el trimestre marzo-abril-mayo.

IDEAM

1. CONDICIONES ESPERADAS EN EL OCÉANO

El Índice Oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en inglés) del trimestre pasado (noviembre-diciembre-enero) fue de -1.0°C, manifestando así una condición fría dentro de valores correspondientes a un evento La Niña. El promedio de los modelos dinámicos y estadísticos prevén para los trimestres comprendidos entre marzo-mayo, abril-junio y mayo-julio valores del ONI de: -0.604°C, -0.438°C y -0.249°C respectivamente; pronosticando así, condiciones frías del océano entre marzo y julio de 2022. Consistente con lo anterior, en la Fig. 1 se aprecia como el Ensamble Norteamericano NMME de la NOAA continúa considerando un enfriamiento en el centro de la cuenca del océano Pacifico tropical especialmente para dichos meses de 2022.

Así mismo, la pluma de modelos prevé que la condición La Niña tendrá una probabilidad de ocurrencia del 62%, la Neutral del 38% y El Niño del 0% para el trimestre comprendido entre marzo y mayo de 2022; mientras que, los valores que emite el consenso oficial de IRI son del 77%, 23% y 0% respectivamente.

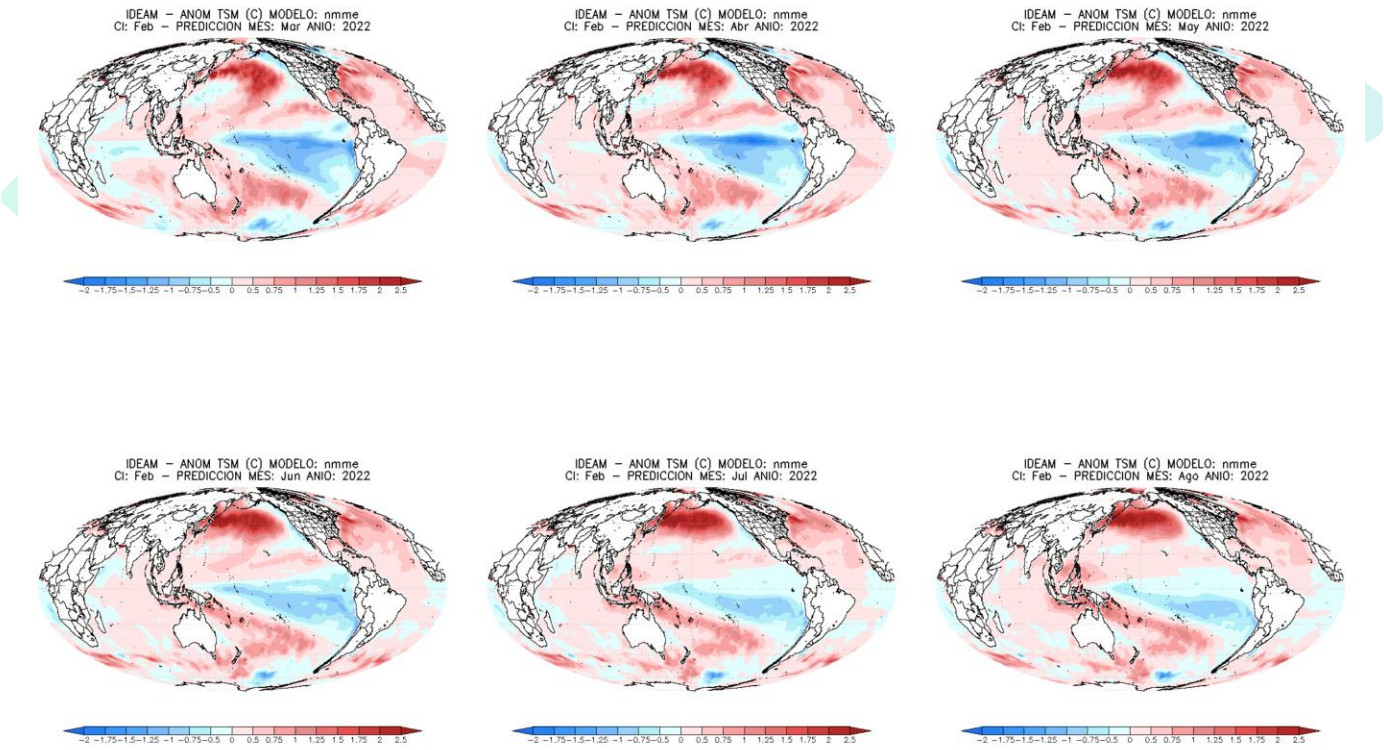


Figura 1. Anomalía de la temperatura superficial del mar pronosticada con NMME pare el período comprendido entre marzo y agosto de 2022.

2. PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA

Con base en la reducción de escala dinámico-estadística que realiza el Ideam tomando como variable explicativa (o potenciales predictores) datos de lluvia y temperatura superficial del mar del conjunto de modelos globales que hacen parte del ensamble norteamericano denominado NMME (de la NOAA) junto con la temperatura superficial del mar observada del ERSSTv5 y, como variable a explicar (o predictando) datos de precipitación de la fuente CHIRPS en alta resolución (aproximadamente de 5kmX5km); la siguiente es la predicción climática mensual para el periodo comprendido entre marzo y mayo de 2022, presentadas en las figuras 2 y 3.

Marzo de 2022

San Andrés y Providencia: Se estiman registros de lluvias cercanos a los promedios históricos.
Región Caribe: Se prevén descensos de precipitaciones superiores al 20% en el norte de Cesar, Magdalena y Bolívar. Incrementos superiores al 20% en Córdoba.
Región Andina: Se predicen incrementos superiores al 20% en el sur de Cundinamarca, Tolima, Huila y Nariño.
Región Pacífica: En general, se estiman precipitaciones cercanas a los valores históricos.
Orinoquía: Se predicen valores de lluvias cercanos a la climatología de referencia 1991-2020, excepto entre límites de Casanare y Vichada donde se estiman incrementos superiores al 20%.
Amazonía: Se prevén precipitaciones cercanas a los promedios históricos.

Abril de 2022

San Andrés y Providencia: Se estiman precipitaciones propias de la temporada seca.
Región Caribe: Se predicen descensos de lluvias del orden del 20% en La Guajira y Magdalena e incrementos del 20% en el centro del Córdoba.
Región Andina: Se prevén lluvias cercanas a sus valores históricos excepto en el sur de Norte de Santander y amplios sectores de Boyacá y Cundinamarca donde se estiman incrementos del 20%.
Región Pacífica: Precipitaciones cercanas a sus promedios históricos, excepto hacia el litoral de Cauca donde se estiman reducciones del 20%.
Orinoquía: Se esperan lluvias cercanas a la climatología de referencia 1991-2020.
Amazonía: Se prevén reducciones del 20% en Caquetá, Vaupés y Guainía.

Mayo de 2022

San Andrés y Providencia: Se estiman reducciones superiores al 20% con respecto a la climatología de referencia 1991-2020.
Región Caribe: En general se prevén reducciones de lluvias ente 20% y superiores al 40% en gran parte de la región.
Región Andina: Se espera disminución de las lluvias cercanos al 20% en Norte de Santander, Boyacá, oriente de Cundinamarca y centro del Tolima. Pare el resto de la región, se estiman lluvias cercanas a los promedio históricos.
Región Pacífica: Se estiman volúmenes de precipitación muy cercanos a los promedios históricos excepto en el oeste de Cauca sonde se prevén reducciones del 20%.
Orinoquía: Se predicen disminuciones en las cantidades de lluvias cercanos al 20% en el piedemonte y norte de Vichada.
Amazonía: Se estima que las precipitaciones cercanas a los promedios históricos excepto en el sur de Amazonía donde se estiman incrementos superiores al 20%.

A más largo plazo; es decir, para el período consolidado entre junio y agosto de 2022 se estiman valores de precipitación cercanos a la climatología de referencia 1991-2020 en gran parte del territorio nacional; excepto en Tolima, oriente de Cauca y Nariño, donde, por ahora se estiman incrementos de las lluvias entre un 20% y 40%.

Sin embargo, la predicción para este trimestre presenta fuerte incertidumbre ya se emite en la época de la barrera de la primavera, momento en el cual los modelos baja su rendimiento para realizar la predicción climática.

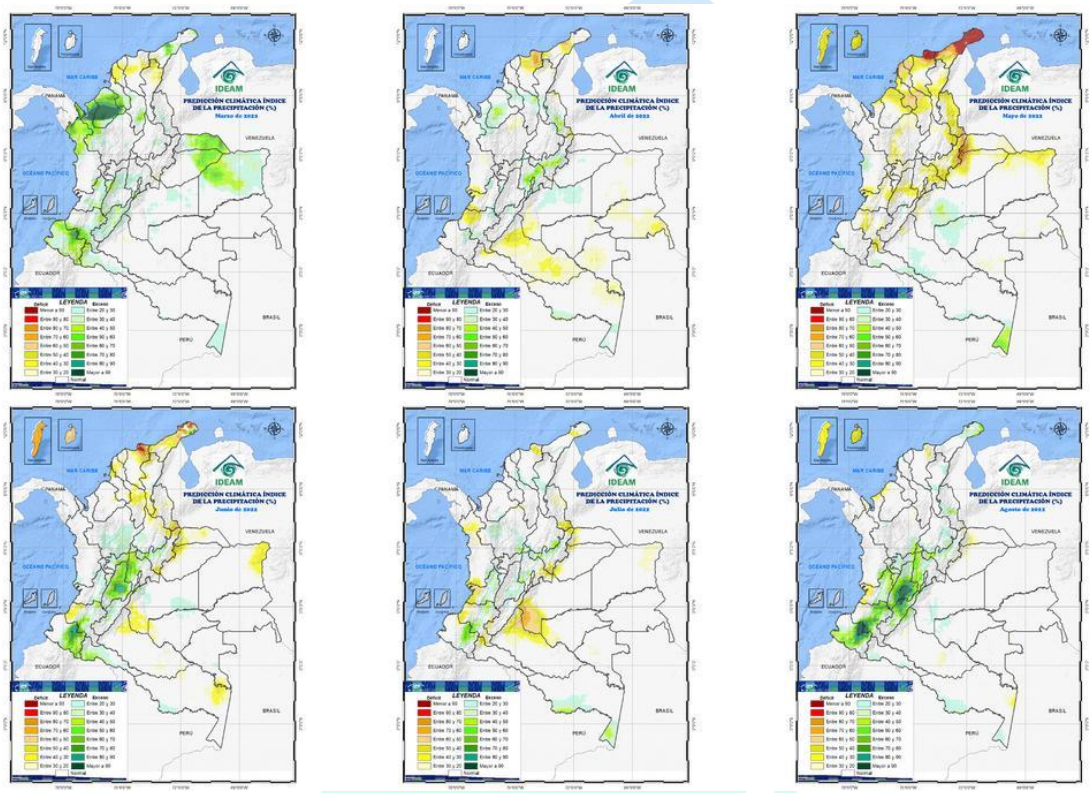


Figura 2. Pronóstico del índice de precipitación para el período comprendido entre marzo y agosto de 2022.

IDEAM

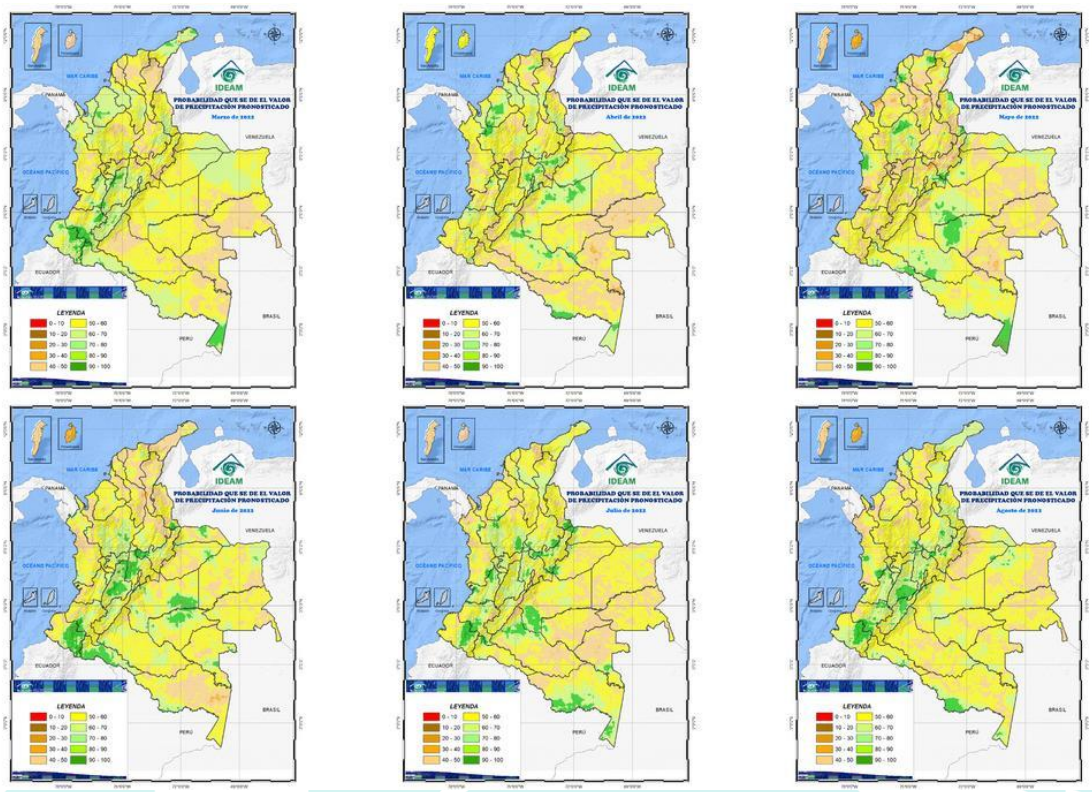


Figura 3. Probabilidad de que ocurra el pronóstico del índice de precipitación para el período comprendido entre marzo y agosto de 2022.

3. TEMPERATURA DEL AIRE EN COLOMBIA

Con base en la reducción de escala estadística que realiza el Ideam tomando datos de temperatura superficial del mar observada procedente del ERSSTv5 y datos de estaciones meteorológicas de Ideam; la siguiente es la predicción climática de la temperatura del aire para el periodo comprendido entre marzo y mayo de 2022, presentadas en las figuras 4, 5 y 6.

Temperatura mínima: se estiman anomalías cercanas al medio grado por encima de los promedios de la climatología de referencia en la región Caribe y sitios puntuales del centro y oriente del país.

Temperatura media: entre marzo y mayo de 2022 se estiman anomalías cercanas al medio grado por encima de los promedios de la climatología de referencia especialmente en la región Caribe. Para abril, los modelos estiman que esta situación se puede presentar también en el sur de la Orinoquía y gran parte de la Amazonía.

Temperatura máxima: Se prevé en general aumentos entre medio y un grado en gran parte del oeste de la región Caribe y centro-norte de Antioquia. Para abril, esta situación se puede extender sobre el piedemonte llanero y sur de las regiones Pacífica, Andina y Amazonía.

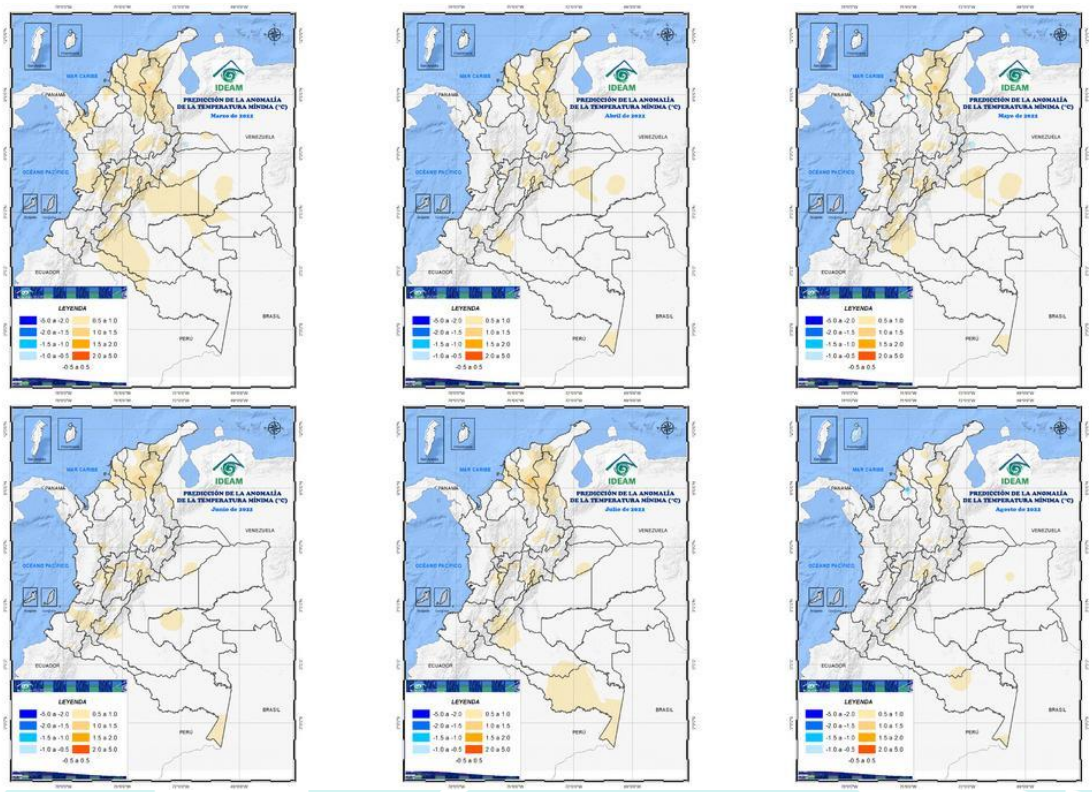


Figura 4. Pronóstico de la anomalía de la temperatura mínima media para el período comprendido entre marzo y agosto de 2022.

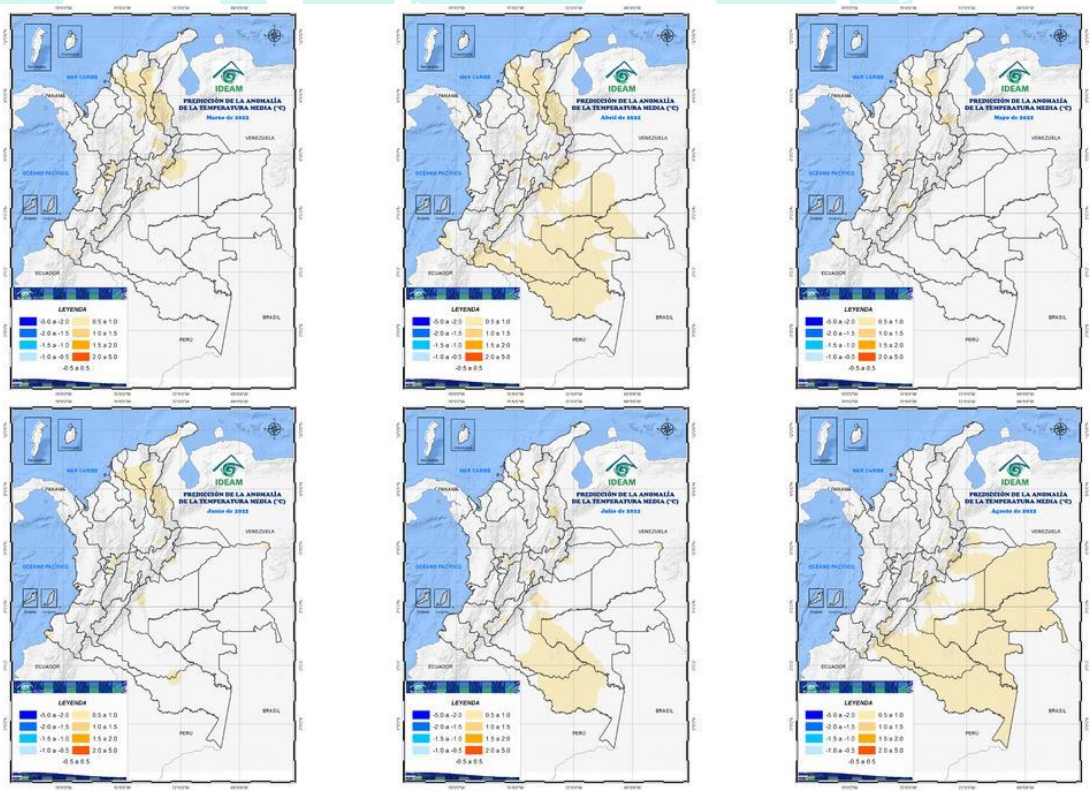


Figura 5. Pronóstico de la anomalía de la temperatura media para el período comprendido entre marzo y agosto de 2022.

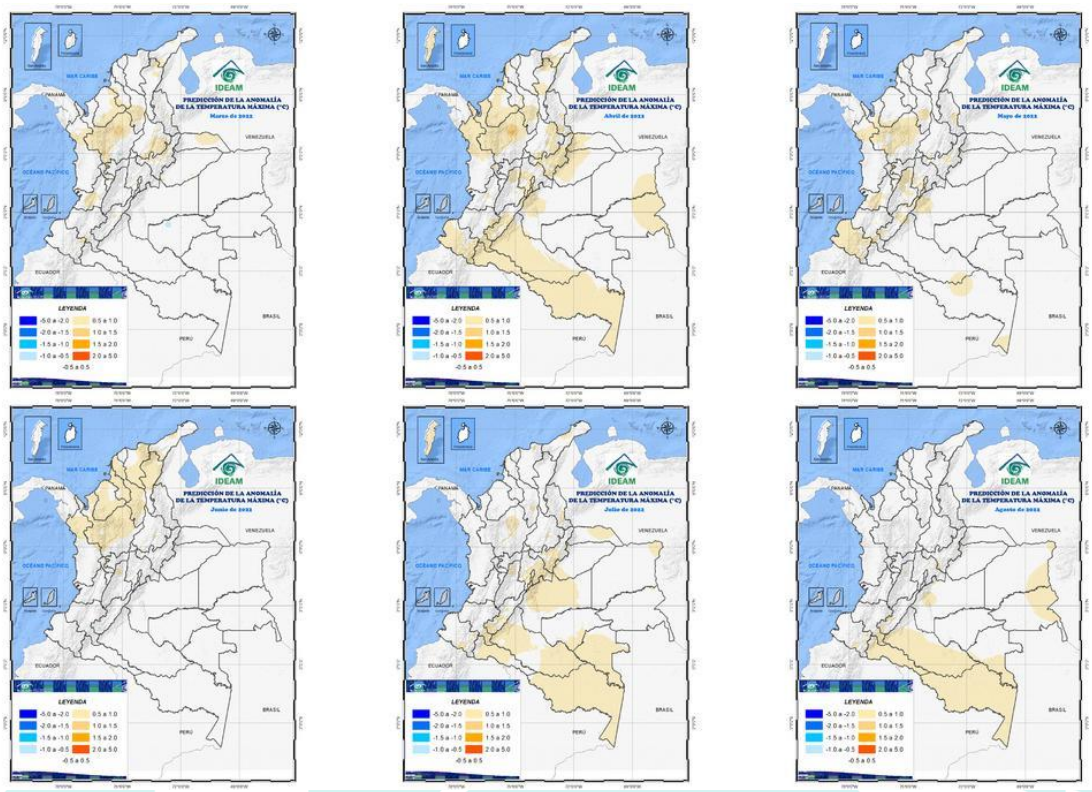


Figura 6. Pronóstico de la anomalía de la temperatura máxima media para el período comprendido entre marzo y agosto de 2022.

IDEAM

BIBLIOGRAFÍA

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF, 2020: Integrated Forecasting System (IFS) Long range – SEAS5. UK. Recuperado de: https://apps.ecmwf.int/webapps/opencharts/?facets=%7B%22Product%20type%22%3A%5B%5D%2C%22Parameters%22%3A%5B%5D%2C%22Range%22%3A%5B%22Long%20%28Months%29%22%5D%2C%22Type%22%3A%5B%5D%7D

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. Sci Data 2, 150066 (2015). Recuperado de: https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66.

International Research Institute for Climate and Society – IRI, 2020. Seasonal Climate Forecast. New York, EU. Recuperado de: http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/seasonal-climate-forecasts/

Martínez Pedraza, Alexander & Serna Cuenca, Julieta, 2018. Propuesta de umbrales de normalidad basada en las funciones de distribución de las series de datos y análisis de eventos de extremos para las variables meteorológicas: precipitación, número de días con lluvia y la temperatura mínima, media y máxima. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Subdirección de Meteorología. NOTA TÉCNICA DEL IDEAM. IDEAM–METEO/002-2018. Bogotá – Colombia. Recuperado de: http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/new_modelo/DOCUMENTOS/2018/NT_IDEAM-001-2018.pdf

National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA, 2020: NMME Monthly Forecasts For International Regions. Maryland, EU. Recuperado de: https://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/International/nmme/

National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA, 2020: National Weather Service – Climate Prediction Center. Cold & Warm Episodes by Season, Warm and cold periods based on a threshold of +/- 0.5oC for the Oceanic Niño Index (ONI). EU. Recuperado de: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Ruiz Murcia, Franklyn & Melo Franco, Jeimmy, 2020: Aspectos Metodológicos de la Predicción Climática Mensual de la Precipitación en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Subdirección de Meteorología. NOTA TÉCNICA DEL IDEAM. IDEAM–METEO/001-2020. Bogotá – Colombia. Recuperado de: http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/new_modelo/DOCUMENTOS/2020/NT_001_2020.pdf

IDEAM

Directivos:
YOLANDA GONZÁLEZ HERNÁNDEZ,
Directora General
HUGO ARMANDO SAAVEDRA UMBA,
Subdirector de Meteorología

Autores:
JOSÉ FRANKLYN RUIZ MURCIA
JEIMMY YANELY MELO FRANCO
Grupo Modelamiento Numérico de Tiempo y Clima
Subdirección de Meteorología

Edición y Diagramación:
Jeimmy Melo
Grupo Modelamiento Numérico de Tiempo y Clima

http://www.ideam.gov.co
Calle 25 D # 96B - 70, piso 3. Bogotá, D.C.
Teléfono: 3527160 ext. 1411 - 1412.

Síganos en:

Ideam.instituto

@IDEAMColombia

institutoIDEAM

REPUBLICA DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DEL CHOCO
MUNICIPIO DE SAN JOSÉ DEL PALMAR
Secretaria de planeación y obras públicas

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL MUNICIPIO DE SAN JOSÉ DEL PALMAR CHOCÓ

TRABAJANDO UNIDOS POR UN PALMAR MEJOR
CALLE 9Nro 3- 44 e-mail alcaldia@sanjosedelpalmar-choco.gov.co
contactenos@sanjosedelpalmar-choco.gov.co Página www.sanjosedelpalmar-choco.gov.co

Autor

ANDRES MARIN FLÓREZ

Est. Ingeniería Geológica

YINA MARELVY MORENO MOSQUERA

Alcaldesa Municipal

Trabajando Unidos por un Palmar Mejor

2020-2023

Tutor Municipio de San José del Palmar

ING. JHON STEVENS BEJARANO COPETE

Secretario de planeación y obras públicas

Esp. Mecánica de Suelos y Cimentaciones – Universidad EAFIT - Medellín

Esp. Contratación Publica – Universidad de Manizales

Alcaldía de San José del Palmar, Chocó

Secretaria de planeación y obras públicas

2022

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 12
2. INFORMACIÓN GENERAL 13
   2.1. LOCALIZACIÓN 13
   2.2. DIVISIÓN ADMINISTRATIVA 14
   2.3. CLIMA 15
      2.3.1. PRECIPITACIÓN 15
      2.3.2. TEMPERATURA 16
   2.4. RED HÍDRICA 17
3. METODOLOGÍA 19
   3.1. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO 20
   3.2. METODOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS 21
   3.3. ETAPAS O PROCEDIMIENTOS PARA CUMPLIR CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA 22
      3.3.1. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE 23
      3.3.2. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DIGITAL SECUNDARIA 24
      3.3.3. FOTOINTERPRETACIÓN 25
      3.3.4. RECONOCIMIENTO DE CAMPO 27
      3.3.5. CREACIÓN DE INFORMACIÓN DIGITAL 28
4. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A MOVIMIENTOS EN MASA 30
   4.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS 30
      4.1.1. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE FUENTES SECUNDARIAS 30
         4.1.1.1. GEOLOGÍA ESTRATIGRÁFICA 31
         4.1.1.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 38
      4.1.2. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE FUENTE PRIMARIA 40
         4.1.2.1. GEOLOGÍA ESTRATIGRÁFICA 41
         4.1.2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 50
      4.1.3. VALORACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA 53
         4.1.3.1. DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO 54
         4.1.3.2. FÁBRICA Y/O ESTRUCTURA 58

4.1.3.3. RESISTENCIA 63
4.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA 70
4.2.1. UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL 70
4.2.1.1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS 70
4.2.1.2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS 72
4.2.1.3. BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES 78
4.2.1.4. SUPERFICIES DE AGUA (RÍOS) 82
4.2.2. VALORACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURA 84
4.2.2.1. PROFUNDIDAD RADICULAR 86
4.2.2.2. DRENAJE PROFUNDO 92
4.2.2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN 98
4.2.2.4. NÚMERO DE ESTRATOS 105
4.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS 110
4.3.1. UNIDADES DE SUELO 110
4.3.2. VALORACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR SUELOS 113
4.3.2.1. TEXTURA 114
4.3.2.2. TAXONOMÍA 116
4.3.2.3. DRENAJE NATURAL 118
4.3.2.4. PROFUNDIDAD 119
4.3.2.5. TIPO DE ARCILLA 121
4.4. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS 124
4.4.1. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS 124
4.4.1.1. GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL 124
4.4.1.2. GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL 129
4.4.1.3. GEOFORMAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL 131
4.4.2. VALORACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR GEOMORFOLOGÍA 144
4.4.2.1. MORFOMETRÍA 145
4.4.2.2. MORFOGÉNESIS 161
4.4.2.3. MORFODINÁMICA 164
5. RESULTADO DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, COBERTURAS Y SUELOS 193
5.1. SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA 193

5.2. SUSCEPTIBILIDAD POR GEOMORFOLOGÍA 197
5.3. SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURA DE LA TIERRA 200
5.4. SUSCEPTIBILIDAD POR SUELOS 204
6. SUSCEPTIBILIDAD TOTAL POR MOVIMIENTOS EN MASA 206
7. ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS 209
7.1. EVALUACIÓN DE DETONANTES 209
7.1.1. FACTOR CLIMA 209
7.1.1.1. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL 209
7.1.1.2. PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA 211
7.1.2. DETONANTE CLIMA 213
7.1.3. FACTOR SISMO 215
7.1.4. ESCENARIOS DE AMENAZA RELATIVA 216
7.1.4.1. AMENAZA RELATIVA POR CLIMA 217
7.1.4.2. AMENAZA RELATIVA POR SISMOS 219
7.1.4.3. AMENAZA TOTAL 221
8. CONCLUSIONES 227
9. RECOMENDACIONES 229
10. REFERENCIAS 230

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Extremos geográficos del municipio 14
Tabla 2 Veredas de San José del Palmar 15
Tabla 3 Cartografía digital secundaria..... 25
Tabla 4 Calificación propuesta para tipo de fábrica..... 58
Tabla 5 Calificación asignada por tipo de fabrica 58
Tabla 6 Textura/Fabrica de las rocas. 59
Tabla 7 Categorías de resistencia a la compresión simple de las rocas..... 63
Tabla 8 Calificación propuesta para la resistencia litológica..... 64
Tabla 9 Calificación asignada a las unidades litológicas por su resistencia..... 64
Tabla 10 Ponderación en Consociaciones de Coberturas..... 85
Tabla 11 Calificación propuesta para la profundidad radicular. 88
Tabla 12 Calificación asignada a las unidades de cobertura por profundidad radicular 88
Tabla 13 Calificación propuesta para drenaje profundo. 93
Tabla 14 Calificación asignada a las unidades de cobertura por drenaje profundo 94
Tabla 15 Calificación propuesta para la evapotranspiración..... 98
Tabla 16 Coeficientes de cultivos (Kc) adaptados de FAO, por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales y Servicio Hidrológico Nacional de el Salvador. 99
Tabla 17 Asignación de Kc con base en datos adaptados de la FAO 101
Tabla 18 Clasificación del clima ambiental, valores de precipitación y relación de evapotranspiración y precipitación. 102
Tabla 19 Calificación propuesta para el número de estratos. 106
Tabla 20 Calificación asignada a las unidades de cobertura por número de estratos 106
Tabla 21 Distribución de suelos 112
Tabla 22 Calificación propuesta para la textura de suelos 114
Tabla 23 Calificación propuesta para los órdenes de suelos..... 116
Tabla 24 Calificación propuesta para el drenaje natural en suelos..... 118
Tabla 25 Calificación propuesta para la profundidad del suelo..... 120
Tabla 26 Calificación propuesta para el tipo de arcilla en los suelos 122
Tabla 27 Calificación propuesta para la pendiente..... 146
Tabla 28 Calificación propuesta para la rugosidad..... 151
Tabla 29 Calificación propuesta para la acumulación de cuenca 154
Tabla 30 Atributos para la calificación de las Unidades Geomorfológicas..... 162
Tabla 31 Calificación propuesta para el relieve relativo..... 165
Tabla 32 Calificación propuesta para la inclinación de ladera 169
Tabla 33 Fuentes de información de eventos de Movimientos en masa 175
Tabla 34 Clasificación y cuantificación de movimientos en masa en San José del Palmar 175
Tabla 35 Relación de movimientos en masa con ambientes geomorfológicos. .. 180

Tabla 36 Relación de movimientos en masa con grados de pendiente. 184
Tabla 37 Relación de eventos con rangos de precipitación..... 186
Tabla 38 Relación de movimientos en masa con taxonomía de suelos..... 187
Tabla 39 Relación de movimientos en masa con el tipo de cobertura 190
Tabla 40 Relación de cantidad de movimientos en masa por kilómetro cuadrado con el tipo de cobertura..... 191
Tabla 41 Calificación de lluvia máxima diaria según su contribución a los movimientos en masa 211
Tabla 42 Calificación del detonante por factores climáticos a partir de la zonificación climática nacional y de las lluvias máximas diarias, de acuerdo con su contribución a los movimientos en masa. 213
Tabla 43 Calificación del detonante sismo según su contribución a los movimientos en masa. 215

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Orden de los principales causes en San José del Palmar 19
Figura 2 Diagrama de jerarquía para elaboración del mapa de susceptibilidad.... 20
Figura 3 Clasificación del mapa de zonificación de amenaza relativa por movimientos en masa 22
Figura 4 Planchas topográficas utilizadas en escala 1:25:000 24
Figura 5 Planchas topográficas utilizadas en escala 1:100.000 24
Figura 6 Calificación de atributos de geología en análisis de susceptibilidad 54
Figura 7 Distribución de susceptibilidad por fracturamiento 55
Figura 8 Distribución de susceptibilidad por fábrica 60
Figura 9 Distribución de susceptibilidad por resistencia litológica 65
Figura 10 Calificación de atributos de cobertura en análisis de susceptibilidad.... 85
Figura 11 Distribución de susceptibilidad por profundidad radicular 89
Figura 12 Distribución de susceptibilidad por drenaje profundo 94
Figura 13 Distribución de susceptibilidad por evapotranspiración 103
Figura 14 Distribución de susceptibilidad por número de estratos..... 107
Figura 15 Calificación de atributos de suelos en análisis de susceptibilidad 113
Figura 16 Distribución de susceptibilidad por textura 115
Figura 17 Distribución de susceptibilidad por taxonomía de suelos..... 117
Figura 18 Distribución de susceptibilidad por profundidad de suelos 121
Figura 19 Distribución de susceptibilidad por tipo de arcillas de los suelos 122
Figura 20 Calificación de atributos de geomorfología en análisis de susceptibilidad 144
Figura 21 Diagrama de los atributos calificados en la variable Morfometría 145
Figura 22 Distribución de susceptibilidad por pendientes..... 147
Figura 23 Distribución de susceptibilidad por rugosidad..... 152
Figura 24 Distribución de susceptibilidad por acumulación de cuenca 155
Figura 25 Distribución de susceptibilidad por morfometría 158
Figura 26 Distribución de susceptibilidad por morfogenética..... 163
Figura 27 Distribución de susceptibilidad por índice de relieve relativo 166
Figura 28 Distribución de susceptibilidad por inclinación de ladera 169
Figura 29 Distribución de susceptibilidad por relieve relativo e inclinación de ladera 172
Figura 30 Distribución de los tipos de movimiento en masa 179
Figura 31 Distribución de movimientos en masa frente a los ambientes geomorfológicos..... 181
Figura 32 Frecuencia de eventos registrados en cada unidad geomorfológica. . 182
Figura 33 Movimientos en masa por kilómetro cuadrado de unidad geomorfológica 183
Figura 34 Distribución de movimientos en masa en rangos de pendiente 184
Figura 35 Porcentajes de participación de los tipos de movimiento en masa en los rangos de pendiente. 185

Figura 36 Distribución de movimientos en masa por kilometro cuadrado en rangos de precipitacion. 186
Figura 37 Distribución de movimientos en masa frente a la taxonomía de los suelos. 188
Figura 38 Distribución de los tipos de movimiento en masa en las coberturas ... 190
Figura 39 Cantidad de movimientos en masa por kilómetro cuadrado de cobertura 191
Figura 40 Distribución de susceptibilidad por geología 194
Figura 41 Distribución de susceptibilidad por geomorfología 198
Figura 42 Distribución de susceptibilidad por cobertura 201
Figura 43 Distribución de susceptibilidad por movimientos en masa 206
Figura 44 Calificación de la zonación climática con base en su contribución a los movimientos en masa 209
Figura 45 Distribución de amenaza relativa por clima 218
Figura 46 Distribución de amenaza relativa por sismos 220
Figura 47 Distribución de amenaza total por movimientos en masa 222

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 Ubicación geográfica de San José del Palmar. 13
Mapa 2 Veredas de San José del Palmar 14
Mapa 3 Precipitación media anual en San José de Palmar 16
Mapa 4 Temperatura media anual en San José del Palmar 17
Mapa 5 Distribución hidrográfica en San José del Palmar 18
Mapa 6 Área de reconocimiento en campo 40
Mapa 7 Cartografía geológica en área de estudio 52
Mapa 8 Cartografía geológica de San José del Palmar 53
Mapa 9 Susceptibilidad por densidad de fracturamiento 55
Mapa 10 Susceptibilidad por densidad de fracturamiento en áreas de interés 57
Mapa 11 Susceptibilidad por tipo de fábrica 60
Mapa 12 Susceptibilidad por fabrica en áreas de interés 62
Mapa 13 Susceptibilidad por resistencia litológica 65
Mapa 14 Susceptibilidad por resistencia litológica en áreas de interés 67
Mapa 15 Relación de buzamientos y dirección de pendiente 69
Mapa 16 Unidades de Cobertura 82
Mapa 17 Unidades de cobertura en áreas de interés 83
Mapa 18 Susceptibilidad por profundidad radicular en cobertura 90
Mapa 19 Susceptibilidad por profundidad radicular en áreas de interés 91
Mapa 20 Susceptibilidad por drenaje profundo en coberturas de San José del Palmar 95
Mapa 21 Susceptibilidad por drenaje profundo en áreas de interés 96
Mapa 22 Susceptibilidad por evapotranspiración en coberturas 103
Mapa 23 Susceptibilidad por evapotranspiración en áreas de interés 104
Mapa 24 Susceptibilidad por número de estratos en coberturas 107
Mapa 25 Susceptibilidad por número de estratos en áreas de interés 109
Mapa 26 Unidades de Suelos 112
Mapa 27 Susceptibilidad por Textura en Suelos 115
Mapa 28 Susceptibilidad por Taxonomía de Suelos 117
Mapa 29 Susceptibilidad por Drenaje Natural en Suelos 119
Mapa 30 Susceptibilidad por Profundidad en Suelos 120
Mapa 31 Susceptibilidad por Tipo de Arcilla en Suelos 123
Mapa 32 Unidades Geomorfológicas 142
Mapa 33 Unidades geomorfológicas en áreas de interés 143
Mapa 34 Susceptibilidad por pendientes 146
Mapa 35 Susceptibilidad por pendientes en áreas de interés 148
Mapa 36 Susceptibilidad por Rugosidad 151
Mapa 37 Susceptibilidad por rugosidad en áreas de interés 153
Mapa 38 Susceptibilidad por acumulación de cuenca 155
Mapa 39 Susceptibilidad por acumulación de cuenca en áreas de interés 156
Mapa 40 Susceptibilidad por Morfometría 158

Mapa 41 Susceptibilidad por morfometría en áreas de interés 160
Mapa 42 Susceptibilidad por Morfogenética 163
Mapa 43 Susceptibilidad por índice de relieve relativo 166
Mapa 44 Susceptibilidad por índice de relieve en áreas de interés 168
Mapa 45 Susceptibilidad por inclinación de ladera 170
Mapa 46 Susceptibilidad por inclinación de ladera en áreas de interés 171
Mapa 47 Susceptibilidad por relieve relativo e inclinación de ladera 173
Mapa 48 Susceptibilidad por índice de relieve relatico e inclinación de ladera en áreas de interés 174
Mapa 49 Registro de movimientos en masa en San José del Palmar 177
Mapa 50 Inventario de movimientos en masa en áreas de interés 178
Mapa 51 Susceptibilidad por morfodinámica 192
Mapa 52 Susceptibilidad por geología 193
Mapa 53 Susceptibilidad por geología en áreas de interés 196
Mapa 54 Susceptibilidad por geomorfología 197
Mapa 55 Susceptibilidad por geomorfología en áreas de interés 199
Mapa 56 Susceptibilidad por cobertura 201
Mapa 57 Susceptibilidad por cobertura en áreas de interés 203
Mapa 58 Susceptibilidad por suelos 205
Mapa 59 Susceptibilidad total por movimientos en masa 208
Mapa 60 Zonación climática con base en su contribución a los movimientos en masa 210
Mapa 61 Distribución de la precipitación máxima diaria según su contribución a los movimientos en masa 212
Mapa 62 Distribución del detonante por factores climáticos 214
Mapa 63 Distribución del detonante sismo según su contribución a los movimientos en masa. 216
Mapa 64 Amenaza relativa por clima 217
Mapa 65 Amenaza relativa por sismos 219
Mapa 66 Amenaza total por movimientos en masa 221
Mapa 67 Amenaza total por movimientos en masa en la cabecera municipal 224
Mapa 68 Amenaza total por movimientos en masa en los corregimientos 226

1. INTRODUCCIÓN

Históricamente las poblaciones colombianas se han desarrollado sobre las zonas montañosas de Los Andes que presentan características geomorfológicas favorables para el desarrollo de movimientos en masa. Estas características sumadas al aumento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos como altas precipitaciones y récords en lluvias máximas que actúan como detonantes, han propiciado la formación de movimientos en masa que pueden causar afectaciones graves sobre los bienes, la naturaleza y poner en peligro la vida de la población.

Muchas de estas poblaciones como San José del Palmar se encuentran en zonas de difícil acceso y con problemas de orden público que dificultan la recolección información primaria, por ello generalmente presentan poca información técnica o cartografía temática propia. Por esta razón se hace necesario el uso de sensores remotos para la recolección de información indirecta, que sumado a la recolección de información de campo y el uso de herramientas SIG permite generar modelos del terreno con información de geología, coberturas, suelos y geomorfología. El uso de estas herramientas permite además integrar las variables de clima y sismos como factores detonantes de movimientos en masa para finalmente determinar la distribución espacial de la amenaza por este fenómeno.

En San José del Palmar los movimientos en masa se han presentado de forma recurrente afectando de manera directa a la población, pues al encontrarse la mayor parte de su territorio en el costado occidental de la cordillera occidental posee condiciones geomorfológicas y climáticas que precipitan la ocurrencia de este fenómeno. Asentamientos en zonas de alta pendiente, áreas agrícolas y construcciones cercanas a movimientos en masa activos o antiguos y una única vía terrestre de comunicación con otros municipios, la cual presenta constantes cierres por movimientos en masa, son algunas de las razones por las que es necesario la realización del presente estudio de amenaza.

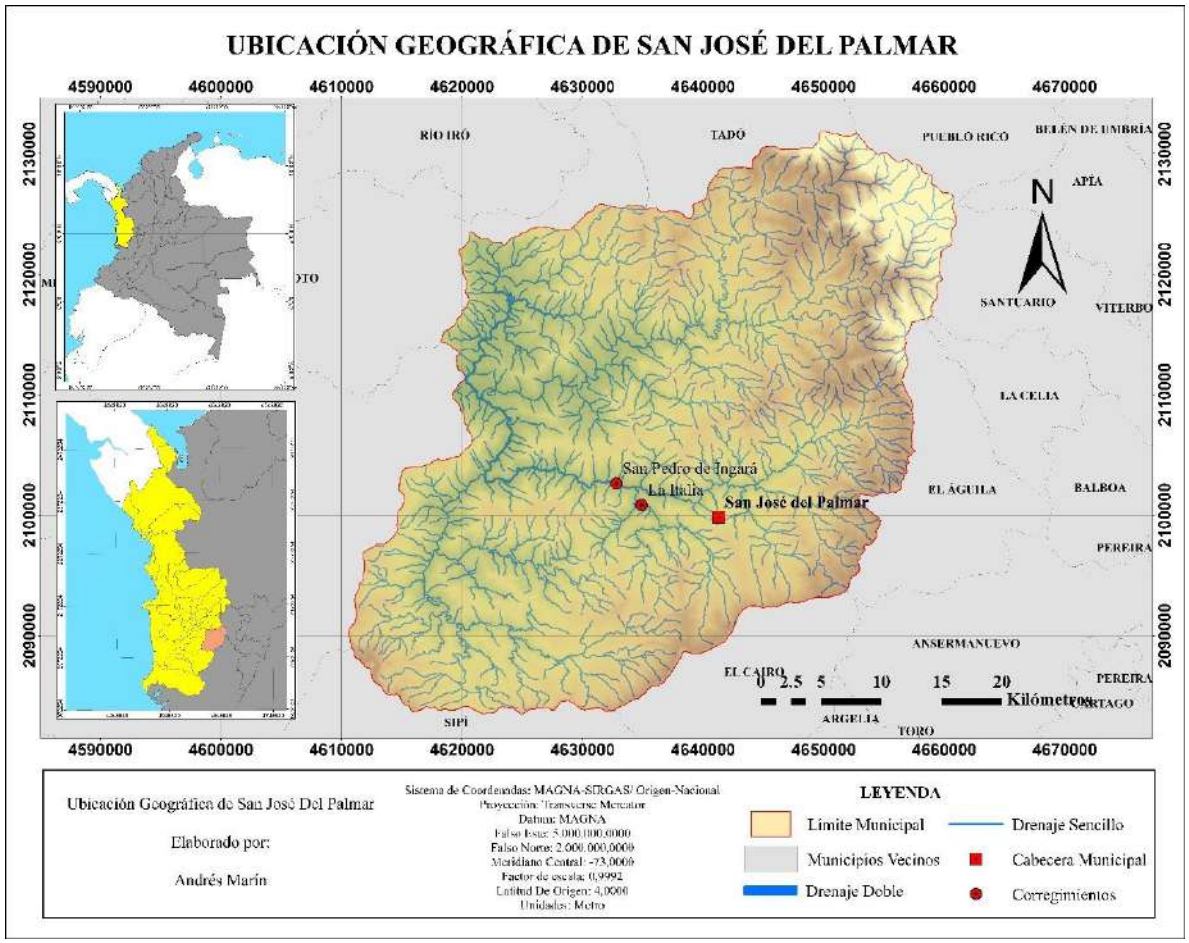
La información de documento puede servir como guía para identificar zonas en las cuales se debe priorizar los estudios en mayor detalle, aclarando que este no se recomienda como insumo para la evaluación de problemáticas locales.

2. INFORMACIÓN GENERAL

2.1. LOCALIZACIÓN

San José del Palmar está ubicado al suroriente del departamento del Chocó limitando tanto con Risaralda como con Valle del Cauca. Al oriente linda con los municipios de Pueblo Rico, Santuario y La Celia en el departamento de Risaralda y con El Águila y el Cairo en el Valle del Cauca, al norte limita con Tadó y Condoto, al occidente con Novita y al sur con Sipí, pertenecientes al departamento del Chocó.

Mapa 1 Ubicación geográfica de San José del Palmar.



Fuente: Presente estudio

El municipio cuenta con un área de 1582 Kilómetros cuadrados y con alturas que varían desde los 125 hasta los 4100 metros sobre el nivel del mar (msnm) estando la cabecera municipal a 1100 msnm. Se extiende entre los siguientes extremos geográficos:

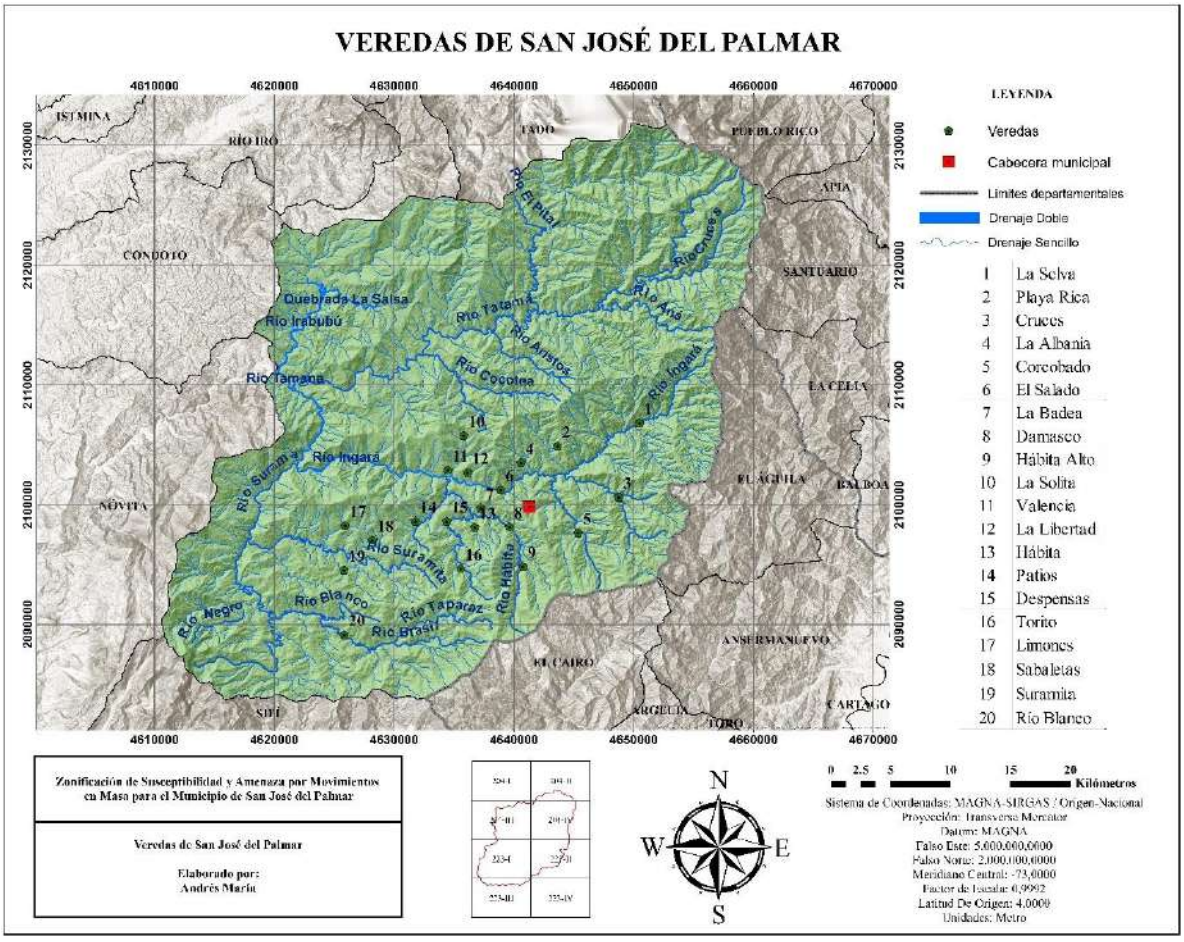
Tabla 1 Extremos geográficos del municipio

Extremo Norte	**5°11’07” N**
Extremo Sur	**4°44’52” N**
Extremo Este	**73°03’32” W**
Extremo Oeste	**76°30’39” W**

Fuente: Presente estudio

2.2. DIVISIÓN ADMINISTRATIVA

Mapa 2 Veredas de San José del Palmar



Fuente: Presente estudio

El municipio cuenta con dos corregimientos que constituye junto con la cabecera municipal los principales centros poblados. El corregimiento de La Italia se ubica sobre la margen izquierda del rio Hábita y en la derecha del rio Toro Viejo, cerca de

la confluencia del primero con el rio Ingará, el cual tiene en su margen derecha asentado el corregimiento de San Pedro de Ingará.

El territorio de San José del palmar está dividido parcialmente en 20 veredas sin límites bien definidos las cuales se en listan a continuación y se ubican en el Mapa 2.

Tabla 2 Veredas de San José del Palmar

1	La Selva	8	Damasco	15	Despensas
2	Playa Rica	9	Hábita alto	16	Torito
3	Cruces	10	La Solita	17	Limones
4	La Albania	11	Valencia	18	Sabaletas
5	Corcovado	12	La Libertad	19	Suramita
6	El Salado	13	Habita	20	Rio Blanco
7	La Badea	14	Patios		

Fuente: Presente estudio

2.3. CLIMA

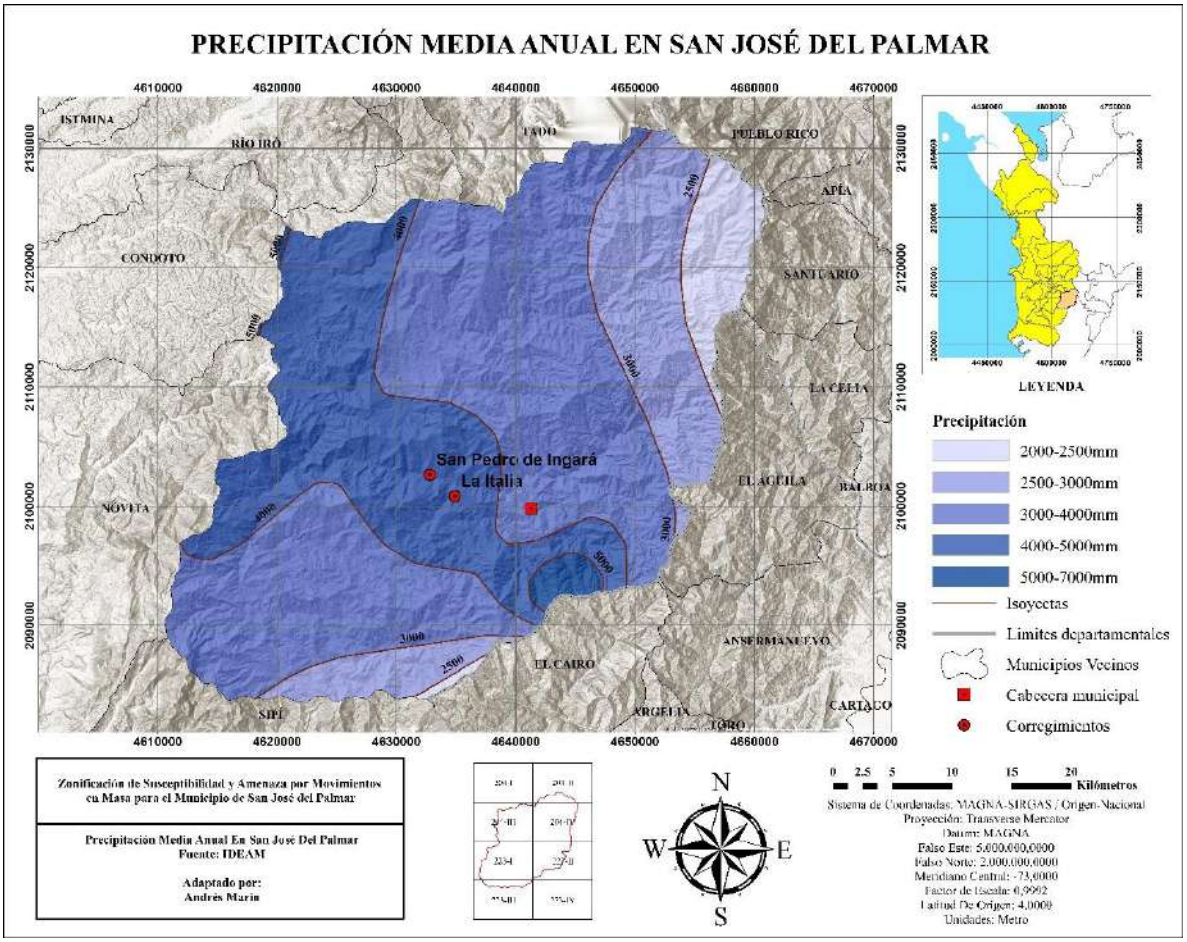
“El clima es húmedo con variaciones significativas en su temperatura debido a las corrientes frías del aire provenientes del Océano Pacífico, se van acumulando diariamente gran cantidad de nubes, lo cual, sumado a factores como la alta precipitación, la gran masa boscosa, la baja presión atmosférica y los vientos atenuados, hacen que se condensen las nubes formando un vapor frío, peculiar de páramo, que cubre la selva de neblina la mayor parte del tiempo. Estas características hacen que esta zona contribuya al mantenimiento del equilibrio climático de la región”. (Alcaldía Municipal de San José del Palmar, 2001)

2.3.1. PRECIPITACIÓN

El municipio presenta un rango de precipitación media anual desde 2000mm hasta los 7000mm aumentando generalmente hacia las zonas más bajas y occidentales del territorio, destacan precipitaciones superiores a 5000mm/año en la cuenca del Rio Hábita y mayores a 4000mm/año en la cuenca media y baja del Rio Ingará. En contraste las zonas que se encuentran a alturas sobre los 2000 msnm presentan tasas de precipitación menores a los 3000mm/año, áreas que se encuentran

mayormente en dentro del Parque Nacional Natural Tatamá y en su zona de amortiguación.

Mapa 3 Precipitación media anual en San José de Palmar



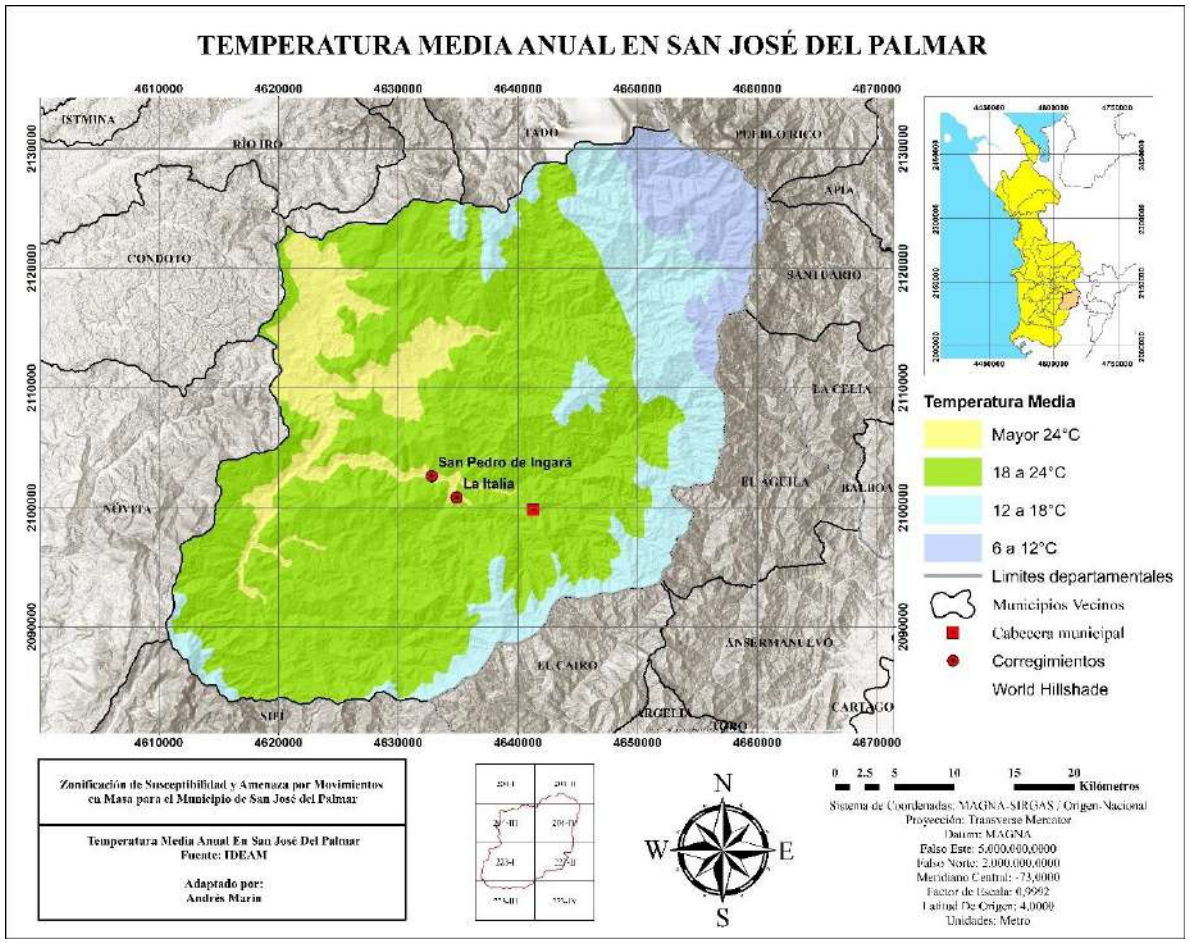
Fuente: IDEAM

2.3.2. TEMPERATURA

Al estar ubicado el municipio en un rango topográfico tan amplio (125msnm-4100 msnm) presenta 4 pisos térmicos bien diferenciados. En las regiones más bajas del municipio en las cuencas medias y bajas de los ríos Surama, Irabubú, Ingará y Tamaná se concentran las temperaturas mayores a 24°C constituyendo un piso térmico cálido, área en el que se encuentra los corregimientos de La Italia y San Pedro de Ingará. El piso templado ocupa la mayor parte del territorio con temperaturas que oscilan entre los 18°C y 24°C siendo esta el área en donde se encuentra la cabecera municipal y se desarrollan la mayoría de actividades

agropecuarias. Los pisos frío y muy frio, que se encuentran en alturas superiores a los 2000msnm con temperaturas entre 18°C y 6°C, se aprecian casi en su totalidad en los bosques naturales y áreas protegidas que tiene el municipio.

Mapa 4 Temperatura media anual en San José del Palmar



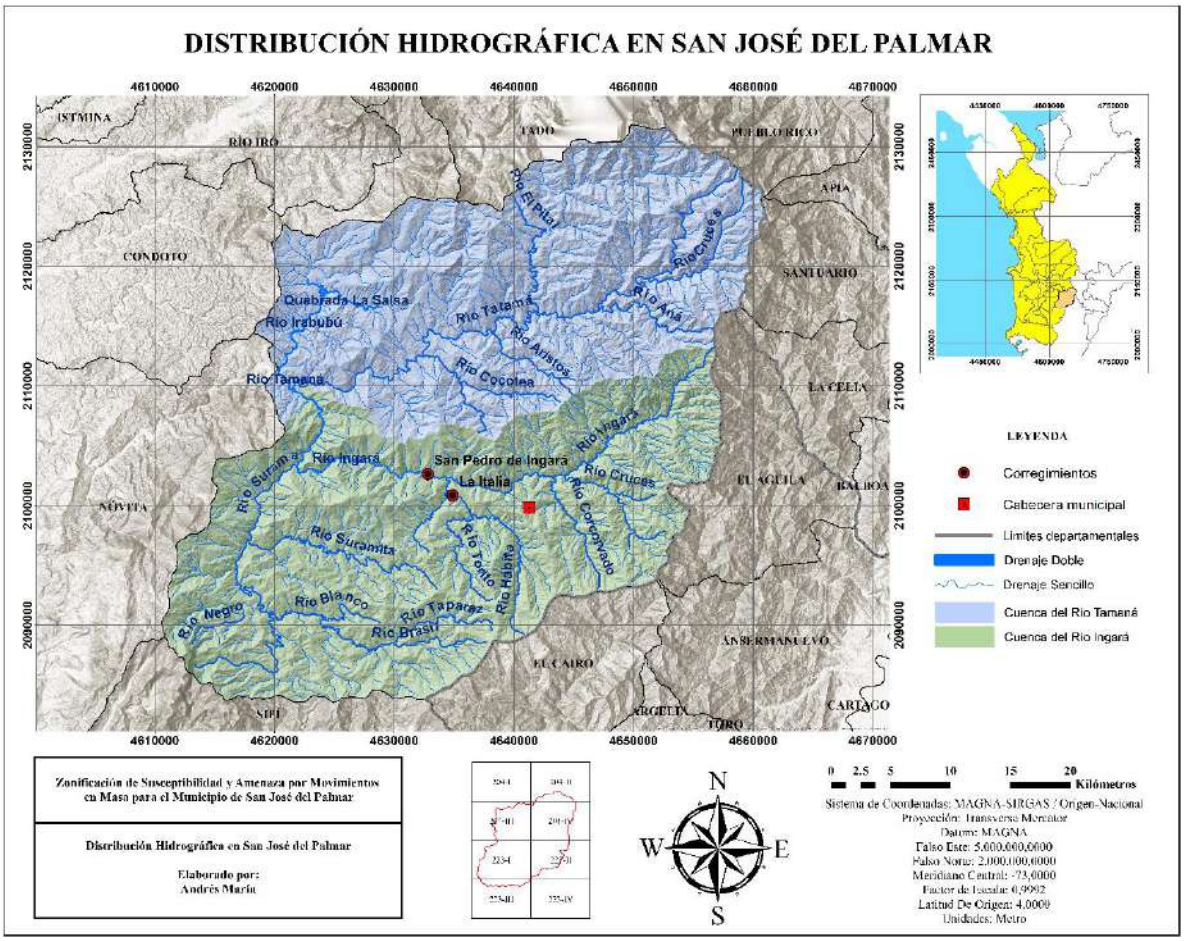
Fuente: IDEAM

2.4. RED HÍDRICA

La totalidad del área de San José del Palmar se encuentra dentro de la cuenca del rio Tamaná, el cual converge en el rio San Juan a 35 kilómetros al oeste del límite municipal. Esta cuenta con una subcuenca de aproximadamente 861 kilómetros cuadrados (km^2) perteneciente al rio Ingará, la cual es de gran importancia tanto por su extensión como por su densidad poblacional. Es en la cuenca del rio Ingará en

donde se encuentran ubicados los centros urbanos del municipio: san José del Palmar, La Italia y San pedro de Ingará, así como la mayoría de sus veredas.

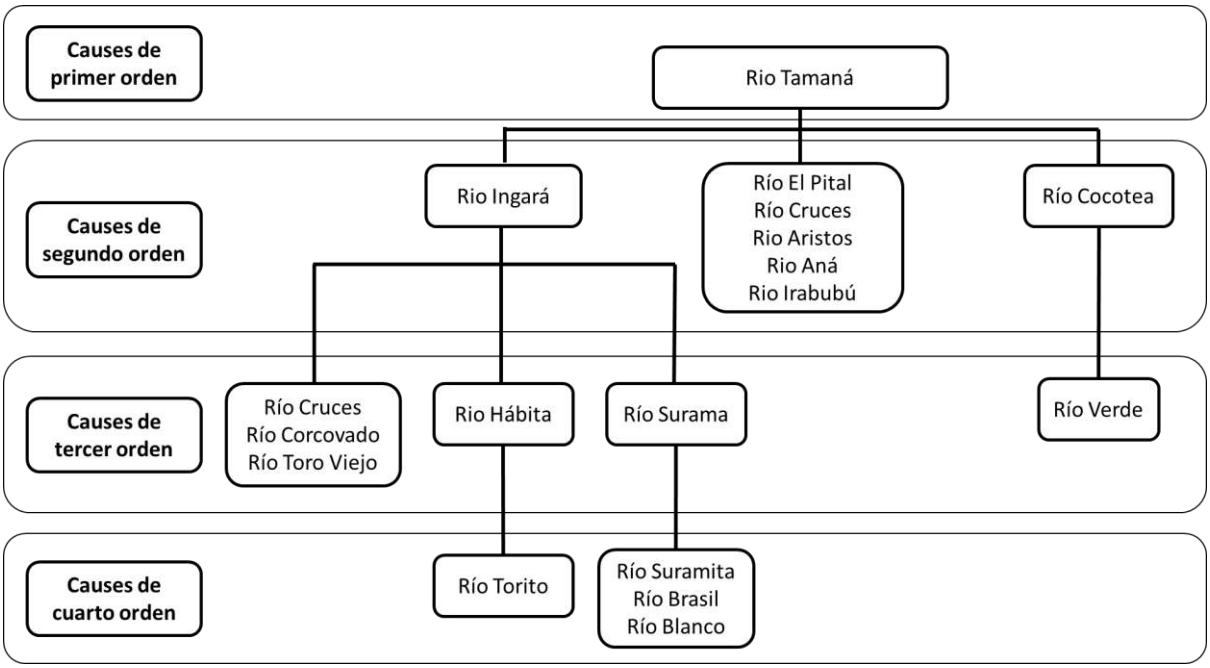
Mapa 5 Distribución hidrográfica en San José del Palmar



Fuente: Presente estudio

En la Figura 1 se aprecia el orden de los principales ríos dentro del municipio destacando el alto número de tributarios con el que cuenta el rio Ingará siendo el de mayor importancia el rio Surama que abarca una cuenca de 384 km^2 que equivale al 24% del área total del municipio.

Figura 1 Orden de los principales causes en San José del Palmar



Fuente: Presente estudio

3. METODOLOGÍA

Este estudio se desarrolló teniendo como guía el Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano (SGC) 2014, adaptando la metodología a escala 1:50.000 y haciendo uso de información más detallada.

Para la generación del mapa de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa se emplearon variables cualitativas y cuantitativas, dentro de las variables cualitativas se encuentra la geología, geomorfología, suelos y cobertura de la tierra y dentro las variables cuantitativas se encuentran la pendiente, rugosidad y acuenca, las cuales se derivan del modelo digital de elevación (DEM).

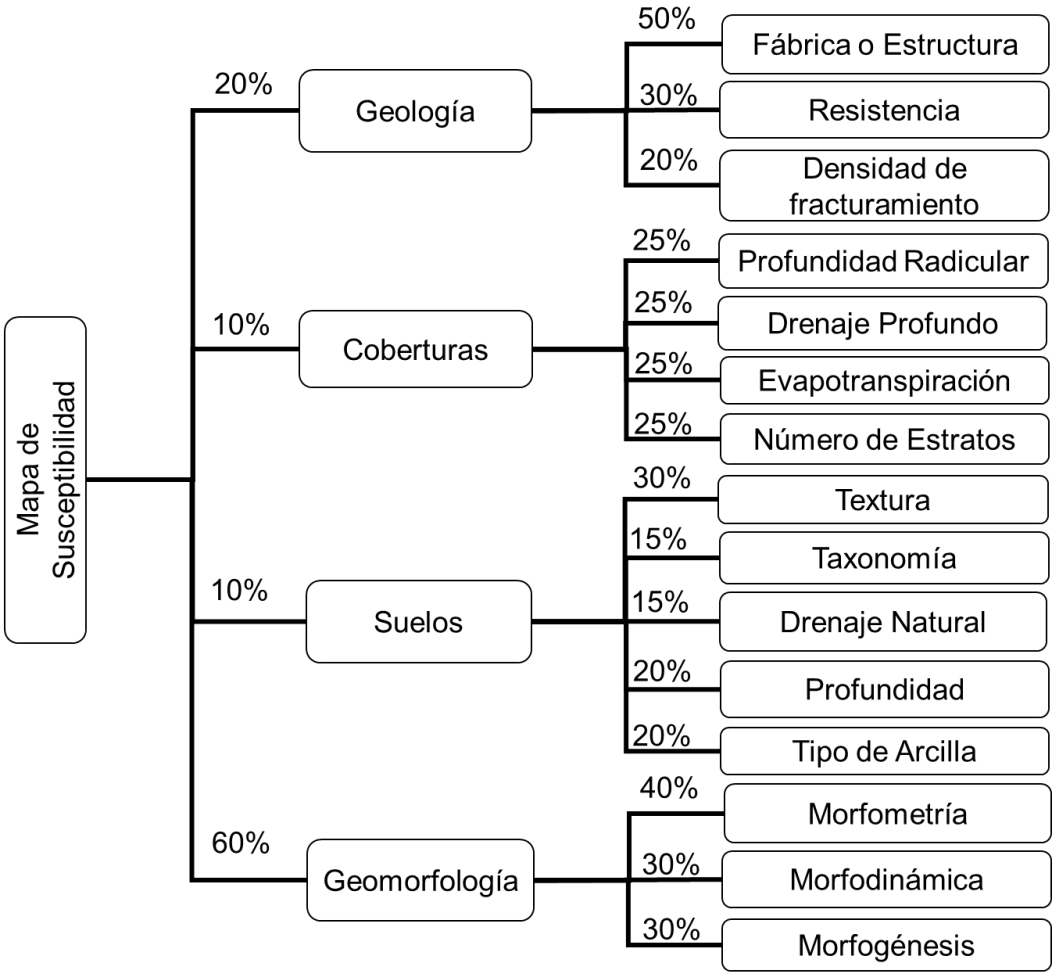
Se aplicó un enfoque heurístico a partir del trabajo realizado en la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:100.000 del SGC en donde se aplica un análisis multicriterio que involucra la utilización de datos geográficos, debiendo establecer las preferencias y combinaciones (o agregaciones) de los datos, de acuerdo a reglas de decisiones específicas que han sido implementados en ambiente SIG (Malczewsky, 2006).

Para realizar estos análisis heurísticos de en la determinación del índice de susceptibilidad por movimientos en masa, se utilizará procesos de análisis jerárquicos (AHP por sus siglas en ingles).

3.1. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

Es un método desarrollado por Thomas L. Saaty en 1980, como una ayuda a la toma de decisiones, consiste en dividir una situación compleja y poco estructurada en sus partes que la componen; arreglando estas partes, o variables, en un orden jerárquico; asignando valores numéricos a juicios subjetivos sobre la importancia relativa de cada variable y sintetizando los juicios para determinar cuál variable tiene la mayor importancia y deben actuar bajo la influencia del resultado de la situación.

Figura 2 Diagrama de jerarquía para elaboración del mapa de susceptibilidad



Fuente: (SGC, 2013)

3.2. METODOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS

A partir de la zonificación de susceptibilidad realizada, se propone una metodología heurística para la zonificación de amenazas, para lo cual fueron definidos los factores inherentes al clima (temperatura media anual, precipitación media anual y lluvia máxima diaria) y el sismo como detonantes de los movimientos en masa.

Inicialmente, la evaluación de la amenaza debida a los eventos detonados por factores climáticos se obtiene mediante la suma de los pesos que contiene cada celda para el detonante y la susceptibilidad, así:

$$\boldsymbol{Ac = S + Fc} \qquad \textbf{Ec. 1}$$

Donde:

Ac = Amenaza por factores climáticos

S = Susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa

Fc = Factor clima

De forma similar, el cálculo de la amenaza por sismo, se obtiene mediante la suma de los pesos que contiene cada celda para el detonante sismo y la susceptibilidad, así:

$$\boldsymbol{As = S + Fs} \qquad \textbf{Ec. 2}$$

Donde:

As = Amenaza por detonante sismo

S = Susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa

Fs = Factor sismo

El cálculo de la amenaza total se obtiene mediante la suma de la amenaza por lluvia y la amenaza por sismo, así:

$$\boldsymbol{AT = Ac + As} \qquad \textbf{Ec. 3}$$

Donde:

AT = Amenaza Total

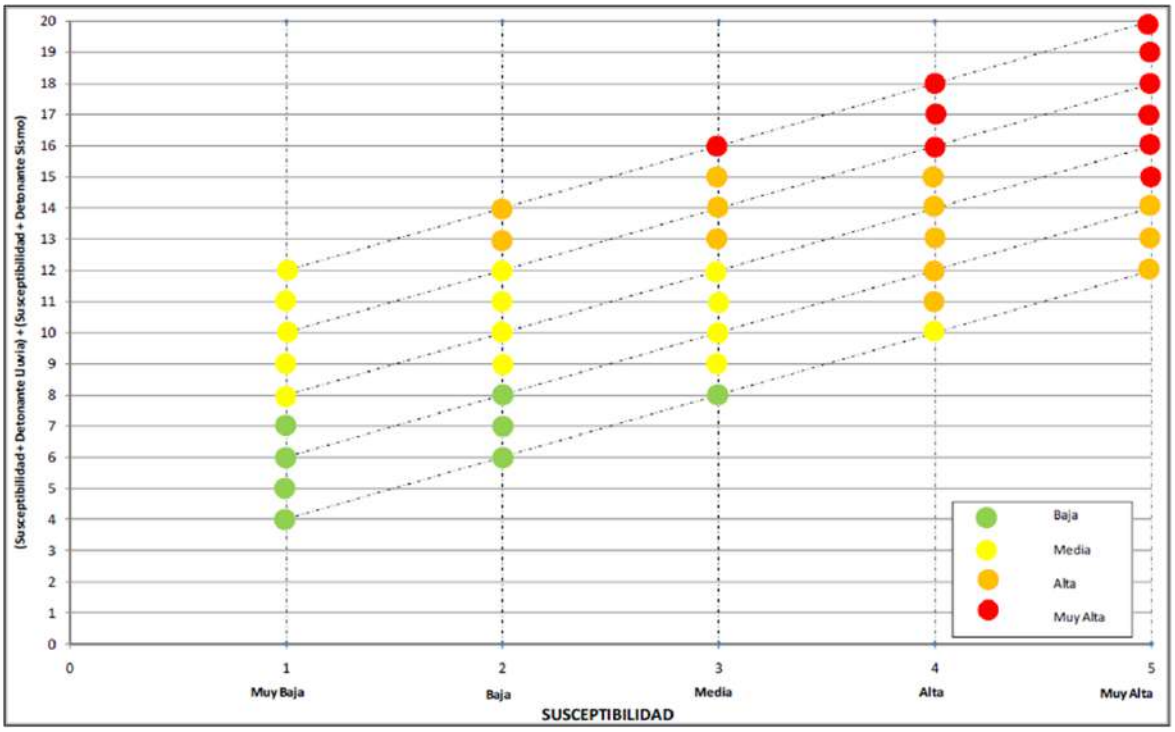
Ac = Amenaza por detonante clima

As = Amenaza por detonante sismo

Los valores obtenidos de amenaza por detonante clima o sismo oscilan entre 2 y 10 debido a que tanto la calificación de los detonantes como la de la susceptibilidad varían entre 1 y 5.

La clasificación del mapa de amenaza total se propone tal como aparece en la Figura 3, estableciendo cuatro categorías de amenaza: Baja, Media, Alta y Muy Alta.

Figura 3 Clasificación del mapa de zonificación de amenaza relativa por movimientos en masa



Fuente: (SGC, 2013)

3.3. ETAPAS O PROCEDIMIENTOS PARA CUMPLIR CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA

A continuación, se describe los procesos para la metodología propuesta en el desarrollo de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa que se describió anteriormente. Estos procesos son: la recopilación de información existente en la zona de estudio, la adquisición y procesamiento de información digital secundaria, fotointerpretación, reconocimiento de campo, la creación de información digital y creación de cartografía temática.

3.3.1. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Es escasa la información específica que se tiene de San José del Palmar y de estudios que abarquen toda el área municipal con escalas mayores a 1:100.000, por esto la mayoría de la información recolectada son estudios regionales que generalmente no incluyen la totalidad del municipio.

Los principales estudios geológicos consultados son las memorias explicativas de las planchas geológicas 204 -Pueblo Rico (SGC, 2001) y 223-El Cairo (SGC, 1984) en donde se encuentra el área municipal (Figura 5) y el estudio de cartografía geológica y muestreo geoquímico en la parte norte de la cordillera occidental (Union Temporal San Juan, 2009), en donde se muestra un mayor detalle de las características de las unidades y estructuras geológicas, así como un acercamiento a la unificación en la nomenclatura de las unidades en las dos planchas mencionadas.

La base geomorfológica de este estudio se tomó de la memoria explicativa de los mapas geomorfológicos aplicados a movimientos en masa para las planchas 204 y 223 (SGC, Universidad EAFIT, 2014). Estos mapas se presentan jerarquizados hasta el nivel de unidades geomorfológicas en escala 1:100.000, sin embargo, también representa la categoría de análisis hasta la escala 1:50.000 (Carvajal, 2012), por lo cual se toma como fundamento para realizar el análisis de susceptibilidad morfogenético en este estudio.

La información recopilada sobre coberturas se tomó de Parque Nacionales de Colombia realizada sobre el Parque Nacional Natural Tatamá para el año 2017. En el resto del municipio se realizó la cartografía de las coberturas actuales y con mayor escala a partir de sensores remotos e información recolectada en campo.

La cartografía de suelos en el municipio se obtuvo del mapa de distribución de características del suelo del departamento del choco a escala 1:100.000, publicado el año 1997 por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. A la fecha es el único estudio completo realizado sobre el municipio en donde se describen los atributos necesarios para realizar el presente estudio, razón por la cual se toman estos datos.

3.3.2. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DIGITAL SECUNDARIA

La mayoría de la cartografía digital recopilada fue extraída del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) generalmente en escala 1:100.000 pues no se conoce información a mayor detalle salvo la base cartográfica que se encuentra en escala 1:25.000. A continuación, se detallan las escalas y planchas cartográficas utilizadas tomadas del IGAC.

Figura 5 Planchas topográficas utilizadas en escala 1:100.000

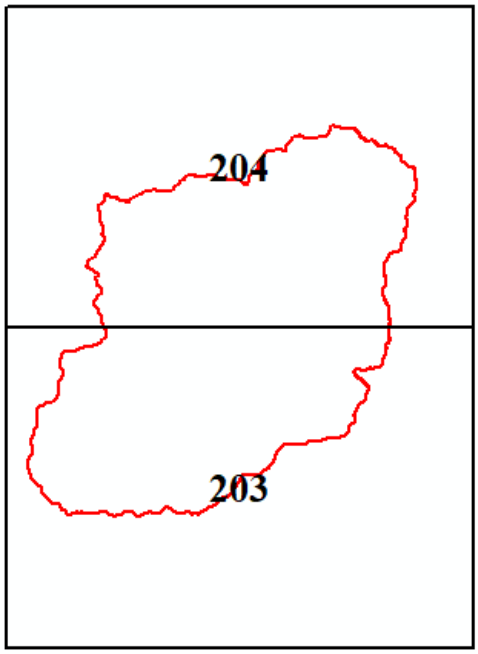
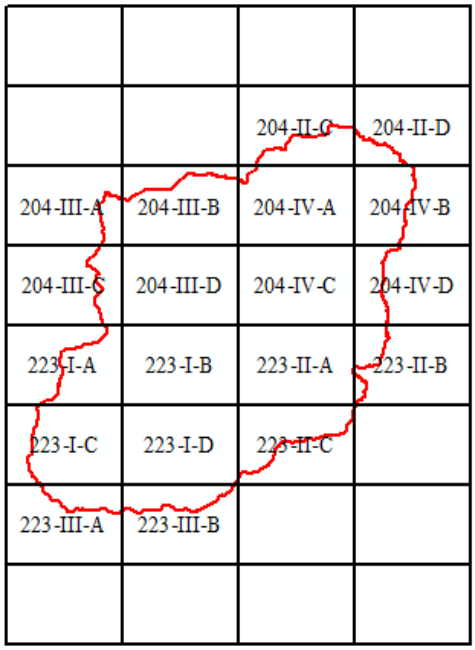


Figura 4 Planchas topográficas utilizadas en escala 1:25:000



Fuente: Presente estudio

Alguna información presente en las planchas se modificó para corregir datos como nombres erróneos o ubicaciones desfasadas y se actualizó la distribución de vías del municipio.

A continuación, se detalla la cartografía digital recolectada, su escala y su fuente:

Tabla 3 Cartografía digital secundaria

Información Digital	Escala	Fuente
Base Cartográfica	1:100000	IGAC
Base Cartográfica	1:25000	IGAC
Modelo De Elevación Digital	12,5X12,5	NASA Earth Data
Imágenes Satelitales		Google Earth - SAS Planet
Mapas Geológicos Digitalizados	1:100000	SGC
Mapa Digital De Suelos Del Departamento De Chocó	1:100000	IGAC
Mapa Nacional De Menaza Sísmica Periodo De Retorno 475 Años	1:500000	INGEOMINAS; Unal Bogotá
Precipitación Media Total Anual Promedio	1:100000	IDEAM
Temperatura Media Anual Y Pisos Térmico	1:100000	IDEAM
Precipitación Máxima Total	1:100000	IDEAM
Límite De Los Parques Nacionales Naturales De Colombia	1:100000	INVEMAR
División Administrativa Nacional	1:100000	IGAC

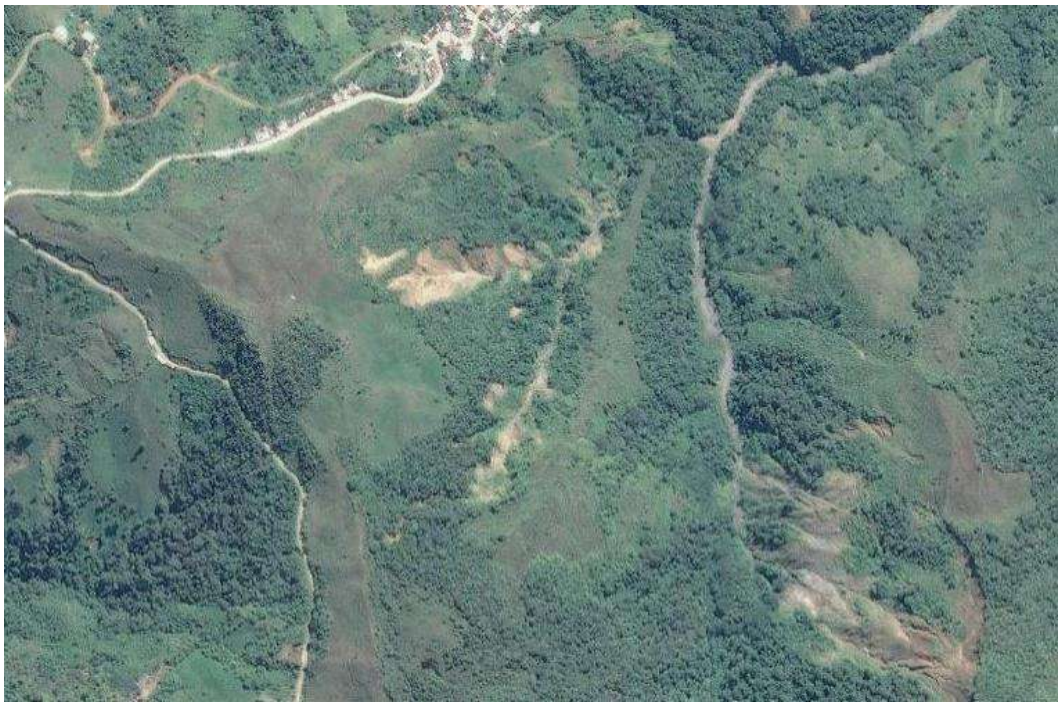
Fuente: Presente estudio

3.3.3. FOTOINTERPRETACIÓN

Para realizar la fotointerpretación se hace uso de imágenes satelitales proporcionadas por Google Inc. y Microsoft Bing desde los programas Google Earth y SAS Planet respectivamente. Las imágenes más recientes del municipio en Google Earth datan del 2014 mientras que las de SAS Planet-Bing son del 2016 siendo además estas últimas las de mayor cobertura, las cuales son utilizadas para identificar los procesos morfodinámicos registrados en estos.

Debido a que el municipio no cuenta con el mapa de cobertura reciente y a la escala necesaria para el desarrollo del presente trabajo este se debe realizar, para lo cual se toma como base las imágenes satelitales. A pesar de que estas imágenes son relativamente recientes (menos de 6 años a la fecha de este estudio) y las coberturas no han tenido un cambio significativo, se hace necesario una verificación en campo y posterior corrección de la información que se tome de estos programas.

Imagen 1 Imagen Satelital proporcionada por Google Inc.



Fuente: Google Inc.

Imagen 2 Imagen Satelital proporcionada por Microsoft Bing

Fuente: Microsoft Bing

Las imágenes 1 y 2 muestran imágenes satelitales de la misma zona proporcionada por las dos fuentes mencionadas en diferentes años. En este caso se aprecia la evolución de un movimiento en masa en la cuenca superior de la Quebrada Sinifaná contigua a la cabecera municipal en un lapso de dos años. Además, muestra los resultados de la intervención antrópica sobre laderas derivado de las obras de pavimentación sobre la vía San José del Palmar – Cartago, así como leves cambios en el tipo de coberturas.

3.3.4. RECONOCIMIENTO DE CAMPO

Este reconocimiento de campo se realizó con el fin de mejorar el detalle de las unidades geológicas y de las estructuras existentes, así como el de registrar y corroborar los procesos morfodinámicos y cambios en la cobertura vegetal. Para esto se recorrió por vías carreteables, caminos veredales, ríos y quebradas de la cuenca alta y media del rio Ingará cubriendo parcialmente las veredas La Selva, Cruces, Corcovado, La Albania, El salado, Habita Alto y Damasco, región que representa solo el 4.5% del área municipal y que se asienta sobre la zona de topografía más elevada y de mayor concentración vial y poblacional.

El área municipal restante no pudo contar con reconocimiento de campo debido a problemas de seguridad registrados en el momento de realizar este estudio en las veredas occidentales y al difícil acceso a las regiones norte y sur cubiertas principalmente por selva espesa.

Se realizaron 197 estaciones y puntos de control registrados fundamentalmente en bordes de carretera y afluentes hídricos enfocándose en las zonas de interés especial como la salida de la cabecera municipal hacia el Valle del Cauca y al corregimiento de La Italia y en movimientos en masa importantes registrados en las vías.

En cada una de las estaciones se tomó las coordenadas y se realizó un registro fotográfico de los afloramientos, geoformas o cobertura vegetal según fuera el objetivo de la estación. En los lugares que presentaron afloramientos rocosos se realizó la descripción litológica, así como la toma de datos estructurales apreciables (estratificaciones, fallas, diaclasas y foliaciones).

Imagen 3 Recolección de datos estructurales en afloramiento rocoso

Fuente: Presente estudio

3.3.5. CREACIÓN DE INFORMACIÓN DIGITAL

La información digital creada consiste principalmente en cartografía derivada tanto de datos primarios como de secundarios y pueden agruparse en categorías de cartografía base, geológica, geomorfológica, de coberturas, de susceptibilidad total y de amenaza total.

Cartografía base

Se realizó la actualización de algunas vías del municipio.

Cartografía geológica:

Esta se realizó a partir de la recolección y digitalización de información de las unidades estratigráficas y estructurales del municipio derivado del trabajo de campo descrito en el numeral anterior y de la información existente en zonas de difícil acceso.

Cartografía geomorfológica:

En este apartado se obtuvo el mapa de susceptibilidad por geomorfología a través de algebra de mapas de las susceptibilidades morfométricas, morfogenéticas y morfodinámicas.

Cartografía morfométrica: a partir de modelos de elevación digital se realizó la caracterización por pendientes, rugosidad y acumulación de cuenca, además de la susceptibilidad total por morfometría.

Cartografía morfogenética: partiendo del mapa de las unidades geomorfológicas se realizó el análisis espacial de susceptibilidad por morfogénesis.

Cartografía morfodinámica: para realizar esta cartografía se utilizó como insumos básicos el modelo de elevación digital y los inventarios de movimientos en masa. A partir del modelo de elevación digital se obtuvo los mapas de índice de relieve relativo y de inclinación de ladera, mientras que de los inventarios primarios y secundarios de movimientos en masa se realizó el mapa de distribución de eventos registrados. Finalmente se obtiene el mapa de susceptibilidad por morfodinámica.

Cartografía de coberturas:

En este apartado se creó un mapa de unidades de cobertura vegetal y el de susceptibilidad por coberturas.

Cartografía de unidades de cobertura vegetal: este mapa se realizó con base en imágenes satelitales y en la información recolectada en campo.

Cartografía de susceptibilidad por coberturas: esta se obtuvo a partir del álgebra de mapas de las susceptibilidades por profundidad radicular, drenaje profundo, evapotranspiración y numero de estratos. Todas estas susceptibilidades se obtuvieron a partir del mapa de unidades de coberturas y la información registrada en la guía metodológica del SGC (2013).

Cartografía de susceptibilidad por geología, cobertura, suelos y geomorfología

Estos mapas se realizaron siguiendo el Proceso Analítico Jerárquico mostrado en el numeral 3.1 y asignando los porcentajes correspondientes.

Cartografía de Susceptibilidad Total

Se realiza a partir de los mapas de susceptibilidad de geología, cobertura, suelos y geomorfología usando algebra de mapas con los porcentajes de peso especificados en el numeral 3.1.

Cartografía de Amenaza

Esta se realiza a partir de la metodología propuesta en el numeral 3.2.

4. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A MOVIMIENTOS EN MASA

4.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

Son escasos los estudios de cartografía geológica realizados en el municipio, pues salvo por las planchas que cubren el territorio proporcionadas por el Servicio Geológico Colombiano, que cuentan con hasta 40 años de antigüedad, solo existe un estudio más que cubre parcialmente el municipio. El difícil acceso que presenta la mayor parte del municipio y problemas de seguridad pública limitan la recolección de información directa y obliga al uso de sensores remotos como principal fuente de información en varias zonas, por lo cual es común encontrar incongruencias entre las diferentes cartografías para una misma región. Para el presente estudio se realizó un trabajo de campo en 70 km^2 como fuente de información primaria para mejorar el detalle en la disposición y contacto de algunas unidades litológicas y se accedió las fuentes de información secundaria para consolidar la distribución geológica en la mayor parte del municipio que no cuenta con información directa.

4.1.1. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE FUENTES SECUNDARIAS

El municipio se encuentra entre las planchas geológicas 204 y 223 en escala 1:100.000 realizadas por el Servicio Geológico Colombiano (entonces

INGEOMINAS). La plancha 204 (Pueblo Rico) fue realizada en 1999 y la 223 (El Cairo) en 1984, con algunos estudios más recientes en cartografía geológica en secciones de las dos planchas mencionadas como el hecho por INGEOMINAS y la Unión Temporal San Juan en 2008, en donde se muestra un mayor detalle en las características de las unidades y estructuras geológicas, así como un acercamiento a la unificación en la nomenclatura de las unidades en las dos planchas, razón por la cual se tomará esta nomenclatura para la descripción de la geología realizada en los trabajos antes mencionados.

Las descripciones tanto de la geología estratigráfica como la estructural son tomadas de las memorias explicativas de las planchas geológicas 204 y 203, así como del trabajo de cartografía geológica en la parte norte de la cordillera occidental hecho por la Unión temporal San Juan. Estas descripciones se adaptaron a los limites municipales enfatizando en coincidencias estratigráficas y estructurales de los tres trabajos geológicos mencionados y resaltando las diferencias más importantes.

4.1.1.1. GEOLOGÍA ESTRATIGRÁFICA

Formación Penderisco

Se caracteriza esta formación por rocas sedimentarias bien estratificadas, que afloran en ambos flancos de la Cordillera Occidental; está conformada por rocas limo - arenosas del Miembro Urrao y rocas calcáreas y chert del Miembro Nutibara.

Miembro Urrao:

El Miembro Urrao de la Formación Penderisco está conformado por sedimentos de origen detrítico con metamorfismo de muy bajo grado (arcillolitas, limolitas, areniscas y conglomerados) y foliación dominante en algunos casos. Su color es gris claro hasta casi negro dependiendo del contenido original de materia orgánica. Los afloramientos en la zona se encuentran meteorizados y solamente se localiza roca fresca en las cabeceras de los ríos y quebradas (buenos afloramientos se encuentran en los ríos Hábita y Tamaná). Litológicamente la formación se caracteriza por:

Limolitas y arcillolitas:

Las arcillolitas se presentan en estratos de 5 a 20 cm de espesor en capas paralelas, a veces perturbadas por pliegues de orden centimétrico; en algunos casos presentan foliación por efectos dinámicos. Están constituidas principalmente por material arcilloso y silíceo. Las limolitas son macizas y compactas, el color varía de gris claro a negro cuando están frescas y de pardo a rojizo según el grado de meteorización. Al microscopio son rocas de textura clástica, con 25-30% de clastos tamaño limo fino a grueso y el resto son partículas tamaño arcilla, que conforman la matriz. Los clastos son principalmente de cuarzo (90%), con algo de mica blanca y plagioclasa.

Arenitas:

Se presentan como interestratificaciones en las limolitas y arcillolitas, en capas delgadas a medias (5 a 30 cm) y a veces forman capas muy gruesas de varios metros de espesor. Son rocas macizas de color gris claro a verdoso; al microscopio presentan textura clástica con granos mal seleccionados de tamaño arena fina a media, con 5-25% de matriz. Los clastos son granos angulares a subredondeados de cuarzo (45-60%), plagioclasa (5-10%), micas (3- 10%) y fragmentos líticos (10- 40%). Los líticos son de chert y limolita. El empaquetamiento de los granos es de flotante hasta lineal. De acuerdo con la clasificación de Folk (1974), son litoarenitas, arcosas y arcosas líticas a veces con matriz arcillosa y otras, en menor proporción, con cemento calcáreo.

Conglomerados:

Los conglomerados están conformados por 50% de guijos y 50% de matriz arenosa de grano fino, de color rojizo. La roca está muy bien compactada y medianamente seleccionada. Los guijos son subredondeados, de cuarzo (25%) y fragmentos de roca 75% (chert, basalto y granodiorita) en contacto tangencial y corresponden a conglomerados arenosos de guijos gruesos de

líticos y cuarzo. El espesor calculado por Parra (1983) en la Formación Lázaro, Plancha 223 El Cairo, no sería inferior a 2.300 m.

Correlaciones:

La unidad litológica descrita anteriormente se conoce como miembro Urrao en la plancha 204 y estudios posteriores en el área, mientras en la plancha 223 se le nombra como Formación Lázaro.

Miembro Nutibara

El Miembro Nutibara de la Formación Penderisco fue descrito por Álvarez & González (1978) como una secuencia calcárea - lidítica. Está compuesta por sedimentitas silíceas (chert) interestratificadas con material piroclástico (tobas) de carácter básico, con menores intercalaciones calcáreas. La unidad se presenta como franjas alargadas en sentido N-NE al sur y NW-SE al norte, generalmente de menos de 2 km de espesor. El metamorfismo de bajo a muy bajo grado que afecta la formación las transforma a veces en filitas.

Arcillolitas:

Son los segmentos más característicos de la formación, tiene color verde pálido y forma estratos de 10-15 cm de espesor. Se componen de una mezcla de arcilla y chert en proporciones variables que le proporcionan foliación o fractura concoidea respectivamente. Con frecuencia este nivel contiene estructuras biogénicas determinadas como Chondrites o Zoophycof, las cuales persisten tanto al sur como al norte de la misma cordillera. El color típico verde puede cambiar a tonos rojizos o violeta, en partes siguiendo la estratificación y en otras de manera errática, indicando que el color puede deberse a condiciones post-deposicionales.

Chert:

Es la roca más abundante de esta unidad y se encuentran intercalados con las tobas, a veces en láminas de menos de 0.5 mm. El color varía desde negro hasta gris claro, con algunos segmentos de color gris verdoso por contaminación con material tobáceo. La sílice microcristalina se encuentra

bandeada y a veces con microgradación indicando que su origen puede en parte deberse a fracciones muy finas de corrientes de turbiedad.

Tobas:

Se encuentran en estratos y granulometría variables sobre toda la formación indicando un volcanismo contemporáneo con la depositación de ellas. Se componen esencialmente de fragmentos de basaltos, andesitas y microdiabasas embebidos en una matriz microcristalina cloritizada con algunos fragmentos de cristales de clinopiroxeno. Algunas veces las tobas se encuentran como estratos hasta de 5 m que semejan silos de basalto, en tanto que otras se intercalan lámina a lámina con los chert. Hacia el techo de la Formación las tobas se hacen más gruesas hasta formar aglomerados volcánicos y brechas con fragmentos hasta de 10 cm de diámetro.

Contactos y espesor:

Los contactos observados del Miembro Nutibara con el Miembro Urrao, en unos puntos, son fallados y, en otros, son como interdigitaciones; con las rocas del Complejo Tamaná - Santa Cecilia está en contacto fallado. El espesor de esta unidad es aproximadamente igual al sur y al norte, 765 m.

Correlaciones:

Esta unidad se describe en la plancha 204 y estudios posteriores como Miembro Nutibara de la Formación Penderisco, mientras que en la plancha 223 se nombra como Formación Consólida.

Formación Barroso

Se presenta en forma de cuerpos alargados que penetran en el sureste de la plancha por 1-2 km, con rumbo N-S y con 1-1,5 km de ancho. Tienen alta variación composicional por lo cual se describen separadamente las sub-unidades que la componen:

Diabasas:

Conforman cerca del 80% de la unidad, son masivas de color verde grisáceo oscuro y grano fino a muy fino (menor de 1 mm). Microscópicamente tienen textura ofítica, con plagioclasa y piroxeno en cantidades similares que conforman el 95% de la roca, el resto lo componen minerales de alteración, cuarzo y accesorios. El piroxeno es siempre de tipo clinopiroxeno de la serie augita-pigeonita en cristales subhedrales a veces maclados. Se altera a tremolita-actinolita y posteriormente a clorita. La plagioclasa se presenta en forma tabular, con macla de carlsbad y ocasionalmente de albita, muy alterada y en parte albitizada. Cuarzo anhídrico rellena intersticios. Clorita rellena vacíos y reemplaza vidrio original.

Basaltos Masivos:

Son rocas de color verde manzana a verde oliva oscuro, macizas con ocasionales y finas amígdalas rellenas de clorita, se asocian con las diabasas en las cercanías a tobas y aglomerados y en los afloramientos con estructura de lava almohadillada. En sección delgada muestran textura pilotaxítica, variolítica y microdiabásica con plagioclasa y piroxeno en matriz vítrea cloritizada. El piroxeno tiene forma tabular a acicular, parcialmente cloritizado. La plagioclasa. con macla de carlsbad está casi siempre empolvada por productos de alteración. Los minerales accesorios son ilmenita y esfena, cuarzo no se presenta como mineral primario. La matriz, originalmente vítrea y los productos de alteración se confunden en una masa fina de clorita, epidota y anfíbol fibroso. lntercalaciones de chert y estructuras de lavas almohadilladas indican su origen volcánico submarino.

Basaltos Amigdaloides:

Son el tipo menos abundante y se presentan en horizontes de 1 a 15 m dentro de los basaltos masivos, o en los sedimentos silíceos a manera de derrames. Tienen color verde-grisáceo, moteado por las amígdalas que conforman del 5 al 15% de la roca, con tamaño de 1 a 5 mm. Los minerales constituyentes

son plagioclasa subhedral, muy alterada y piroxeno casi totalmente uralitizado.

Tobas y Aglomerados Volcánicos:

Son productos piroclásticos del mismo que generó los basaltos y se encuentran en estratos cuyo espesor varía desde centímetros hasta algunos metros. Los fragmentos se componen de basaltos en un 90% y en menor cantidad chert y rocas detríticas, rodeados de una matriz afanítica, en partes vítrea con cristales pequeños de piroxeno y plagioclasa. Los minerales secundarios más comunes son clorita, calcita, prehnita y pumpellita.

Contactos:

Esta unidad se encuentra en contacto fallado con las rocas sedimentarias de la Formación Penderisco.

Correlaciones:

Tanto en la plancha 204 como en la plancha 223 reciben el nombre de Basaltos de La Trinidad, sin embargo Parra (1983) correlaciona los Basaltos de La Trinidad con la Formación Barroso, y con este nombre se conoce en trabajos posteriores a las planchas geológicas.

Complejo Santa Cecilia- La Equis

El Complejo Santa Cecilia - La Equis agrupa las siguientes unidades: formaciones Santa Cecilia y La Equis, complejos El Paso y Viravira y las rocas volcano - sedimentarias aflorantes en la cuenca del río Tamaná. Por la complejidad presentada en las relaciones entre estas unidades, no fue posible cartografiarlas por separado como unidades litoestratigráficas independientes; se presenta como una imbricación de escamas corticales de bloques de rocas plutónicas ultramáficas y máficas, volcánicas básicas y rocas sedimentarias afectadas por fallas.

La Formación Santa Cecilia, definida al oeste de la población de igual nombre, está conformada por flujos de lava, aglomerados, brechas y tobas de composición básica, localmente lavas almohadilladas e intercalaciones de chert y calizas fosilíferas.

La Formación La Equis la componen intercalaciones de aglomerados, brechas y flujos lávicos de composición intermedia - ácida, localmente con estructura columnar.

El Complejo El Paso consiste en rocas volcánicas (diabasas y basaltos) con intercalaciones de rocas sedimentarias (chert, arcillolitas y limolitas).

El Complejo de Viravira es un conjunto de rocas formado por basaltos, pequeños cuerpos de peridotitas serpentinizadas y rocas sedimentarias (arcillolitas, arenitas, rocas calcáreas y chert).

La secuencia del río Tamaná se compone de rocas volcánicas (basaltos, diabasas, andesitas y tobas) con escamas de ultramafitas e intercalaciones de rocas sedimentarias (arenitas, limolitas y chert).

Contactos:

Las rocas volcanoclásticas del Complejo Santa Cecilia - La Equis están en contacto fallado con rocas de la Formación Uva en el noroeste; el contacto de las rocas de este complejo con el Miembro Urrao es fallado a lo largo de la Falla Aguasal. En algunos sitios se observa que las rocas volcánicas son intruidas por el Batolito de Mandé, en otros puntos el contacto es fallado.

Correlaciones:

En el Complejo Santa Cecilia - La Equis se incluyen varias unidades litoestratigráficas, con rango de edad bastante amplio y solo se describe en la plancha 204 y trabajos posteriores, aunque sin las unidades sedimentarias detríticas. En la plancha 223 la continuación de la franja de este complejo no existe, en cambio se cartografiaron unidades independientes y se clasificaron como Basaltos de La Trinidad (Formación Barroso), Formación Consólida y Formación Lázaro (Miembros Nutibara y Urrao de la Formación Penderisco respectivamente). Esta inconsistencia entre las planchas hace necesario un trabajo de consolidación de información.

Plutón de El Pital

En la imagen de satélite se observa en la divisoria de aguas de los ríos Mondó y El Pital, un cuerpo de forma ovalada, que se interpretó como un cuerpo intrusivo. En los ríos Tamaná, El Pital y Mondó se encuentran abundantes bloques rodados de granodioritas, cuarzodioritas y de cornubianas que confirman esta interpretación. Este plutón intruye las rocas del Miembro Urrao.

Plutón del Torrá:

Aflora en el extremo este de la plancha sobre unos 70 km^2 y tiene en sus cercanías otros cuerpos menores y de composición similar los cuales se asumen como comagmáticos por sus características litológicas. Los afloramientos más accesibles se encuentran en la carretera San José del Palmar-Fiadó. La roca es holocristalina, fanerítica, de grano medio, compuesta por plagioclasa, hornblenda, cuarzo, feldespato de potasio y biotita. Se clasifica como cuarzomonzonita con facies granodioríticas. Es intrusiva sobre las rocas adyacentes, formando un halo de cornubianitas de espesor variable.

Pórfido Andesítico de la Cristalina:

Aflora sobre la quebrada Cristalina. La roca tiene color gris claro moteado blanco por la presencia en fenocristales de plagioclasa (30) embebidos en matriz cuarzo-feldespática y presenta alteración hidrotermal fílica en asociación con mineralización de sulfuros diseminados. Se considera que es una apófisis del plutón del Torrá.

4.1.1.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

FALLAS

Falla de San Pedro de Ingará: Esta estructura sale desde el río Suramita, en la Plancha 223, hasta el río Tamaná, en la Plancha 204, donde se observan estrías de fricción con rumbo N20ºE y luego prosigue hacia el norte por el río El Pital hasta la falla de la quebrada La Fiera. Esta falla pone en contacto los miembros Urrao y Nutibara de la Formación Penderisco. Se trata de una falla de cabalgamiento con el bloque este levantado, y el oeste hundido.

Falla Aguasal: Es una falla inversa que se presenta como un lineamiento fotogeológico, con rumbo N 15-20º E en la quebrada Las Peñas, que continúa hacia el norte por más de 40 km hasta la quebrada Amurrapá. Esta estructura pone en contacto las rocas del Miembro Urrao en el borde oriental, con rocas volcánicas del Complejo Santa Cecilia – La Equis en el occidental.

Falla Quebrada La Fiera: En la quebrada La Fiera se encuentra una falla sinestral con dirección N20º W y buzamiento 60º NE a vertical; se continúa como un lineamiento por un afluente del río Tamaná y las cabeceras del río El Pital hasta su intersección con la Falla Las Peñas. Hacia el sur, en la Plancha 223, se prolonga por la quebrada La Negra. Esta falla pone en contacto rocas del Miembro Urrao con el Miembro Nutibara y con los Basaltos de La Trinidad.

Falla Urábara: Es una estructura sinestral inferida por fotogeología con rumbo N50°W, observada entre las quebradas Urábara, Las Culebras y río Condoto (sitio El Paso); corta el Complejo Santa Cecilia - La Equis y pone en contacto a esta unidad con rocas terciarias.

Fallas de Río Blanco: Son dos fallas localizadas al centro-oeste de la plancha, una de ellas con desplazamiento dextro-lateral que a la vez tiene componente vertical.

PLEGAMIENTOS

Las rocas sedimentarias cretácicas se encuentran plegadas con ejes N 20-30º E. Son pliegues paralelos y en echelón con ángulos entre 20 y 60º. Son notorios los plegamientos de tipo concéntrico y chevrón de orden métrico en los chert con intercalaciones de segregaciones de cuarzo; éstos son menos frecuentes en el Miembro Urrao. El grado de deformación de estas rocas depende de su competencia; las más incompetentes presentan flujo plástico y plegamiento isoclinal con desarrollo de clivaje.

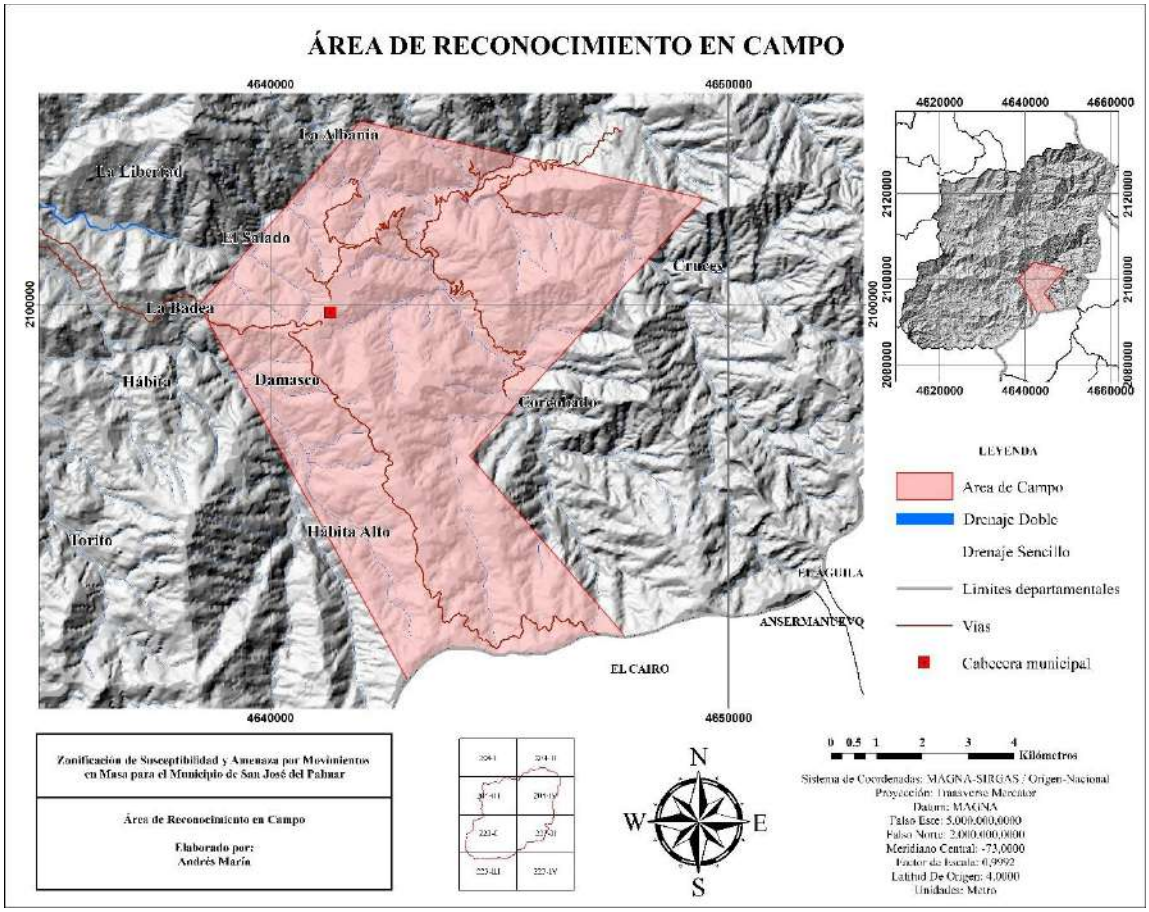
Una estructura anticlinal, que se prolonga por unos 5 km, va paralela al río Tamaná en el trayecto entre el río Cocotea y la quebrada Urábara. El flanco este presenta buzamientos de 25 a 60º al SE y el flanco oeste de 34 a 52º al NW.

La estructura sinclinal tiene unos 10 km de extensión y es paralela al río Irabubú en el tramo entre Juntas de Tamaná y quebrada La Salsa. El flanco este tiene buzamientos de 30 a 60º NW y el oeste de 48 a 65º SE.

4.1.2. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE FUENTE PRIMARIA

Esta cartografía fue obtenida a partir de estudios de campo en escala 1:25.000 de la cuenca media y alta del rio Ingará entre los ríos Cruces y Hábita, correspondiente a la zona de mayor concentración poblacional y con más densidad vial abarcando una extensión de 70 km^2 (Mapa 6). En el área restante del municipio no se realizó estudio cartográfico debido al difícil acceso por ser en su mayoría selva densamente poblada y por problemas de seguridad publica presentados en la fecha de realización de este estudio.

Mapa 6 Área de reconocimiento en campo



Fuente: Presente estudio

4.1.2.1. GEOLOGÍA ESTRATIGRÁFICA

En el área de estudio se logró determinar la existencia de cuatro unidades litológicas de las cuales tres corresponden a secuencias sedimentarias mientras que la restante es principalmente volcánica. Las unidades sedimentarias están conformadas por: una unidad de arcillolitas gruesas con capas y lentes delgados de arenitas, una unidad de arenitas de gran espesor y capas delgadas de arcillolitas negras y una unidad compuesta de Chert, calizas y arcillolitas en capas de bajo espesor. La unidad volcánica la conforma franjas de basaltos, andesitas y diabasas.

Unidad de lodolitas gruesas y arenitas delgadas

Lo conforma una secuencia de arcillolitas, limolitas de espesores variados y arenitas de grano medio y fino con espesores de 5 a 20 cm generalmente en lentes, intercaladas con algunas zonas gruesas de lutitas carbonosas y ocasionalmente pequeños estratos de chert.

Lutitas: Son de color negro y granos de tamaño arcilla, presenta alta fisilidad y se encuentra comúnmente muy alterada formando lodazales y propiciando la formación de movimientos en masa y se encuentran generalmente intercaladas con arenitas (Imagen 4).

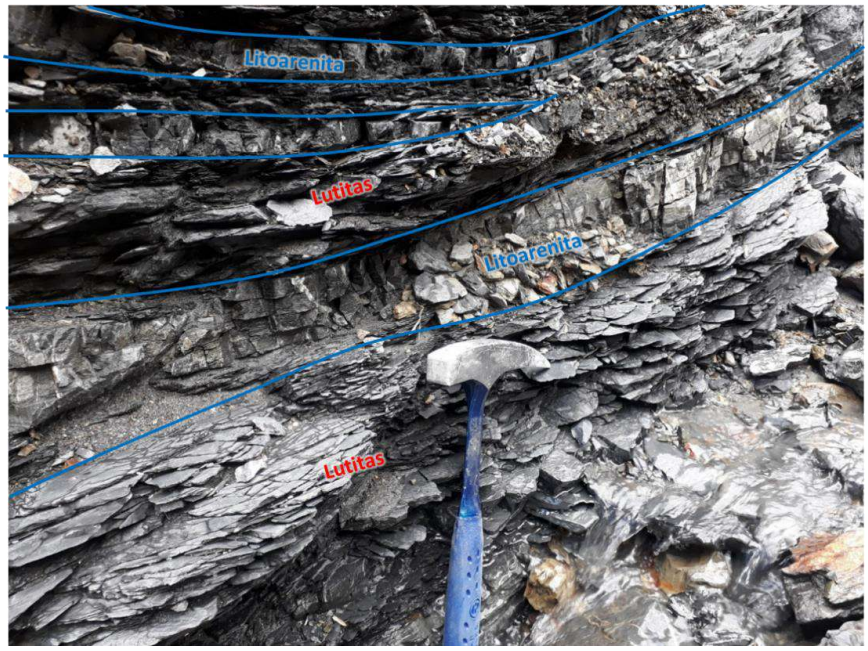
Se encuentra cerca a la cabecera municipal en el lecho de los arroyos que desembocan en la cuenca superior de la quebrada Sinifaná, favoreciendo, entre otros factores, la formación de los movimientos en masa observados por su rápida meteorización al contacto con el agua (Imagen 5).

Arcillolitas y limolitas: Se presentan en capas delgadas, a muy gruesas llegando a medir varias decenas de metros, intercaladas generalmente con litoarenitas.

Las arcillolitas y limolitas son de color gris claro, oscuro y verdosas con meteorización a tonalidades rojizas y amarillentas, presenta bandeamientos oscuros y claros entre 1 y 5 mm por la presencia granos tamaño arena y limo (Imagen 6), y exhibe señales de bioturbación en las capas de arcillolitas con cavidades rellenas de limolitas grises oscuras a negras. Estas capas

presentan contactos planares y ondulados con grado de litificación variable generalmente alta.

Imagen 4 Detalle de intercalación de lutitas y arenitas



Fuente: Presente estudio

Imagen 5 Movimientos en masa en la Quebrada Sinifaná

Fuente: Presente estudio

Imagen 6 Detalle de bandeamiento en arcillolita gris oscura

Fuente: Presente estudio

Estas rocas presentan fuerte diaclasamiento especialmente en las capas de espesores métricos mientras que en los espesores medios y pequeños es común un grado de fracturación media y alta acompañado de pobres superficies.

Arenitas: Corresponden principalmente a litoarenitas y sublitoarenitas de color gris claro a oscuro con alta litificación. Son de grano medio a fino, subangulares a subredondeados bien seleccionadas y compuestas principalmente por cuarzo y líticos negros, presentan variaciones en los porcentajes de composición intracapas formando bandeamientos por zonas más líticas (oscuras) o más cuarzosas (claras).
Composición: Cuarzo (45-65%), líticos (30-50%), feldespatos (5-15%), micas (moscovita?) (0-1%).

Se encuentran intercaladas con arcillolitas y limolitas en contactos netos y ondulados dispuestos en forma tabular y lenticular en capas delgadas

generalmente centimétricas (5-10 cm), llegando en algunas zonas a medir hasta 50cm.

Imagen 7 Estratificación de lodolitas y arenitas

Fuente: Presente estudio

Esta unidad se encuentra distribuida en el 73% de la zona estudiada especialmente en la región occidental y por correspondencia espacial y litológica esta pertenece al miembro Urrao de la Formación Penderisco.

Unidad de lodolitas oscuras y arenitas masivas:

Es característica de esta unidad la presencia de grandes bloques de arenita intercaladas con capas medias y delgadas de lodolitas negras muy silíceas y la alta litificación de las rocas que la conforman, lo cual representa una mayor resistencia a la erosión y meteorización que la unidad anterior.

Lodolitas: Son de color gris oscura a negro, físiles, bien litificadas. Presenta localmente pirita diseminada y zonaciones de arena fina también con mineralizaciones de pirita. (Imagen 8). Se organiza de forma tabular y

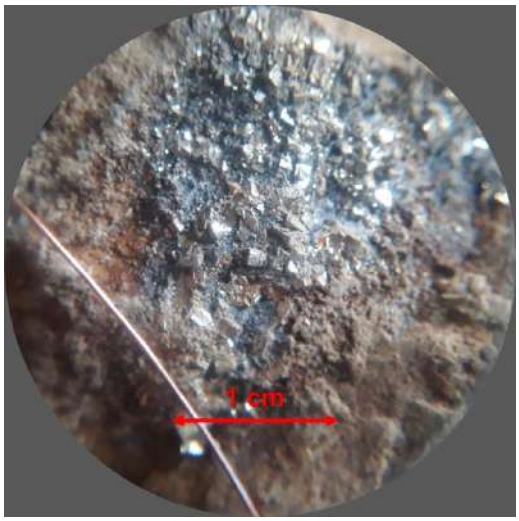
ondulada en estratos generalmente inferiores a 1m entre las capas mayores de arenitas.

A pesar de tener un alto grado de litificación son más susceptibles a la meteorización y erosión que las capas de arenitas que las subyacen o suprayacen ocasionando por esto planos de inestabilidad en zonas con estratificación a favor de las laderas, por lo cual es común encontrar bloques tabulares de arenitas caídos (Imagen 9).

Arenitas: Capas masivas de litoarenitas y sublitoarenitas grises generalmente entre 1 y 20 metros intercaladas con las lodolitas negras y localmente con lodolitas grises claras de menor dureza. Están conformadas por granos de tamaño medio y fino bien seleccionada y subangulares. Compuesta por Cuarzo (40-70%), líticos negros (30-50%), feldespatos (5-10), y otros (micas, pirita)(<1%).

Estas se encuentran principalmente en la cuenca alta del rio Cruces y Corcovado y en algunas franjas en la vía San José del Palmar – Cartago, sin embargo, debido a la limitada extensión del área estudiada no es posible determinar su continuidad en el municipio.

Imagen 8 Mineralización de pirita en zonaciones de lodolitas. Rio Cruces



Fuente: Presente estudio

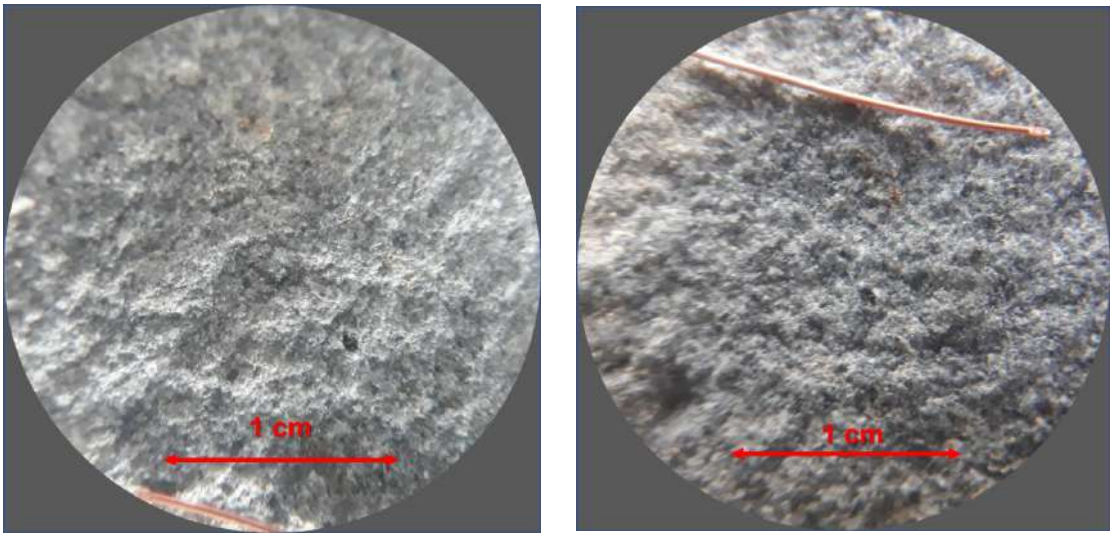
Estos estratos presentan una alta resistencia a la erosión y generalmente forman zonas de alta pendiente. No es común que estén relacionadas con movimientos en masa importantes salvo en algunos desprendimientos de bloques.

Imagen 9 Bloque de arenita caído

Fuente: Presente estudio

Imagen 10 Detalle de arenitas

a. Litoarenita en vía a Corcovado *b. Litoarenita en vía Palmar – Cartago*



Fuente: Presente estudio

Imagen 11 Litoarenitas en estratos de gran espesor. Rio Cruces

Fuente: Presente estudio

Esta unidad ocupa el 5% del área estudiada ubicada en la región oriental de la misma en segmentos orientados SW-NE. Al igual que la unidad anterior esta unidad está relacionada con el miembro Urrao de la Formación Penderisco por su composición de lodolitas y arenitas, sin embargo, durante el estudio de campo esta litología se clasificó como una unidad independiente debido a las diferencias marcadas en las proporciones de arenitas y tipos de lodolitas.

Unidad de chert y calizas

Esta unidad se distribuye en franjas estrechas con tendencias aproximadas N-S y está conformada principalmente por Chert y calizas con algunas intercalaciones de lodolitas grises en capas delgadas. (Imagen 12).

> **Chert:** conforma láminas delgadas y medias de entre 3 y 15 cm de espesor, de color negro, gris y verde, con venillas de cuarzo de color marrón y localmente pirita. De igual forma se presentan intercalaciones de calizas, limolitas, lodolitas generalmente menores de 2 cm y ocasionalmente con rocas ígneas basálticas.

Calizas: se encuentran dispuestas en capas medias a delgadas intercaladas con estratos de chert y limolitas. Las calizas son de color gris claro a medio, verde y pardo oscuro, con capas masivas presentando pirita diseminada.

Arcillolitas: En el área de estudio las arcillolitas se encuentran en capas delgadas, normalmente menores a 2 cm, de color negro, gris oscuro a gris claro, formando bandas de coloración y entre los estratos de esta roca se observan láminas planas medias y discontinuas de limolitas silíceas carbonosas, de color gris.

Los chert y calizas tiende a formar laderas estables y sumado a condiciones de buzamiento contrapendiente puede formar taludes semiverticales como el observado en la Imagen 13. Esta unidad ocupa el 13% del área estudiada y corresponde al Miembro Nutibara de la Formación Penderisco debido a su conexión litológica. En contraste con la geología existente se cartografiaron nuevas franjas de esta unidad y se delimitaron nuevas zonas de contacto.

Imagen 12 Afloramiento de unidad de chert y calizas en vía Palmar - Cartago

Fuente: Presente estudio

Imagen 13 Talud en vía Palmar - Cartago

Fuente: Presente estudio

Unidad volcánica

Basaltos: son de color verde grisáceo, con amígdalas de color verde menores a 1 mm flotando en matriz totalmente afanítica. Se presentan venillas de color blanco y gris cortando la roca. (Imagen 14)

Diabasas: roca ígnea subvolcánica de color verde grisácea, fanerítica de grano fino, microgranular, constituida por plagioclasa y máficos en proporciones similares, presenta venillas de color blanco, ocasionalmente contienen minerales de pirita fina diseminada.

Esta unidad ocupa el 9% del área estudiada formando franjas SW-NE y debido a su conexión litológica esta unidad está relacionada con la Formación Barroso.

Imagen 14 Basaltos. Rio Cruces

Fuente: Presente estudio

4.1.2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

FALLAS

Falla de Sinifaná: falla de cabalgamiento registrado en la quebrada Sinifaná cerca a la cabecera municipal. Esta se registra sobre la unidad de lodolitas y arenitas delgadas y presenta una orientación N40-67E con buzamiento al NW. (Imagen 15).

Fallas de Mojahuevos: corresponde a dos fallas con orientaciones aproximadas N58-65E cercana a la quebrada Mojahuevos que afecta a la unidad de lodolitas y arenitas delgadas.

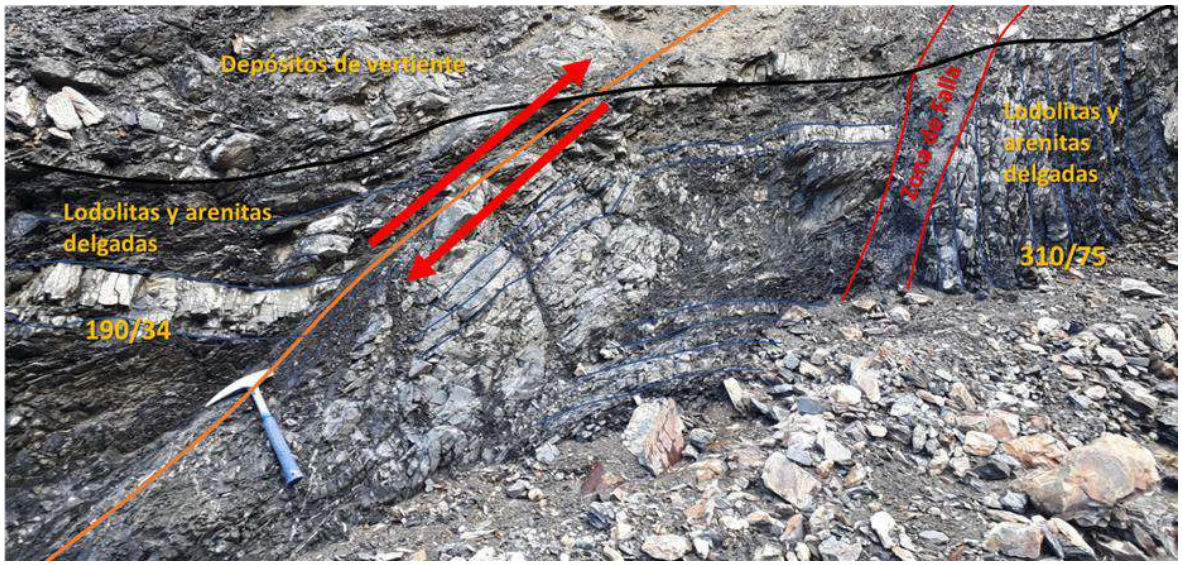
Falla del Tabor: corresponde a una falla de cabalgamiento de orientación aproximada N57-77E con buzamiento al NW, la cual pone en contacto a alas unidades de chert y calizas con la unidad de lodolitas y arenitas delgadas. En la vía

San José del Palmar- Cartago provoca constantes afectaciones en el lugar de su cruce por deslizamientos que obstaculizan la carretera.

Falla de corcovado: es una falla inferida con orientación aproximada N30-45W que se ubica a lo largo del cauce del rio Corcovado y que afecta y pone en contacto las tres unidades identificadas en campo salvo la conformada por arenitas de gran espesor.

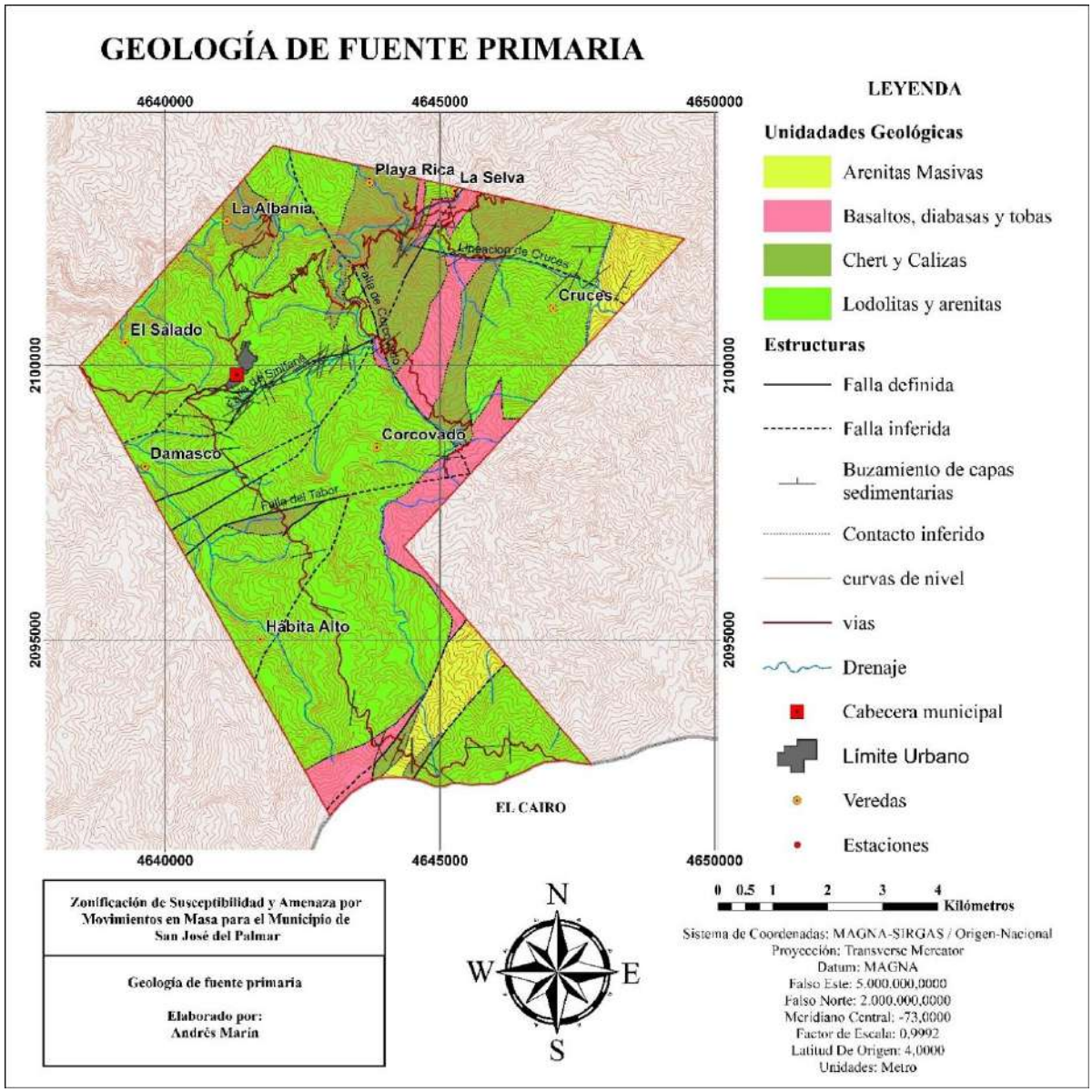
Lineación de cruces: corresponde a una lineación con orientación N65-80W sobre el cauce del rio Cruces. Esta estructura afecta las cuatro unidades estudiadas en campo y mencionadas anteriormente.

Imagen 15 Zona de falla en la quebrada Sinifaná



Fuente: Presente estudio

Mapa 7 Cartografía geológica en área de estudio

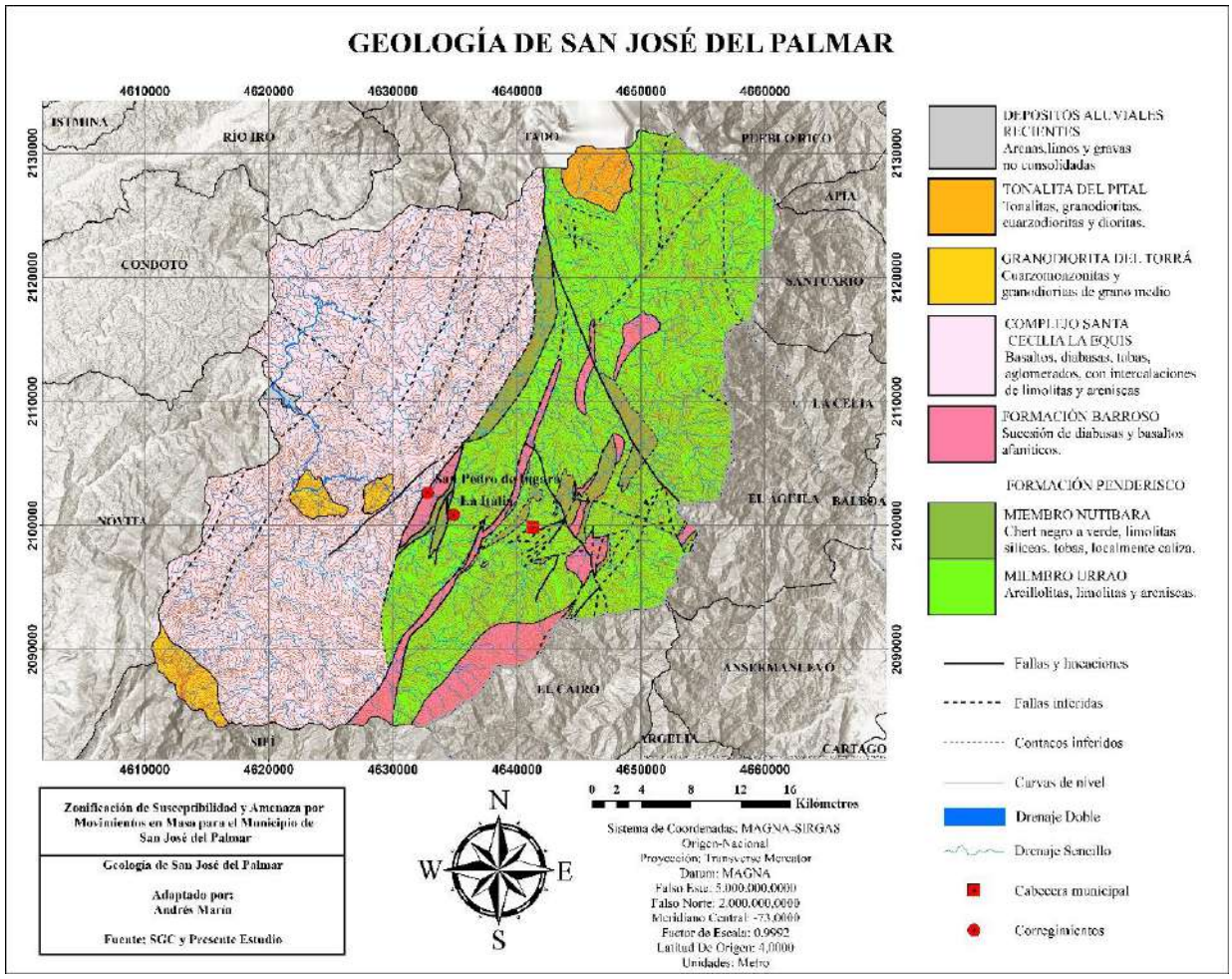


Fuente: presente estudio

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE SAN JOSÉ DEL PALMAR

A partir de la información secundaria recolectada y la cartografía realizada en el presente trabajo se sintetizó la distribución geológica del municipio mostrada en el Mapa 8.

Mapa 8 Cartografía geológica de San José del Palmar



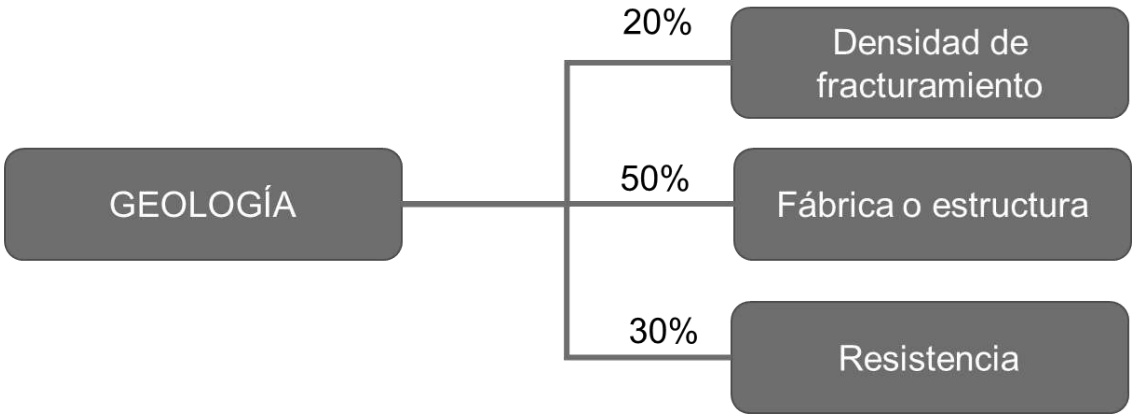
Fuente: SGC y presente estudio

4.1.3. VALORACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA

Para realizar este análisis se tomó como base el Mapa 8 obtenido a partir de las planchas geológicas 204 y 223, estudios independientes posteriores y recolección de información directa de campo como se describe en el numeral anterior.

Dentro de la variable de geología se evalúan los parámetros de densidad de fracturamiento, resistencia y fabrica o estructura de las rocas para determinar su influencia en el desarrollo de movimientos en masa. El peso de cada uno de estos parámetros para determinar la susceptibilidad total por geología se muestra en la Figura 6.

Figura 6 Calificación de atributos de geología en análisis de susceptibilidad

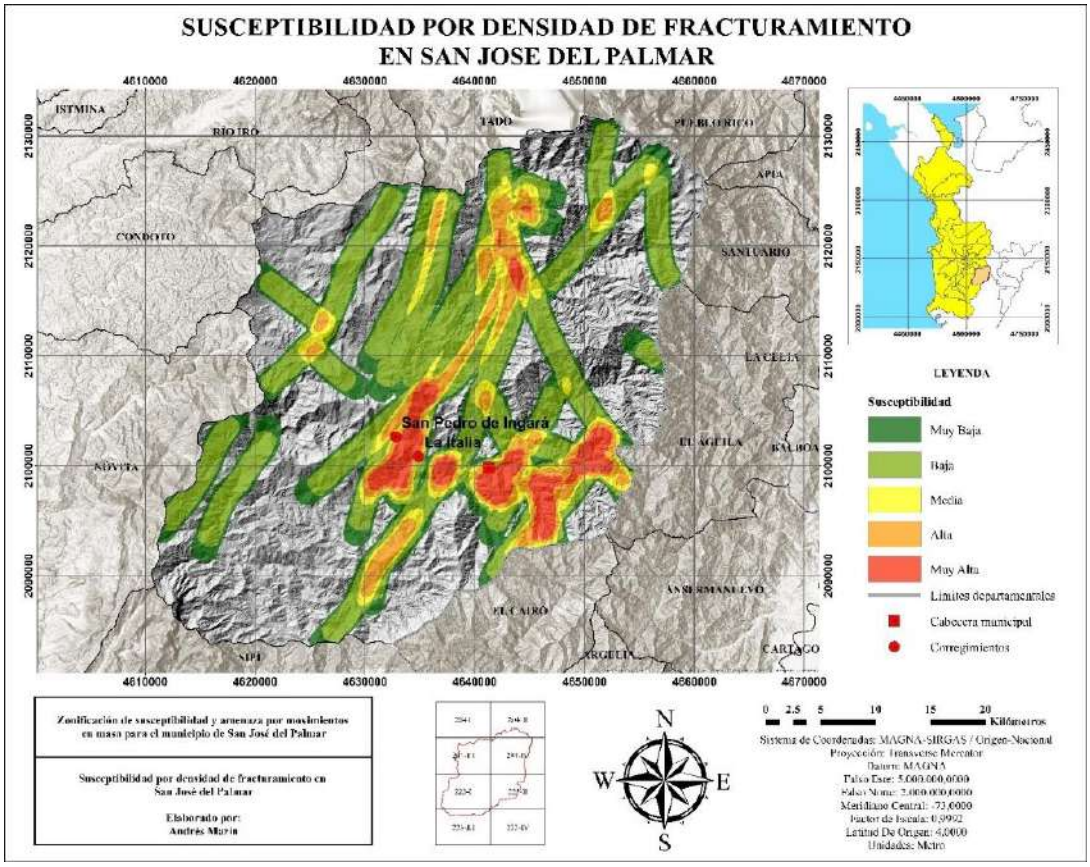


Fuente: (SGC, 2013)

4.1.3.1. DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO

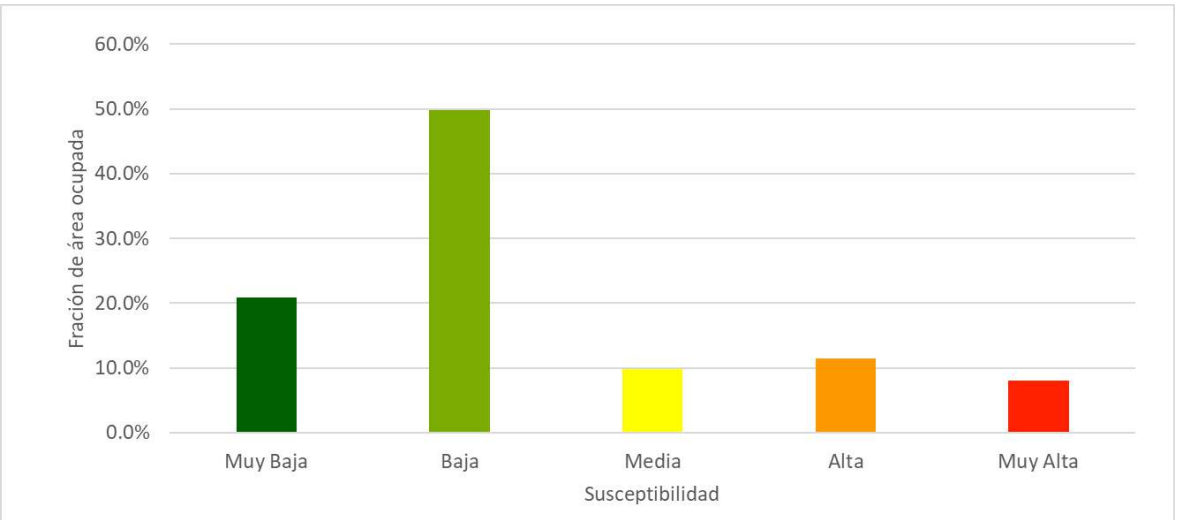
El método utilizado para calcular la densidad de fracturamiento es el algoritmo line Density de ArcInfo, el cual es expresado en metros por kilómetro cuadrado, este método calcula la densidad de líneas en la vecindad de cada pixel definida por un radio de búsqueda, para esto a partir de cada centro se dibuja un círculo de radio R, se toma la longitud de la línea de falla que cae dentro de este círculo y se multiplica por el peso de la actividad, la suma total se divide entre el área del círculo. Debido a que no se contó con información bibliográfica de registros de las tasas de desplazamiento de las estructuras con deformaciones en el Cuaternario, la cual indica que a mayor tasa de desplazamiento hay un mayor grado de fracturamiento, se asignó un peso de 7 a fallas como lo recomienda el Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 del SGC.

Mapa 9 Susceptibilidad por densidad de fracturamiento



Fuente: Presente estudio

Figura 7 Distribución de susceptibilidad por fracturamiento



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad media, alta y muy alta: corresponde a las zonas de mayor concentración de fallas especialmente en la zona centro-oriental y cercanas a los principales centros poblados. Existen tres puntos de especial interés, el primero ubicado entre La Italia y San Pedro de Ingará, el segunda cerca de la cabecera municipal ligado a las fallas de la quebrada Sinifaná y el tercero en las veredas corcovado y La Selva. En total representan el 29.2 % del área estudiada con 244 km^2.

Susceptibilidad baja: este representa el grado de mayor presencia en las zonas con distancias inferiores a 1250 metros de las fallas. Se concentran principalmente en las zonas norte y oeste donde la densidad de las fallas registradas es relativamente baja. Esta calificación se le asigna al 50% del área estudiada con 415 km^2 aproximadamente.

Susceptibilidad muy baja: este grado de susceptibilidad está presente en las zonas más alejadas de las fallas en las franjas analizadas y se distribuye de forma regular en todo el municipio salvo en las zonas donde no se encuentra registro. Esta calificación representa el 20.8% del área estudiada con aproximadamente 173 km^2.

DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO EN ÁREAS DE INTERÉS

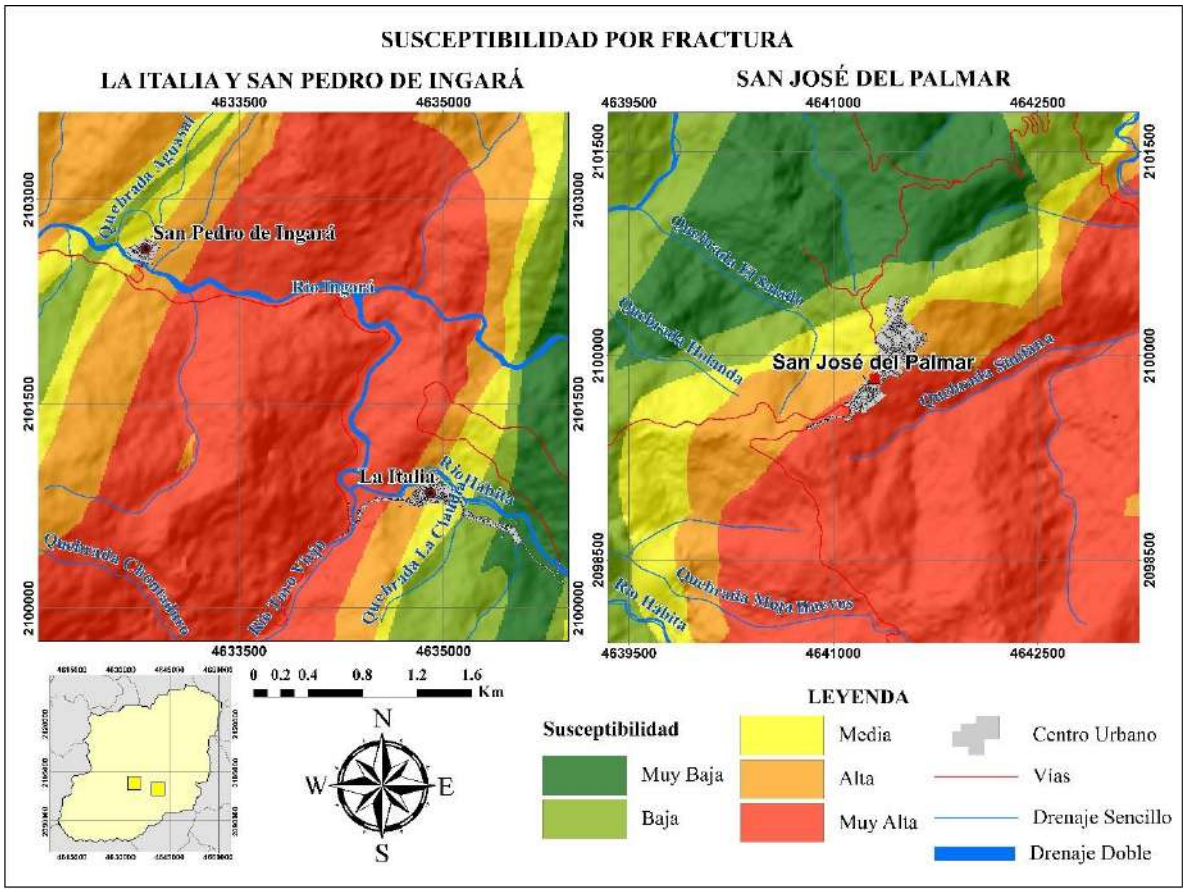
Susceptibilidad Muy Alta: esta calificación se aplicó a las zonas que presentan varias fallas cercanas entre sí y que en consecuencia tienen un mayor grado de fracturamiento. Cerca de la cabecera municipal se presenta una convergencia de fallas ligadas a la quebrada Sinifaná que genera una amplia zona de muy alta susceptibilidad que incluye parte importante del casco urbano, en total esta calificación la presenta el 42% del área enmarcada. En la zona delimitada para los corregimientos esta susceptibilidad se le asignó al 61%, la cual está ligada a la presencia de las fallas entre San Pedro de Ingará y la vereda Valencia.

Susceptibilidad Media y Alta: estos grados de susceptibilidad se distribuyen en halos alrededor de las zonas más cercanas a las fallas registradas. El casco urbano municipal se encuentra en su mayoría sobre terreno con esta calificación, mientras que del área aledaña a este el 24% presenta alguna de estas susceptibilidades.

Respecto a los corregimientos tanto en La Italia como en San Pedro de Ingará el área urbana presenta casi en su totalidad susceptibilidades medias o altas, mientras que en las regiones cercanas estas calificaciones se le asignan al 28% del territorio.

Susceptibilidad Muy Baja y baja: estas se encuentran distribuidas principalmente en las zonas aledañas a la cabecera municipal entre la Quebrada La Holanda y la vía hacia la vereda La Selva y La Albania, zona que no presenta fallas registradas relativamente cerca y que representa el 23% y el 11% del área enmarcada respectivamente. En la región en donde se ubican los corregimientos este grado de susceptibilidad se le aplica a aproximadamente el 4% y 7% del área delimitada respectivamente y se distribuye principalmente al este de La Italia.

Mapa 10 Susceptibilidad por densidad de fracturamiento en áreas de interés



Fuente: presente estudio

4.1.3.2. FÁBRICA Y/O ESTRUCTURA

Según Mitchel el término fábrica “se refiere al arreglo de las partículas, grupos de partículas y espacios vacíos en un suelo”. La orientación de las partículas o fábrica, define el comportamiento de suelos y rocas bajo las fuerzas a las que pueden estar sometidos, dado que controla la anisotropía de las propiedades geomecánicas.

La fábrica tiene gran influencia en el comportamiento de los suelos y rocas, la clasificación de las rocas según su fábrica/estructura, puede servir para establecer diferencias de las rocas en cuanto a su resistencia y direccionalidad de las propiedades mecánicas. (SGC, 2013).

Tabla 4 Calificación propuesta para tipo de fábrica

Atributo	Propuesta de Calificación
N/A	0
Cristalina Masiva	1
Cristalina Bandeadas	2
Clasticas Cementadas	3
Clasticas Consolidadas	4
Cristalina Foliada y Rocas de falla	5

Fuente: (INGEOMINAS, 2009)

Tabla 5 Calificación asignada por tipo de fabrica

Unidad	Fábrica	Calificación	Categoría
Pórfido Andesítico de La Cristalina	Cristalina masiva	1	Muy Baja
Granodiorita de Torrá	Cristalina masiva	1	Muy Baja
Basaltos de La Trinidad	Cristalina masiva	1	Muy Baja
Tonalita del Pital	Cristalina masiva	1	Muy Baja
Complejo Santa Cecilia-La Equis	Clástica cementada	3	Media
Formación Penderisco - Miembro Urrao	Clásticas consolidadas	4	Alta
Formación Penderisco - Miembro Nutibara	Cristalina foliada	5	Muy Alta

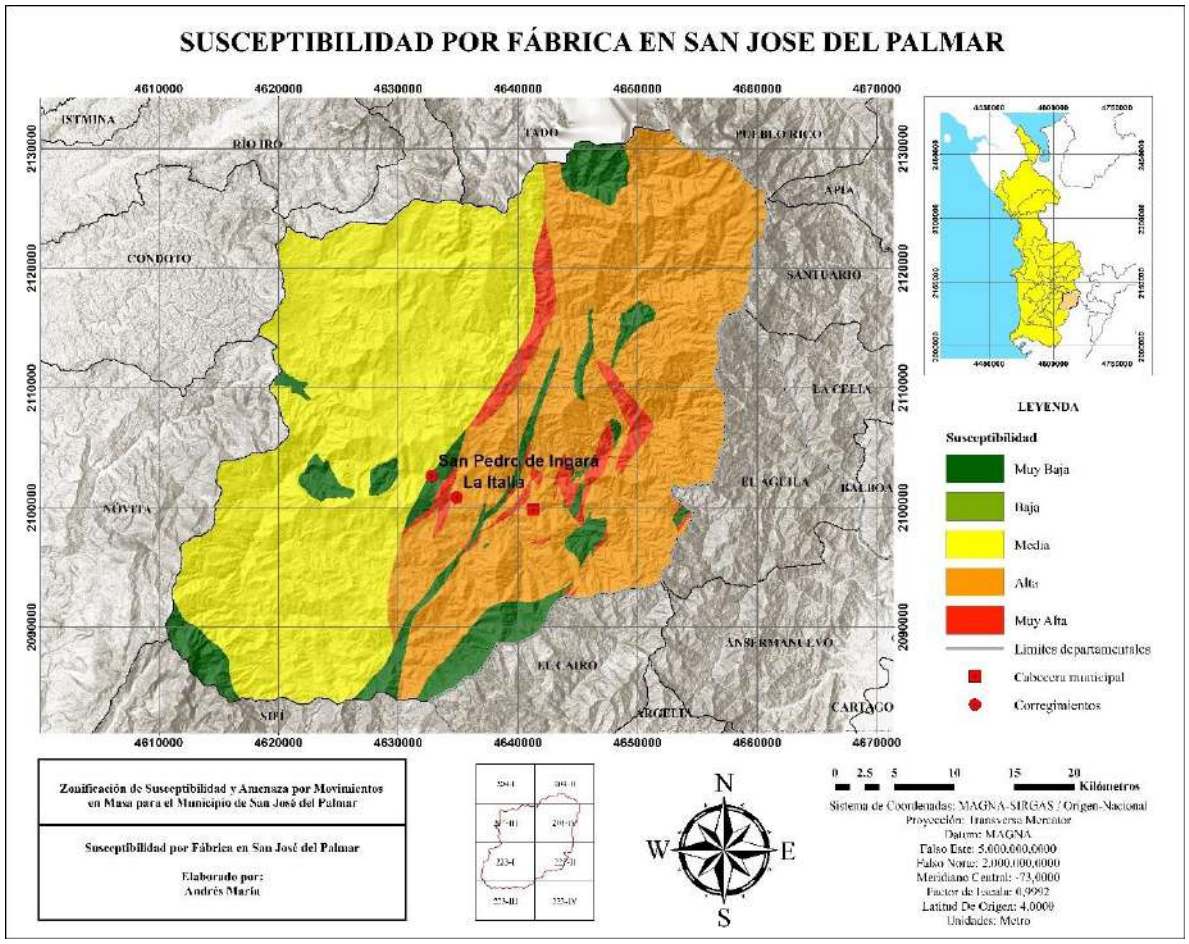
Fuente: presente estudio

Tabla 6 Textura/Fabrica de las rocas.

TEXTURA/FABRICA	CARACTERISTICAS
Cristalina Masiva	En rocas de cualquier origen (ígneo, metamórfico o sedimentario) cuyas partículas minerales están entrabadas y con orientación aleatoria. Corresponde a las rocas más resistentes y menos deformables, salvo las rocas volcánicas cuya calidad es un poco dispersa según sean porosas o no lo sean. Ejemplos: granitos, basaltos, calizas, chert, cuarcitas y mármoles.
Cristalina Foliada y Rocas de falla	En rocas cuyas partículas minerales están mecánicamente entrelazadas, con una orientación preferencial a lo largo de la cual las rocas son menos resistentes. Su calidad se dispersa como consecuencia de su fábrica orientada, es decir, por los planos de esquistosidad y foliación. Ejemplos: Pizarras, filitas, esquistos, milonitas.
Crsitalinas Bandeadas	En rocas cuyas partículas minerales están mecánicamente entrelazadas, conformando bandas composicionales con alguna influencia direccional. Ejemplo: Neis.
Clasticas Cementadas	En rocas con partículas cementadas, con resistencia y deformación variable, dependiendo de la calidad del material cementante, la relación matriz-clastos y el grado de empaquetamiento general que posea. Ejemplos: areniscas, conglomerados.
Clasticas Consolidadas	En estas rocas se presenta comportamiento variable esfuerzo-deformación, con direccionalidad de sus propiedades mecánicas. La resistencia se acrecienta con el grado de consolidación diagenética. Ejemplos: arcillolitas, lodolitas, shales.

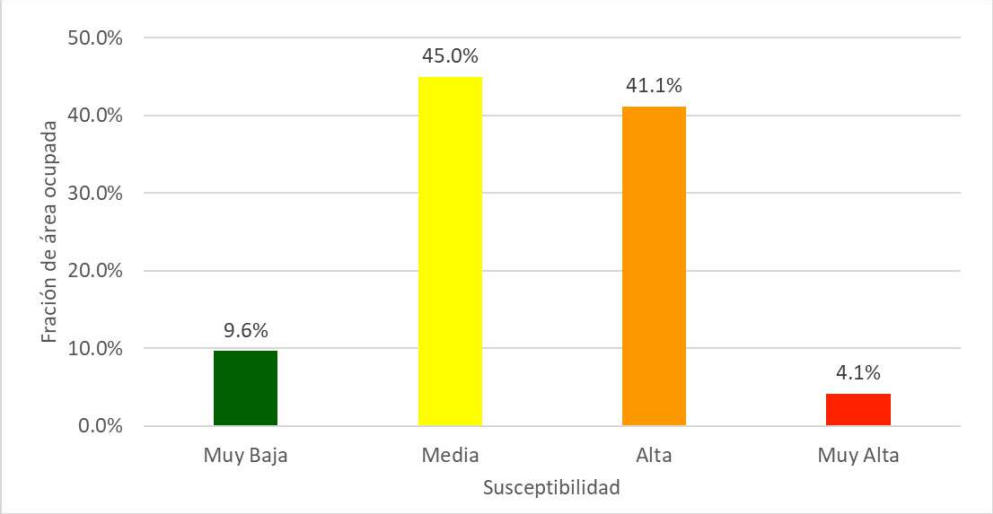
Fuente: (INGEOMINAS, 2004)

Mapa 11 Susceptibilidad por tipo de fábrica



Fuente: presente estudio

Figura 8 Distribución de susceptibilidad por fábrica



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad Muy Alta: este es el grado de susceptibilidad con menor presencia dentro del municipio y se le asignó al Miembro Nutibara de la Formación Penderisco que ocupa aproximadamente 62 km^2 equivalente al 4% del área municipal.

Susceptibilidad Alta: este grado de susceptibilidad que representa el segundo en importancia referente a la fábrica se le asignó a la unidad arcillo-arenosa de la Formación Penderisco denominada Miembro Urrao, el cual ocupa el 41% del área estudiada con 650 km^2.

Susceptibilidad Media: esta susceptibilidad es la de mayor presencia en el área municipal con el 45% de esta, correspondiente a 712 km^2. Esta calificación se le asigna al complejo Santa Cecilia - La Equis, el cual se distribuye en la mayor parte de la región occidental del municipio partiendo desde el corregimiento de San Pedro de Ingará.

Susceptibilidad Muy Baja: esta calificación se les aplica a las unidades geológicas compuestas principalmente por rocas cristalinas masivas. En el municipio estas rocas se encuentran en la Formación Barroso que se extiende en bandas en dirección SW-NE al oriente del municipio, en la granodiorita del Torrá y sus apófisis ubicadas en el cerro del mismo nombre y entre la vereda Suramita y el corregimiento de San Pedro de Ingará, en la Tonalita del Pital en el extremo norte y en el Pórfido de la Cristalina en la vereda Hábita. Este grado de susceptibilidad corresponde al 9.6% del área estudiada equivalente a 152km^2.

FÁBRICA EN ÁREAS DE INTERÉS

Susceptibilidad Muy Alta: esta calificación se le asignó al miembro Nutibara de la Formación Penderisco que cerca de la cabecera municipal ocupa el 12% del área, mientras que en el área delimitada para los corregimientos esta proporción representa el 29%.

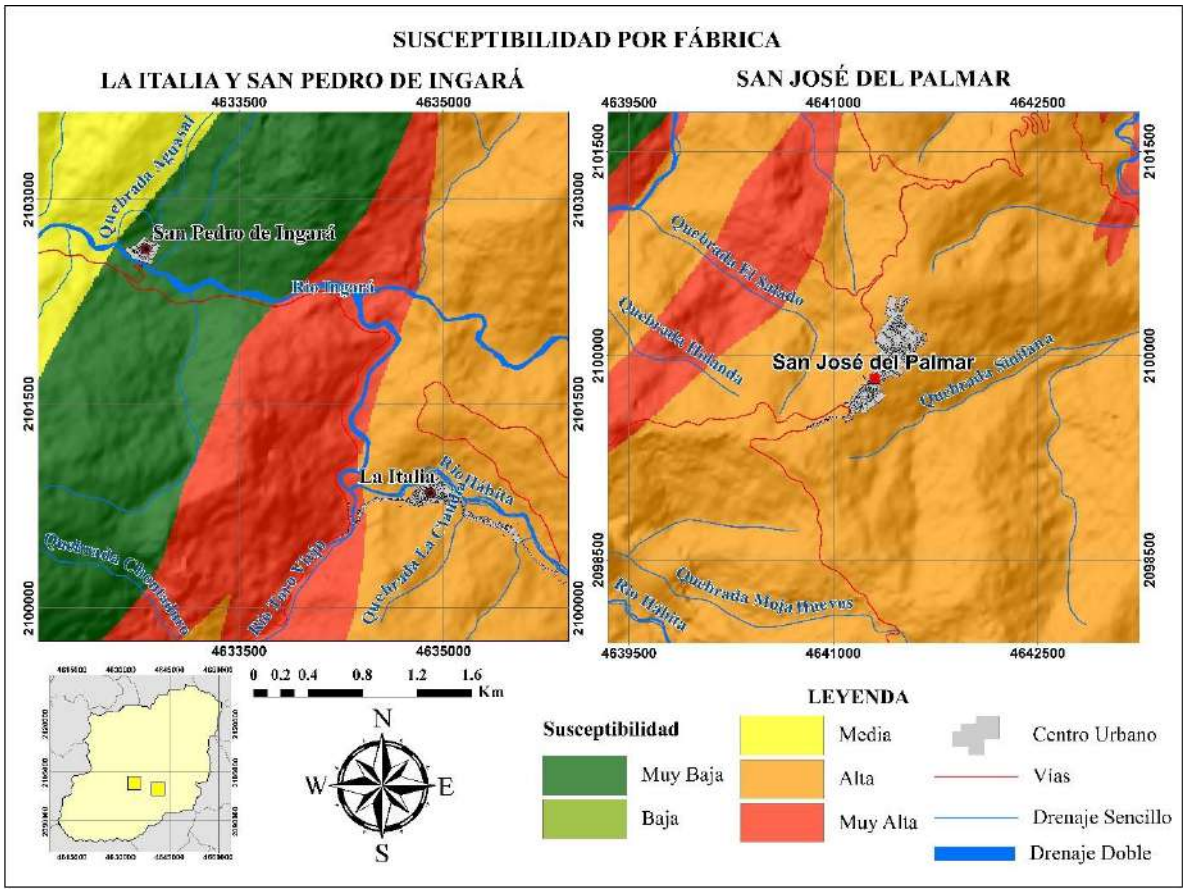
Susceptibilidad Alta: tanto en las zonas aledañas a la cabecera municipal como a los corregimientos se puede observar esta calificación aplicada al Miembro Urrao de la Formación Penderisco. Cerca al casco urbano de San José del Palmar el 88%

del territorio presenta esta susceptibilidad, mientras que cerca a la Italia y San Pedro de Ingará es el 32% del área.

Susceptibilidad Media: al igual que la calificación anterior esta se presenta en la zona de los corregimientos en donde se le asigna al Complejo Santa Cecilia – La Equis, la cual representa el 5% del área enmarcada.

Susceptibilidad Muy Baja: este grado de susceptibilidad se presenta principalmente en el área delimitada para los corregimientos en donde se aplica sobre la formación Barroso que se extiende aproximadamente N-S cerca a San Pedro de Ingará. en esta zona esta calificación representa el 34% del área total.

Mapa 12 Susceptibilidad por fabrica en áreas de interés



Fuente: presente estudio

4.1.3.3. RESISTENCIA

Las propiedades mecánicas incluyen la resistencia a la compresión, impacto y penetración por otro cuerpo, estas propiedades que en última instancia resultan de la composición química y mineralógica de los materiales, de su textura y de su estructura, permiten caracterizar la resistencia de los materiales a los agentes de deterioro (SGC, 2013).

Tabla 7 Categorías de resistencia a la compresión simple de las rocas

Grado	Definición	Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa)	Índice de carga puntual (MPa)	Estimacion en terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Dura	>250	>10	Al golperar con el martillo geológico la muestra sólo puede causar astillamiento superficial	Basalto fresco, Chert, Diabasa, Gneis, Granito, Cuarcita
R5	Muy Dura	100 - 250	4 - 10	La muestra requiere mas de un golpe con el martillo geológico para fracturarse	Anfibolita, Arenisca, Basalto, Gabro, Gneis,Granodiorita, Caliza, Marmol, Riolita, Toba.
R4	Dura	50 - 100	2 - 4	La muestra requiere mas de un golpe con el martillo geológico para que se fracturarse	Caliza, Marmol,Filita, Arenisca, Esquisto, Shale
R3	Medianamente Dura	25 - 50	1 - 2	La muestra puede fracturarse con un unico golpe del martillo geológico, pero no es posible rayar la roca con la navaja	Arcillolita, Carbón, Concreto, Esquisto, Shale, Limonita
R2	Débil	5 - 25	**	Al golpear la muestra una sola vez con la punta del martillo geológico deja una hendidura superficial. La roca puede ser rayada con una navaja pero con dificultad	Caliche, Halita,Potasa
R1	Muy Débil	1 - 5	**	La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser rayada con una navaja	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0.25 - 1	**	La muestra puede hundirse con la uña del pulgar	Harina de falla dura

Fuente: (SGC, 2013)

A partir de la cartografía geológica obtenida se caracterizó las rocas aflorantes en el municipio a partir de la recopilación bibliográfica de la Resistencia de las rocas colombianas determinada por ensayos de compresión simple; los rangos de referencia utilizados son los de Hooke 1996 (Tabla 7).

Tabla 8 Calificación propuesta para la resistencia litológica

Grado	Término	Propuesta de Calificación
R6	Extremadamente dura	1
R5	Muy dura	1
R4	Dura	2
R3	Moderadamente dura	3
R2	Blanda	4
R1	Muy blanda	5
R0	Extremadamente blanda	5

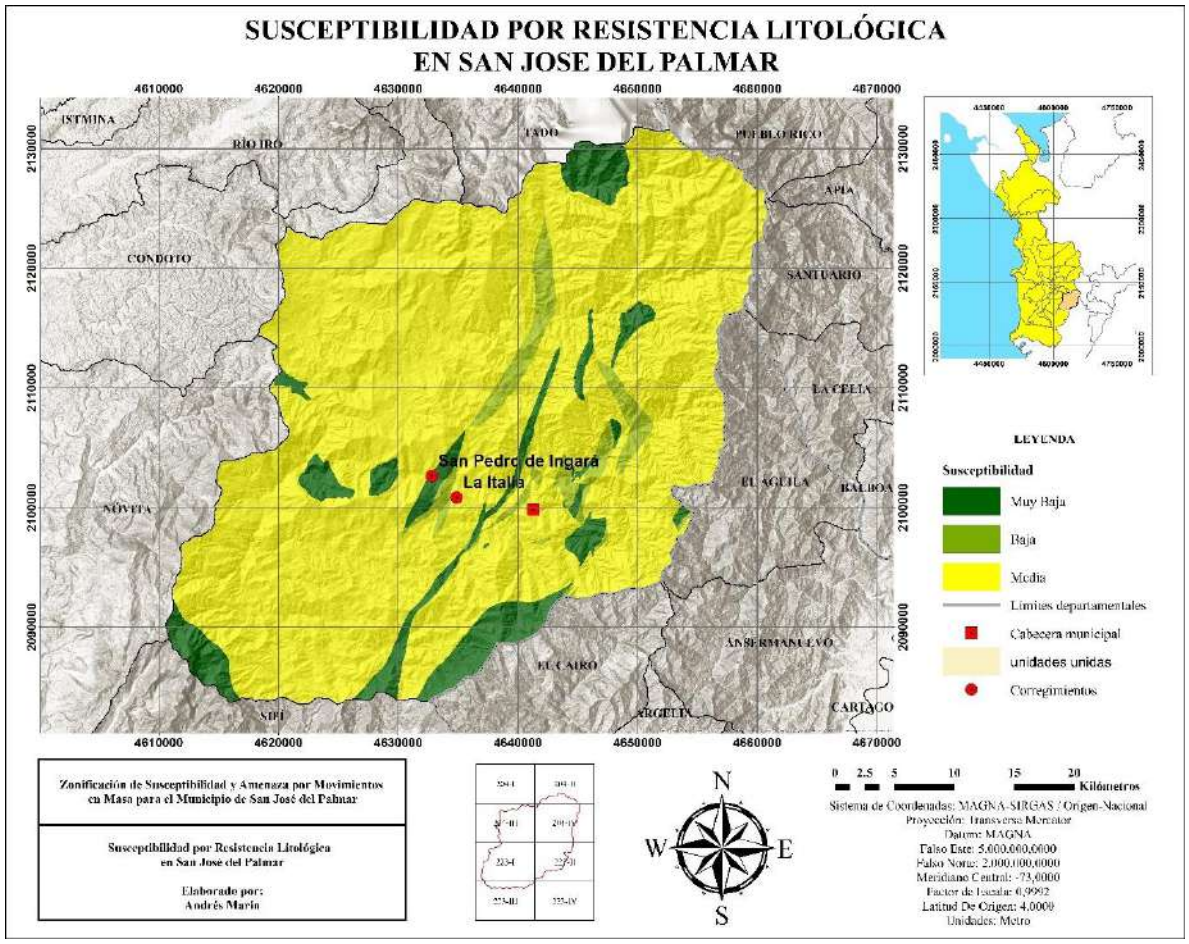
Fuente: (SGC, 2013)

Tabla 9 Calificación asignada a las unidades litológicas por su resistencia

Unidad	Calificación	Categoría
Pórfido Andesítico de La Cristalina	1	Muy Baja
Granodiorita de Torrá	1	Muy Baja
Formación Barroso	1	Muy Baja
Tonalita del Pital	1	Muy Baja
Formación Penderisco - Miembro Nutibara	2	Muy Alta
Complejo Santa Cecilia-La Equis	3	Media
Formación Penderisco - Miembro Urrao	3	Alta

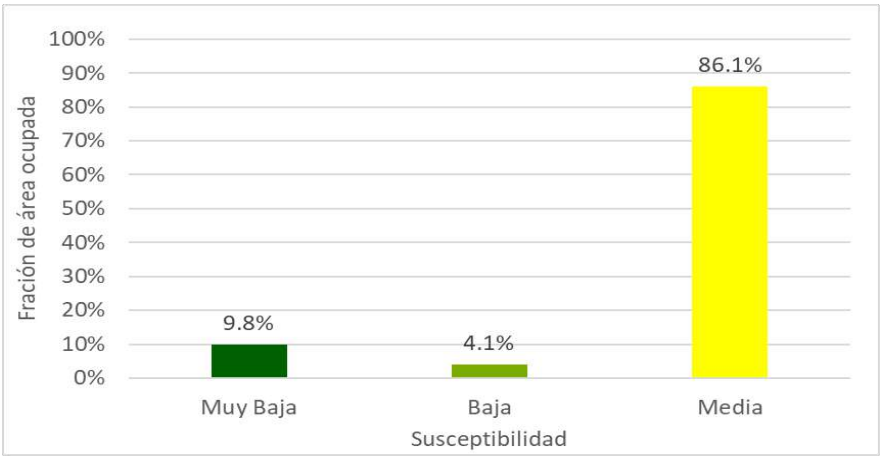
Fuente: presente estudio

Mapa 13 Susceptibilidad por resistencia litológica



Fuente: presente estudio

Figura 9 Distribución de susceptibilidad por resistencia litológica



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad Media: este grado de susceptibilidad es el de mayor presencia en el área municipal debido a que se le aplica sobre las dos unidades geológicas de mayor extensión en el área estudiada, el Complejo Santa Cecilia – La Equis y el miembro Urrao de la Formación Penderisco. Estas unidades se distribuyen por cerca del 86% del área total con una equivalencia de 1362 km^2.

Susceptibilidad Baja: esta calificación se aplicó al miembro Nutibara de la Formación Penderisco conformada por rocas en promedio duras. Esta unidad abarca el 4% del área estudiada con 65 km^2.

Susceptibilidad Muy Baja: este grado de susceptibilidad se les aplica a las unidades geológicas que están compuestas principalmente por rocas duras y muy duras. En el municipio estas unidades están conformadas por la Granodiorita del Torrá, la Tonalita del Pital, el Pórfido de la Cristalina y por la Formación Barroso, las cuales ocupan aproximadamente el 10% del área total estudiada con 155 km^2.

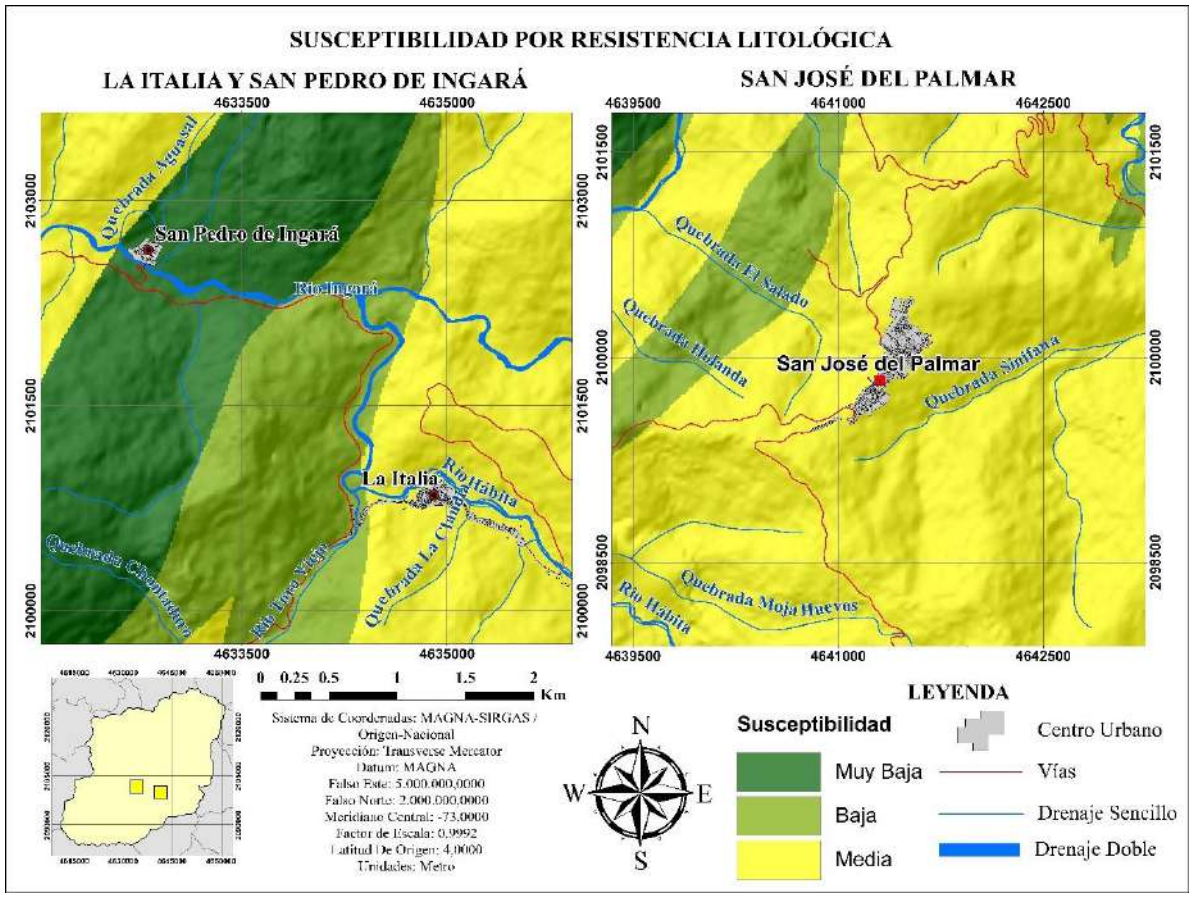
RESISTENCIA EN ÁREAS DE INTERÉS

Susceptibilidad Media: en el área delimitada como cercana a los corregimientos esta calificación se presenta sobre el complejo Santa Cecilia – La Equis en el extremo noroeste y sobre el Miembro Urrao al este, que en total representa el 37% del área aledaña. Cerca al casco urbano municipal esta calificación solo se observa aplicada sobre el Miembro Urrao que cubre el 88% de esta área próxima.

Susceptibilidad Baja: esta calificación aplicada al miembro Nutibara de la formación Penderisco se observa tanto en la región de los corregimientos, en donde ocupa el 29%, como cerca a la cabecera municipal, en donde su proporción es del 12%.

Susceptibilidad Muy Baja: esta calificación asignada a las unidades compuestas mayormente por rocas de alta dureza puede observarse principalmente cerca a los corregimientos de la Italia y San Pedro de Ingará en donde la formación Barroso, a la cual se le asignó este grado de susceptibilidad, ocupa aproximadamente el 34% del área acotada.

Mapa 14 Susceptibilidad por resistencia litológica en áreas de interés



Fuente: presente estudio

ANÁLISIS DE RELACIÓN ENTRE EL BUZAMIENTO DE ESTRATOS SEDIMENTARIOS Y LA DIRECCIÓN DE PENDIENTE

Este análisis se realizó para la vía que desde la cabecera municipal conduce al Valle del Cauca y que cuenta con una extensión aproximada de 15 kilómetros hasta el límite con este departamento. En este se pretendió determinar, en las zonas que presentan secuencias sedimentarias estratificadas, la relación entre la dirección de buzamiento de estas capas y la dirección de la ladera sobre la cual se ubica esta vía.

Imagen 16 Representación de planos de deslizamientos en secuencias sedimentarias inclinadas

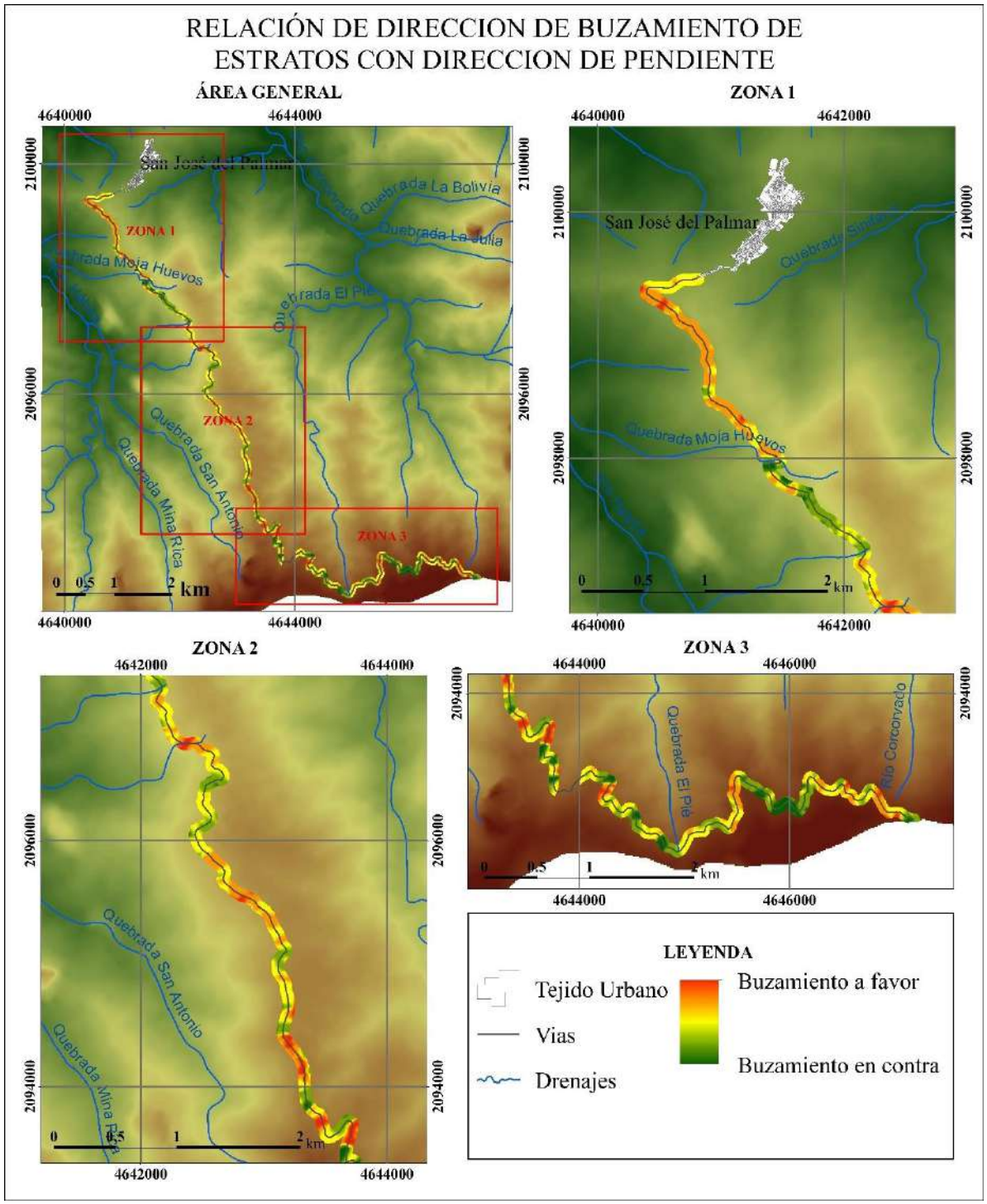
Fuente: (Fernández, 2020)

Esta relación es de interés debido a la formación de deslizamientos planares a través de la superficie de estratificación cuando la dirección de su buzamiento es parecida al de la ladera o talud y su valor en grados es cercano o menor.

En el mapa se muestra el nivel de similitud entre estas direcciones, en rojo las zonas en las cuales estas coinciden y en verde aquellas cuyas direcciones son opuestas.

A pesar de que es necesario relacionar también el grado de inclinación se puede observar solo con esta información algunas zonas de interés en las cuales se han desarrollado movimientos en masa importantes. Entre la cabecera municipal y la quebrada Mojahuevos se observa una zona de alta correspondencia entre las direcciones de buzamiento de los estratos y ladera, lo cual sumado a la intervención antrópica en la conformación de taludes en la vía ha generado movimientos en masa que continúan activos (Imagen 17).

Mapa 15 Relación de buzamientos y dirección de pendiente



Fuente: presente estudio

Imagen 17 Deslizamientos planares en la vía Palmar- Valle del Cauca

Fuente: presente estudio

4.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA

4.2.1. UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL

4.2.1.1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS

Comprende las áreas de las ciudades y poblaciones, así como aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos.

Tejido Urbano Discontinuo

Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación.

Red Vial y Terrenos Asociados

Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras y autopistas; se incluye la infraestructura conexa y las instalaciones asociadas tales como: estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes.

Imagen 18 Vía pavimentada

Fuente: presente estudio

Imagen 19 Vía destapada sin pavimentar

Fuente: presente estudio

4.2.1.2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS

Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho.

Cultivos Permanentes

Comprende los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen en esta categoría los cultivos de herbáceas como caña de azúcar, caña panelera, plátano y banano; los cultivos arbustivos como café y cacao; y los cultivos arbóreos como palma africana y árboles frutales. Se encuentran las siguientes categorías:

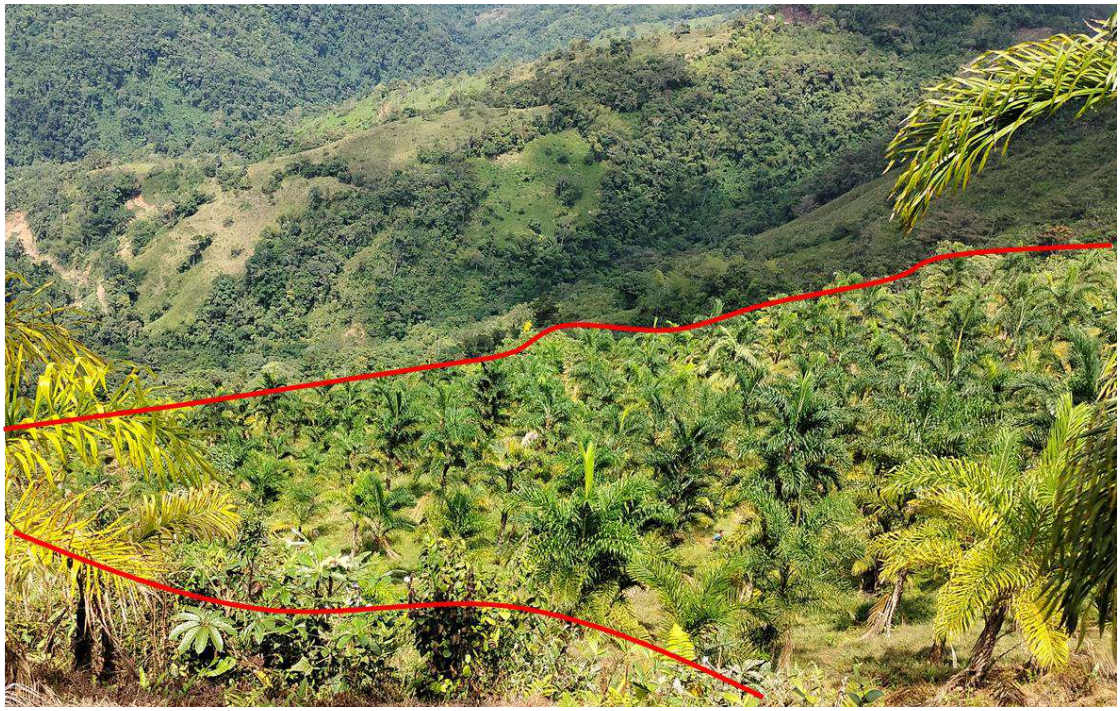
Cultivos permanentes arbóreos

Cobertura principalmente ocupada por cultivos de hábito arbóreo, diferentes de plantaciones forestales maderables o de recuperación, como cítricos, palma, mango.

Imagen 20 Árbol de cacao y palma de chontaduro

Fuente: presente estudio

Imagen 21 Cultivo de chontaduro en vereda Damasco



Fuente: presente estudio

Cultivos Permanentes Herbáceos (Caña, Maíz, otros)

Cobertura compuesta principalmente por cultivos permanentes de hábito herbáceo como caña de azúcar y panelera, plátano, banano y tabaco. Las herbáceas son plantas que no presentan órganos leñosos, son verdes y con ciclo de vida vegetativo anual.

Imagen 22 Cultivo de plátano en vereda El Salado

Fuente: presente estudio

Pastos

Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por la familia Poaceae, dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas

Imagen 23 Cultivo de caña de azúcar en la vereda La Badea

Fuente: presente estudio

principalmente, y en el manejo posterior que se le hace. Se encuentran las siguientes categorías:

Pastos Arbolados

Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe ser mayor a 30% y menor a 50% del área total de la unidad de pastos.

Imagen 24 Pastos arbolados en la vereda La Albania

Fuente: presente estudio

Imagen 25 Pastos enmalezados en la vereda La Albania

Fuente: presente estudio

Pastos Enmalezados

Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono. En general, la altura de la vegetación secundaria es menor a 1,5 m.

Pastos Limpios

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas.

Imagen 26 Pastos limpios en la vereda El Salado

Fuente: presente estudio

4.2.1.3. BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación, en esta categoría se incluyen otras coberturas que son el resultado de un fuerte manejo antrópico, como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición.

Bosques

Comprende las áreas naturales o semi naturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa más o menos definida, esta cobertura comprende los bosques naturales y las plantaciones. Se encuentran las siguientes categorías:

Bosque Denso Alto de Tierra Firme

Corresponde a las áreas con vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, y con altura del dosel entre 5 y 15 metros, y que se encuentra localizada en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos.

Bosque Fragmentado con Pastos y Cultivos

Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales donde se ha presentado intervención humana de tal manera que el bosque mantiene su estructura original. Las áreas de intervención están representadas en zonas de pastos y cultivos, las cuales se observan como parches de variadas formas y distribución irregular dentro de la matriz del bosque. Las áreas de pastos y cultivos deben representar entre 5% y 30% del área total de la

Imagen 27 Bosque denso alto de tierra firme en la vereda Hábita Alto

Fuente: presente estudio

unidad de bosque natural. La distancia entre fragmentos de intervención no debe ser mayor a 250 metros.

Bosque de galería y ripario

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o cañadas, las otras franjas de bosque en cursos de agua de zonas andinas son conocidas como bosque ripario.

Imagen 28 Bosque fragmentado con pastos y cultivos en la vereda Damasco

Fuente: presente estudio

Imagen 29 Bosque Ripario en la vereda La Albania

Fuente: presente estudio

Áreas con vegetación herbácea y/ o arbustiva

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica. Se encuentran las siguientes categorías:

Arbustal Abierto

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos arbustivos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo y cuya cubierta representa entre 30% y 70% del área total de la unidad. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales.

Arbustal Denso

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbustivos, los cuales forman un dosel irregular, el cual representa más de 70% del área total de la unidad. La unidad puede contener elementos arbóreos dispersos. Esta formación vegetal no ha sido intervenida o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y sus características funcionales.

Áreas abiertas, sin o con poca vegetación

Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por hielo y nieve. Se encuentran las siguientes categorías:

Tierras Desnudas y Degradadas

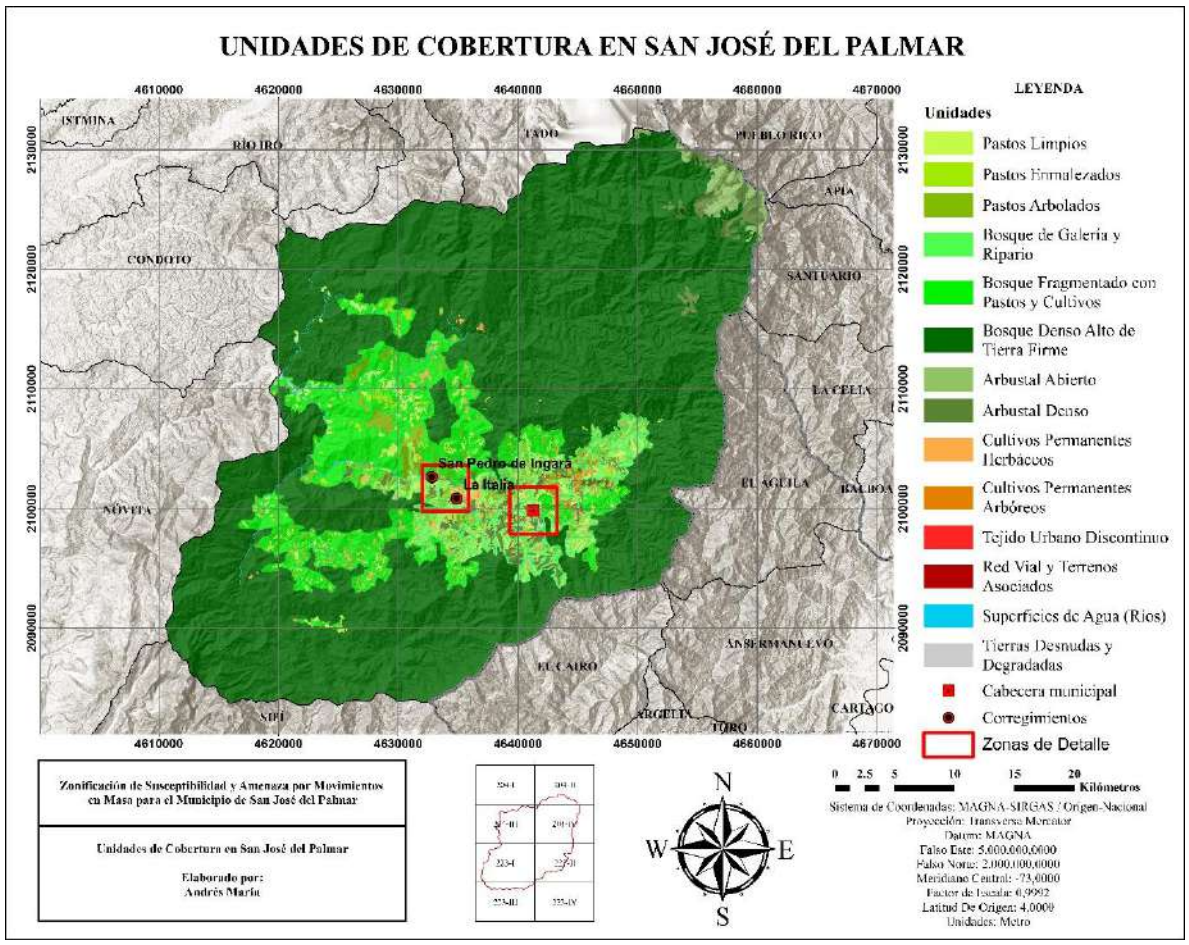
Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema

y/o condiciones climáticas extremas. Se incluyen las áreas donde se presentan tierras salinizadas, en proceso de desertificación o con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de cárcavas.

4.2.1.4. SUPERFICIES DE AGUA (RÍOS)

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río. Se considera como unidad mínima cartografiable aquellos ríos que presenten un ancho del cauce mayor o igual a 50 metros.

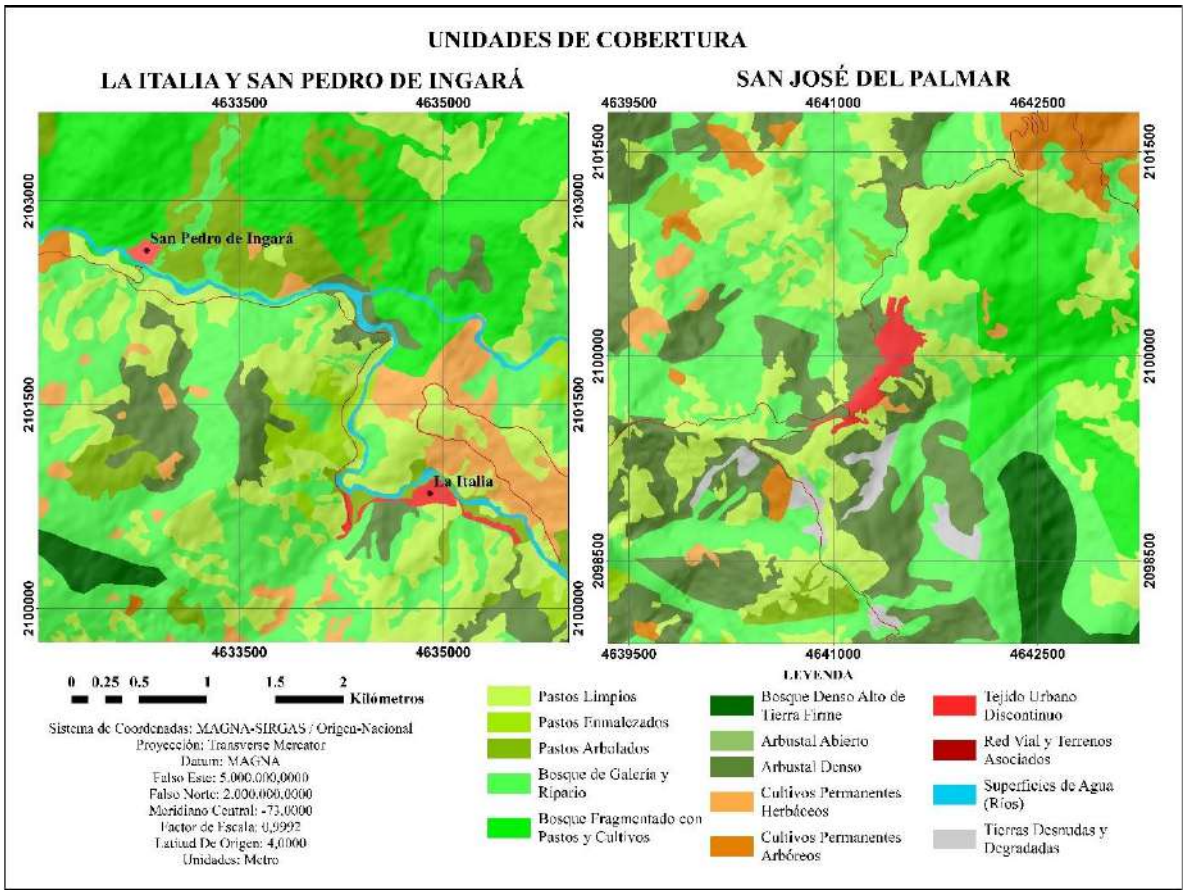
Mapa 16 Unidades de Cobertura



Fuente: presente estudio

COBERTURA VEGETAL EN ÁREAS DE INTERÉS

Mapa 17 Unidades de cobertura en áreas de interés



Fuente: presente estudio

En el Mapa 17 se muestra la distribución de las unidades de cobertura vegetal en los corregimientos de San Pedro de Ingará y la Italia y de la cabecera municipal de San José del Palmar. Estos cuadrantes cubren aproximadamente 1515 hectáreas alrededor de los centros urbanos principales del municipio.

En las áreas adyacentes a la cabecera municipal predomina el bosque ripario ocupando el 30% de esta, distribuido en los bordes de las quebradas Sinifaná, Mojahuevos, La Cristalina, La Holanda y El Salado. Los pastos limpios representan alrededor del 22% de las zonas aledañas ubicados mayormente cerca de las

principales vías, estos pastos generalmente se encuentran separados por arbustales densos (20 % del área) y bosques fragmentados con pastos y cultivo (12%). El 16% del área restante está conformada por las demás coberturas en menores proporciones, en donde destaca el alto número de tierras desnudas y degradadas que presenta esta zona con alrededor de 30 hectáreas además de las 19 que presenta el tejido urbano discontinuo.

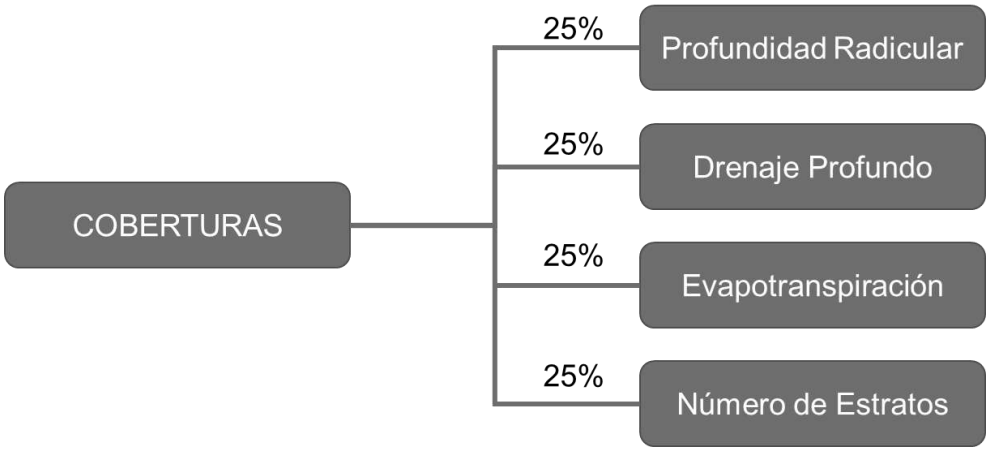
Al igual que en la cabecera municipal en los corregimientos de la Italia y san pedro predominan en bosque ripario, el bosque fragmentado con pastos y cultivos y los pastos limpios ocupando aproximadamente el 70% del área aledaña. El bosque ripario se distribuye alrededor de los causes de las quebradas La Amapola, La Claudia, La planta y el Higuerón, y de los ríos Ingará, Hábita y Toro Viejo. Los bosques fragmentados con pastos y cultivos se ubican principalmente en el costado norte del rio Ingará, mientras que los pastos limpios están ubicados casi exclusivamente al sur del rio y alrededor de los centros poblados.

El restante 30% del área corresponde a las demás coberturas que se presentan en una menor proporción, destacando los pastos arbolados, arbustales densos, cultivos permanentes herbáceos y particularmente la abundante presencia de cuerpos de agua (ríos) respecto a otras zonas del municipio.

4.2.2. VALORACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURA

La valoración de la susceptibilidad por cobertura en movimientos en masa se realizó mediante el análisis de los atributos de profundidad radicular, evapotranspiración, drenaje profundo y numero de estratos. A cada uno de estas variables se le asigna un porcentaje de participación dentro de la calificación final de susceptibilidad por cobertura como se muestra en la Figura 10.

Figura 10 Calificación de atributos de cobertura en análisis de susceptibilidad



Fuente: (SGC, 2013)

Para asignar las calificaciones a los atributos se tomaron como base las tablas de referencia del documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 (SGC, 2013) y las definiciones de las coberturas de la tierra del documento del IDEAM (2010).

Para las unidades que presentan consociaciones se realizó una ponderación de su presencia en la unidad basado en las observaciones de campo y satélite. De esta manera se le asigna valores a cada consociación dependiendo del peso que la unidad de cobertura tenga en esta. Ver Tabla 10.

Tabla 10 Ponderación en Consociaciones de Coberturas

Consociación	Cobertura	Ponderación
Bosque Fragmentado con Pastos y Cultivos	Bosque	85%
	Pastos	6%
	Cultivos	9%
Pastos Arbolados	Árboles y arbustos	30%
	Pastos	70%

Fuente: presente estudio

4.2.2.1. PROFUNDIDAD RADICULAR

Uno de los atributos más importantes en la determinación de la susceptibilidad por cobertura es la profundidad radicular, esto es la profundidad media hasta la que pueden llegar las raíces de las plantas, pues mientras menor sea esta profundidad mayor es la probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa. Ver Tabla 11.

Según Fajardo 2005, “El pasto alto (elefante, gigante o similares), evita completamente la erosión por las gotas de lluvia, retarda el flujo y evita la erosión laminar. Las raíces profundas eliminan las cárcavas y surcos”. “Las raíces actúan como refuerzo y sostén del suelo incrementando la resistencia al cortante y la resistencia a la fuerza tractiva del agua. La forma como las raíces actúan en cada caso está determinada por el tipo de planta y por las condiciones del suelo del sitio.

Imagen 30 Raíces de pastos enmalezados

Fuente: presente estudio

Las raíces pivotantes pueden ser más útiles para la estabilidad a la erosión en masa, pero las raíces de extensión lateral y radial pueden tener mejor efecto para la protección de la erosión superficial. Una alta densidad o concentración de raíces fibrosas, de pequeño diámetro, pueden ser más efectivas para control de erosión superficial que unas pocas raíces de gran diámetro. La profundidad y extensión de las bifurcaciones de las raíces son importantes cuando hay que escoger plantas para estabilizar el suelo, en este caso raíces profundas son mejores. Adicionalmente, la estabilidad depende de las propiedades mecánicas de las raíces y el tipo de suelo o aparición de roca que pueden limitar el crecimiento de las mismas.” (SGC, 2013)

Imagen 31 Raíces en áreas arboladas

Fuente: presente estudio

Tabla 11 Calificación propuesta para la profundidad radicular.

Profundidad Efectiva	Rango (cm)	Susceptibilidad
Muy Superficial	Menos de 25 cm	5
Superficial	25 – 50 cm	4
Moderadamente Profundo	50 – 100 cm	3
Profundo	110 – 150 cm	2
Muy Profundo	Mayor de 150 cm	1

Fuente: (IGAC, 2007)

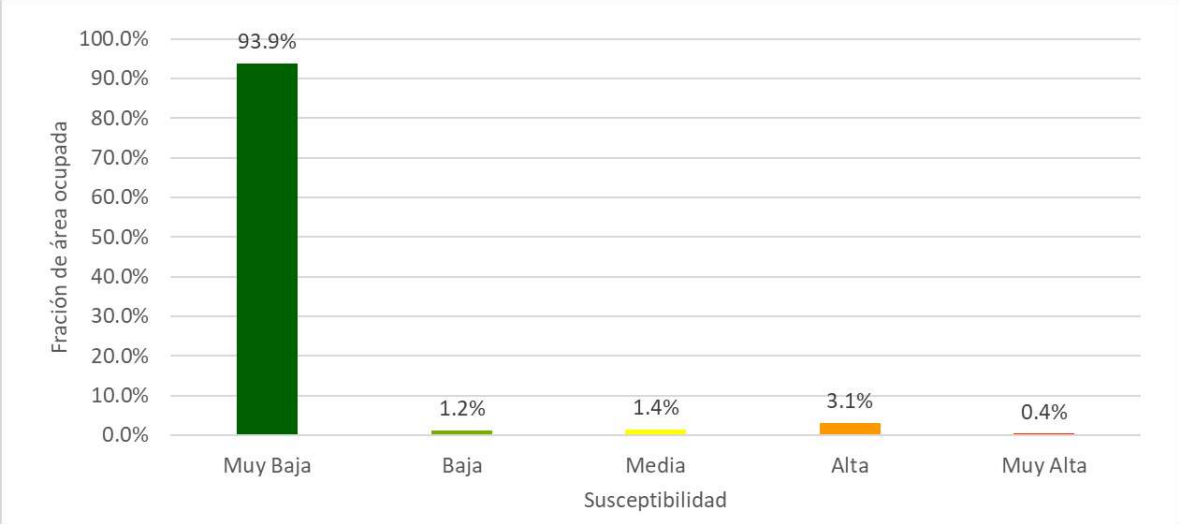
Tabla 12 Calificación asignada a las unidades de cobertura por profundidad radicular

Nombre	Profundidad Efectiva	Susceptibilidad
Arbustal Abierto	Muy Profundo	1
Arbustal Denso	Muy Profundo	1
Bosque de Galería y Ripario	Muy Profundo	1
Bosque Denso Alto de Tierra Firme	Muy Profundo	1
Bosque Fragmentado con Pastos y Cultivos	Muy Profundo	1
Cultivos Permanentes Arbóreos	Muy Profundo	1
Cultivos Permanentes Herbáceos	Moderadamente Profundo	3
Pastos Arbolados	Profundo	2
Pastos Enmalezados	Moderadamente Profundo	3
Pastos Limpios	Superficial	4
Red Vial y Terrenos Asociados	Muy Superficial	5
Superficies de Agua (Ríos)	Muy Superficial	5
Tejido Urbano Discontinuo	Muy Superficial	5
Tierras Desnudas y Degradadas	Muy Superficial	5

Fuente: presente estudio

Basado en la metodología suministrada por el Servicio Geológico Colombiano, contenida en el Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa escala 1:100.000 y las calificaciones realizadas respecto a esta variable se obtuvo la anterior tabla de clasificación, la cual a su vez se refleja en el Mapa 18, mostrando la siguiente distribución.

Figura 11 Distribución de susceptibilidad por profundidad radicular



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad muy alta: esta calificación se presenta en las zonas donde la presencia vegetal es muy escasa o nula, como en vías, ríos, tejidos urbanos y tierras desnudas. Representa el 0,4% del área total del municipio con 6,3 km^2.

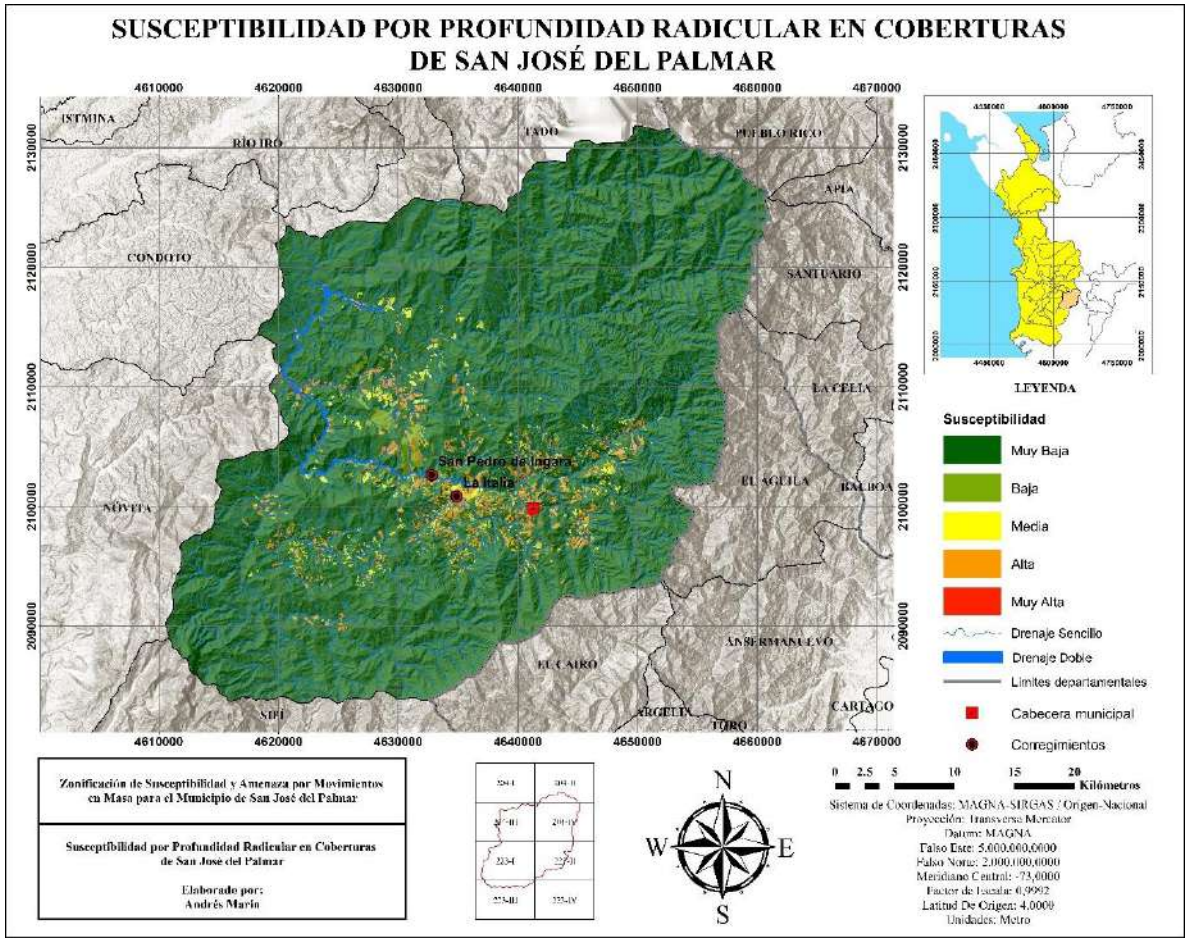
Susceptibilidad alta: se distribuye exclusivamente en zonas que presentan pastos limpios cuyas raíces son relativamente superficiales y presentan poca resistencia a los movimientos en masa. Representa el 3,1% del área total del municipio con alrededor de 49 km^2.

Susceptibilidad media: esta se distribuye sobre cultivos permanentes herbáceos y pastos enmalezados, los cuales presentan una profundidad radicular moderadamente profunda con una extensión total de 22 km^2 que representa el 1,4% del área municipal.

Susceptibilidad baja: esta calificación pertenece a coberturas vegetales cuyas raíces son profundas o como en el caso de los pastos arbolados presentan coberturas mixtas con raíces muy profundas y superficiales. En el municipio representan el 1,2% del área total con 19 km^2.

Susceptibilidad muy baja: esta representa la susceptibilidad de mayor cobertura en el municipio dada la gran extensión de zonas arbóreas. Se distribuye en arbustales densos y abiertos, bosques de galería y ripario, bosques fragmentados con pastos y cultivos, cultivos permanentes arbóreos, y bosque denso alto de tierra firme que es la cobertura de mayor extensión. En total esta área representa el 93.9% con 1486 km^2 aproximadamente.

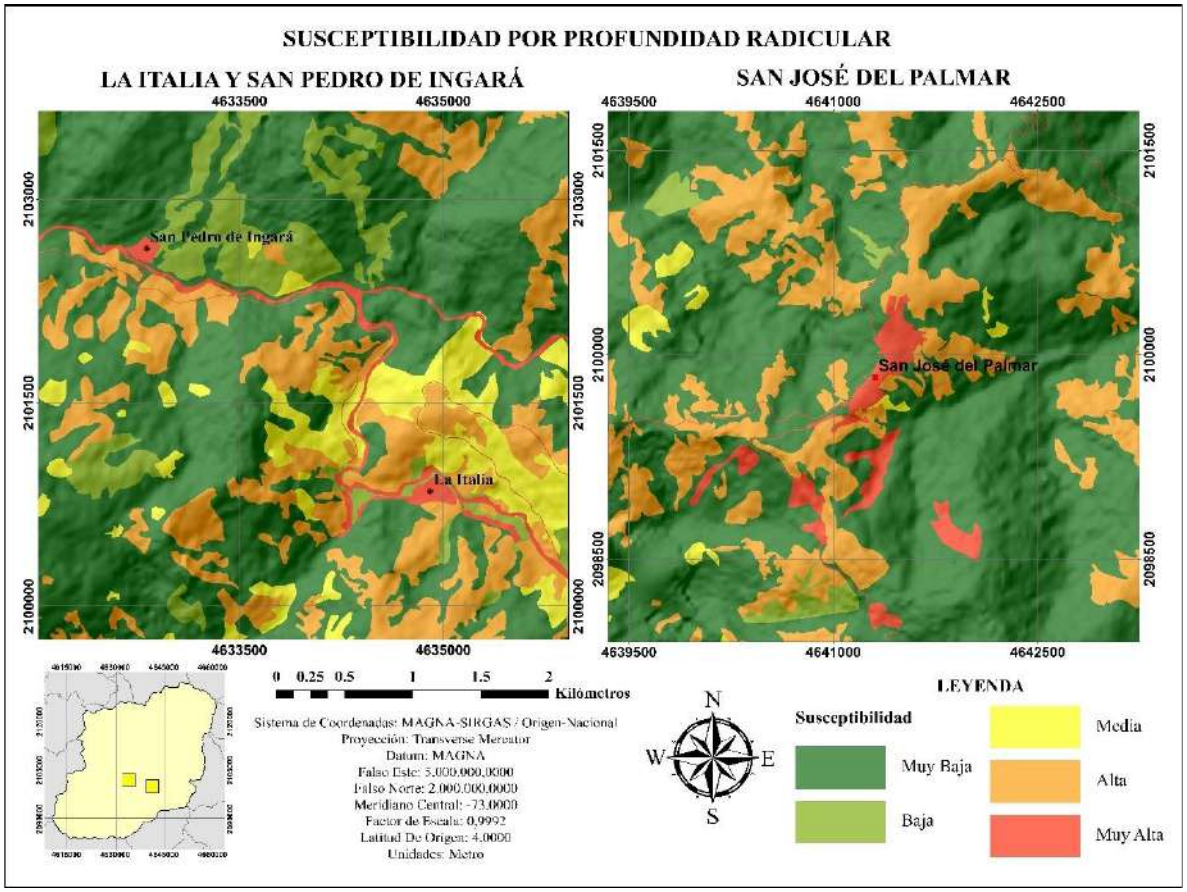
Mapa 18 Susceptibilidad por profundidad radicular en cobertura



Fuente: presente estudio

SUSCEPTIBILIDAD POR PROFUNDIDAD RADICULAR EN ÁREAS DE INTERÉS

Mapa 19 Susceptibilidad por profundidad radicular en áreas de interés



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad muy alta: cerca a la cabecera municipal esta calificación se le asigna al tejido urbano discontinuo, a la red vial y a las tierras desnudas y degradadas. Por su parte en la zona de La Italia y San Pedro de Ingará se suma a las coberturas anteriores los cuerpos de agua representados por los causes de los ríos Hábita e Ingará. En las zonas aledañas a la cabecera municipal esta calificación representa el 3,6% del área total delimitada con 55 hectáreas, mientras que en la región de los corregimientos esta representa el 2,8% con 42 hectáreas.

Susceptibilidad alta: esta calificación se encuentra asignada a los pastos limpios y dado su alta presencia en las zonas contiguas los centros poblados este grado se susceptibilidad es frecuente en las zonas delimitadas. Alrededor de la cabecera de San José del Palmar el 22,3% del área presenta esta calificación equivalente a 337 hectáreas mientras en la zona delimitada para los corregimientos representa el 22,1% con 333 hectáreas.

Susceptibilidad media: esta se aplica los pastos enmalezados ya los cultivos permanentes herbáceos, cuya distribución es mayor en la zona delimitada para los corregimientos en donde esta calificación representa el 9,5% del área con 143 hectáreas mientras que cerca a la cabecera municipal solo representa 1,4% con 22 hectáreas.

Susceptibilidad baja: este grado de susceptibilidad se presenta en pastos arbolados, que la igual que los cultivos herbáceos permanentes presentan una mayor concentración alrededor de los corregimientos que en la cabecera municipal. Cerca a los corregimientos esta calificación se aplica sobre hectáreas equivalente al 9,1 % del área delimitada, mientras que en la cabecera municipal representa solo el 1,6%.

Susceptibilidad muy baja: este grado de susceptibilidad es la calificación de mayor presencia en ambas áreas delimitadas debido a la gran presencia de cultivos arbóreos permanentes, arbustales y especialmente de bosques (densos, de galería o fragmentados). Cerca al casco urbano de San José del Palmar esta susceptibilidad representa el 71,1% de área, mientras en la región de los corregimientos esta abarca el 56,6%.

4.2.2.2. DRENAJE PROFUNDO

Significa la facilidad con la cual el flujo de agua se mueve hasta el drenaje profundo en presencia de determinada cobertura vegetal, de tal forma que mientas más fácil ocurra este flujo menor será la calificación de la susceptibilidad de ocurrencia de un movimiento en masa. Estas calificaciones fueron asignadas de acuerdo a la Tabla

13 de la guía metodológica propuesta por del SGC en el 2013 para el atributo de coberturas.

Tabla 13 Calificación propuesta para drenaje profundo.

Drenaje Profundo	Rango (%)	Susceptibilidad	Categorización	Coberturas Asociadas
Muy Superficial	0 - 10	5	Muy alta	Pastos
Superficial	10,1 - 20	4	Alta	Areas Agricolas
Moderadamente Profundo	20,1 - 30	3	Media	Arbustales abiertos
Profundo	30,1 -40	2	Baja	Arbustales Densos
Muy Profundo	Mayor de 40	1	Muy Baja	Zonas Boscosas

Fuente: (SGC, 2013)

Imagen 32 Desarrollo de movimientos en masa en zonas desnudas y arbustivas

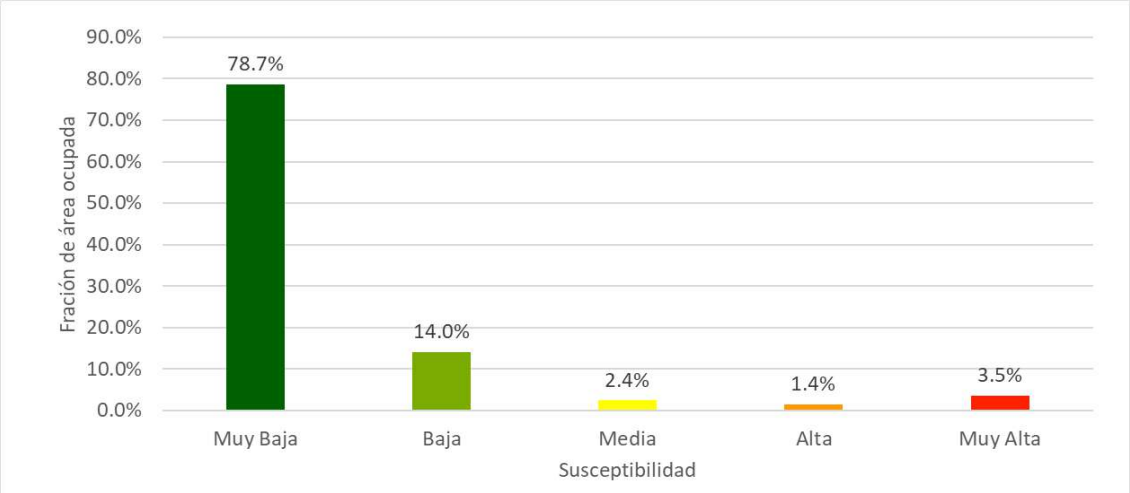
Fuente: presente estudio

Tabla 14 Calificación asignada a las unidades de cobertura por drenaje profundo

Nombre	Drenaje Profundo	Susceptibilidad
Arbustal Abierto	Moderadamente Profundo	3
Arbustal Denso	Profundo	2
Bosque Denso Alto de Tierra Firme	Muy Profundo	1
Bosque Fragmentado con Pastos y Cultivos	Profundo	2
Bosque de Galería y Ripario	Muy Profundo	1
Cultivos Permanentes Arbóreos	Moderadamente Profundo	3
Cultivos Permanentes Herbáceos	Superficial	4
Pastos Arbolados	Moderadamente Profundo	3
Pastos Enmalezados	Superficial	4
Pastos Limpios	Muy Superficial	5
Red Vial y Terrenos Asociados	Muy Superficial	5
Superficies de Agua (Ríos)	Muy Superficial	5
Tejido Urbano Discontinuo	Muy Superficial	5
Tierras Desnudas y Degradadas	Muy Superficial	5

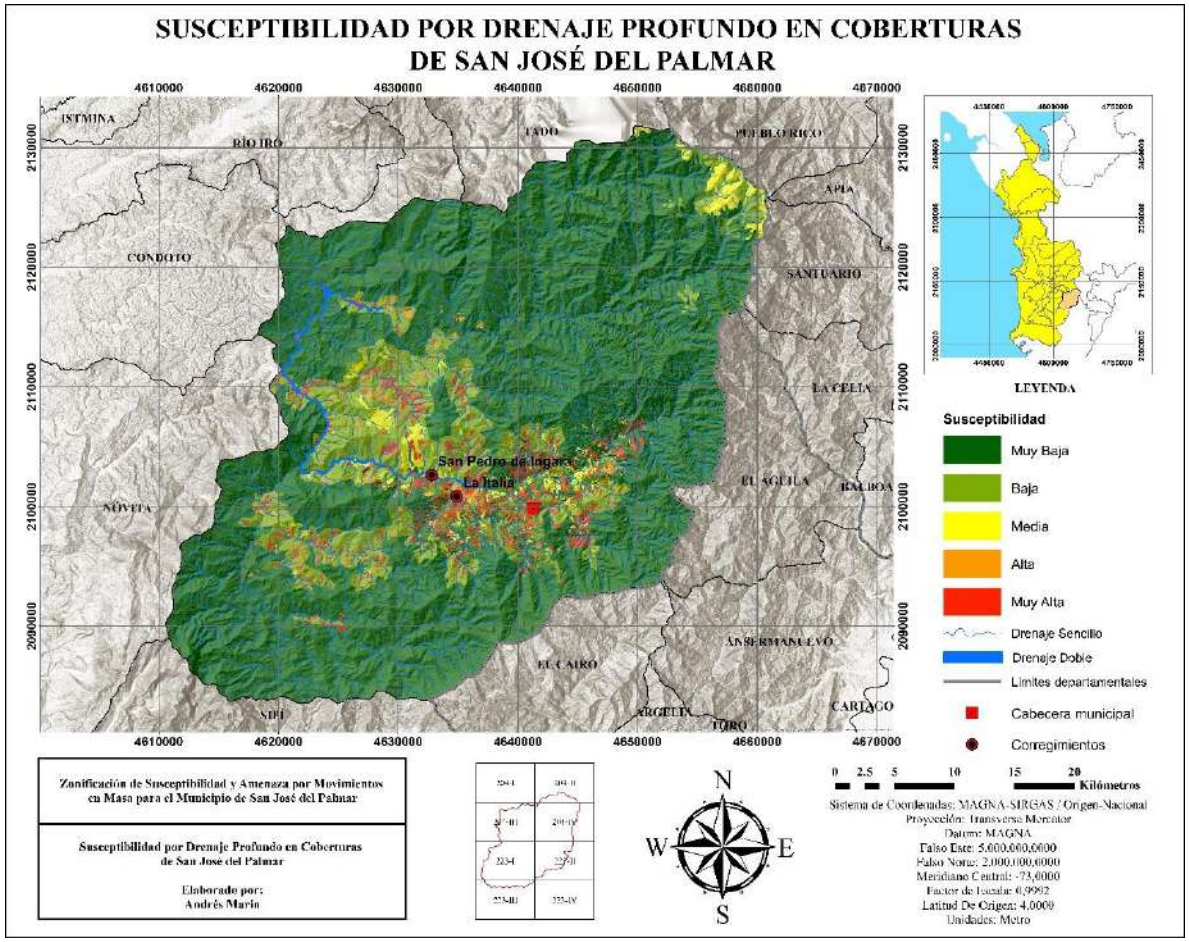
Fuente: presente estudio

Figura 12 Distribución de susceptibilidad por drenaje profundo



Fuente: presente estudio

Mapa 20 Susceptibilidad por drenaje profundo en coberturas de San José del Palmar



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad muy alta: esta se concentra en las zonas con poca o nula cobertura vegetal, impidiendo la ocurrencia del drenaje profundo y favoreciendo la escorrentía superficial y en consecuencia la erosión. En el municipio se les asigna esta calificación a zonas con pastos limpios, la red vial, a las superficies de agua, al tejido urbano y a las tierras desnudas y degradadas. Esta calificación se distribuye en 55.7 km^2 equivalente al 3.5% del territorio municipal.

Susceptibilidad alta: esta se presenta sobre coberturas con vegetación media esparcida, como como pastos enmalezados y cultivos permanentes herbáceos. Estos representan el 1.4% del área municipal con 22.2 km^2.

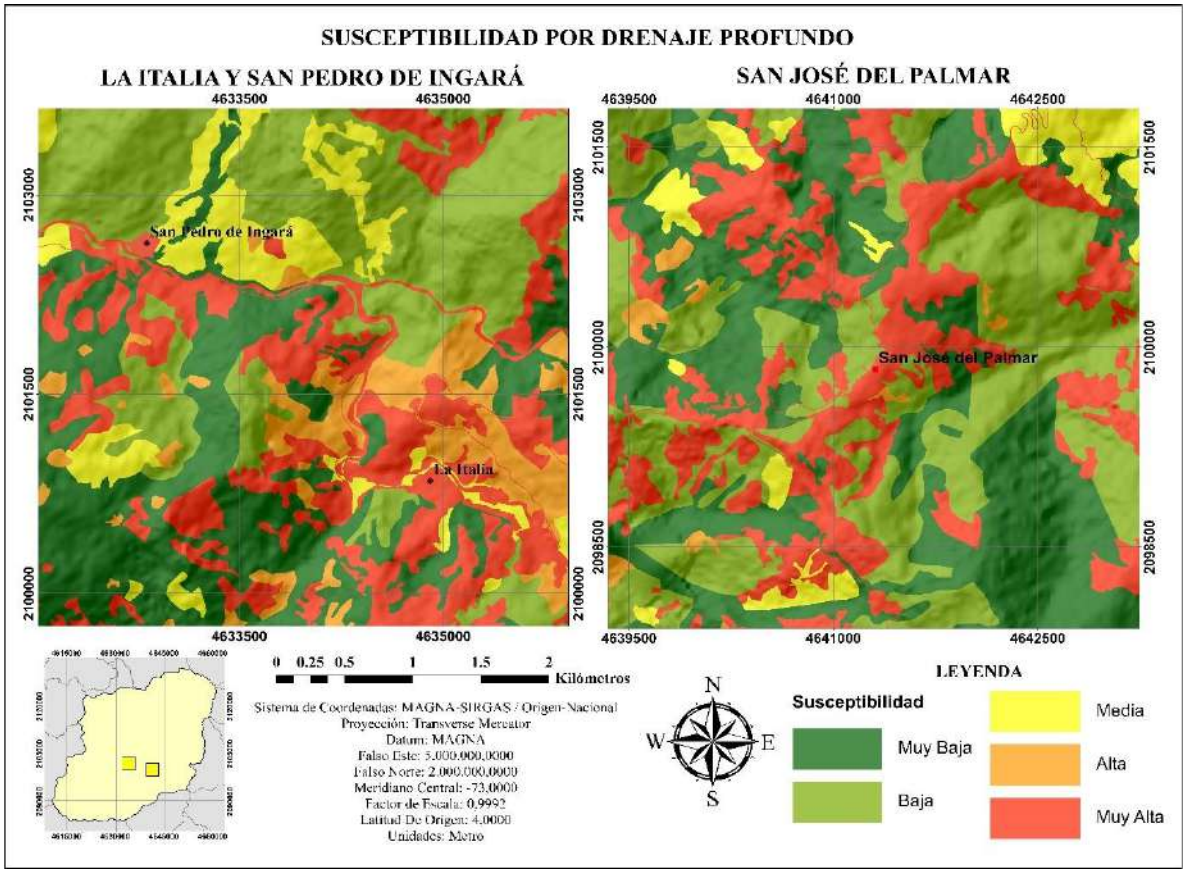
Susceptibilidad media: esta calificación se otorgó para las coberturas con vegetación arbórea relativamente dispersa, cuyo promedio de drenaje profundo es moderado. Esta calificación de susceptibilidad está presente en 2,4% del área total del municipio, lo cual equivale a 38.6 km^2.

Susceptibilidad baja: este grado de susceptibilidad se les otorgó a zonas arbóreas con densidades moderadamente altas, como arbustales densos y bosques fragmentados con pastos y cultivos. Estas coberturas suman en total 221 km^2 que representan el 14% del área municipal.

Susceptibilidad muy baja: la menor susceptibilidad se encuentra en los bosques densos altos de tierra firme, cuya cobertura es la de mayor extensión con 1245 km^2 equivalente al 78.7% del área total.

SUSCEPTIBILIDAD POR DRENAJE PROFUNDO EN ÁREAS DE INTERÉS

Mapa 21 Susceptibilidad por drenaje profundo en áreas de interés



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad muy alta: en las áreas delimitadas se puede observar una gran presencia de zonas con este grado se susceptibilidad debido a la gran presencia de pastos limpios, tejidos urbanos, tierras desnudas y degradadas y en menor medida las redes viales y las superficies de agua. Cerca de la cabecera del municipio el 25,9% del área presenta este grado de susceptibilidad, mientras que en las zonas aledañas a los corregimientos esta representa el 24,9% del área total.

Susceptibilidad Alta: esta susceptibilidad se aplica sobre las zonas que presentan pastos enmalezados y cultivos permanentes herbáceos. Esta calificación distribuye especialmente en las zonas cercanas al corregimiento de La Italia en donde existe una mayor concentración de estas coberturas. En total la región delimitada para los corregimientos presente el 9,5 % de su área con esta calificación, mientras que en San José del Palmar esta solo representa el 1,4%.

Susceptibilidad Media: se presenta en las arbustales y zonas arbóreas relativamente despobladas. Estas coberturas no presentan una amplia distribución y en las cercanías a la cabecera municipal solo suponen el 6% del área delimitada mientras en las zonas aledañas a los corregimientos representan el 9,5%.

Susceptibilidad Baja: esta calificación se aplica a las zonas con arbustales densos y bosques fragmentados con pastos y cultivos, los cuales tiene una importante distribución en ambas zonas. En la región de la cabecera municipal esta distribución es irregular y representa el 32,6% de las zonas aledañas, mientras que en el espacio de los corregimientos esta se concentra principalmente al norte del rio Ingará y en total representan el 29,7% del área delimitada.

Susceptibilidad Muy Baja: este es, junto a la calificación anterior, el grado se susceptibilidad de mayor presencia en las zonas específicas mostradas. Se califican sobre las áreas con alta concentración de bosque, como los bosques densos altos de tierra firme y los bosques de galería. Cerca de la Italia y San Pedro de Ingará esta calificación representa el 26,4 del área delimitada, mientras que en las zonas adyacentes a la cabecera municipal esta proporción es del 34%.

4.2.2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN

La relación entre la evapotranspiración y la ocurrencia de un movimiento en masa es inversamente proporcional, esto es que mientras mayor sea la evapotranspiración menor será el agua absorbida por el suelo y evacuada por escorrentía y en consecuencia menor el grado de susceptibilidad de ocurrencia de un movimiento en masa. En la Tabla 15 se aprecia la categorización y las calificaciones para el atributo de evapotranspiración tomadas del documento metodológico del SGC (2013) sobre la variable cobertura de la tierra.

Tabla 15 Calificación propuesta para la evapotranspiración.

Evapotranspiración	Rango del coeficiente	Susceptibilidad
Muy Baja	0 – 0.5	5
Baja	0.51 – 0.8	4
Media	0.81 – 1	3
Alta	1.1 – 1.5	2
Muy Alta	Mayor de 1.5	1

Fuente: (SGC, 2013)

El coeficiente que se menciona en la tabla anterior se refiere a la relación entre el coeficiente del cultivo, la Evapotranspiración potencial y la Precipitación. Para determinar los rangos de la evapotranspiración de cada cobertura, se utilizó la siguiente ecuación:

$$EVT\ cultivo = Kc \times EVTo\ (en\ funcion\ de\ la\ precipitacion)$$

Donde:
EVT cultivo: es el coeficiente que representa la Evapotranspiración del cultivo o de la cobertura evaluada.

EVTo (en función de la precipitación): es el valor promedio de la relación entre la Evapotranspiración potencial y la precipitación, según el clima.

Kc: coeficiente del cultivo registrado en el estudio hidrológico del Salvador (Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Salvador, 2006), que se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16 Coeficientes de cultivos (Kc) adaptados de FAO, por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales y Servicio Hidrológico Nacional de el Salvador.

OCUPACIÓN DEL SUELO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Agricultura limpia anual	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Arboles frutales	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque de coniferas denso	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosque de coniferas ralo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosque de galeria	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque de mangle	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque latifoliado	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque mixto	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque secundario (Arbustal)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque siempre verde	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque de coniferas	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque mixto semi caducifoleos	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Caña de azucar	0,6	0,8	0,9	0,9	1	1	1	1	1,05	1,15	1,15	0,85
Café	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Charral o matorral	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Coniferas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cultivo de piña	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cultivos anuales asociados con culti	1	1	1	1	0,7	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Espacios con vegetación escasa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Estuarios	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Granos Basicos	1	1	1	1	0,35	1	1,05	1,05	0,6	1	1	1
Hortalizas	1	1	1	1	0,7	1	1,05	1,05	0,95	1	1	1
Humedal con cobertura boscosa	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Lagos, Lagunas y otros	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Lagos, Lagunas y lagunetas	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Laguna costeras y esteros	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Latifoliados	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Mares y oceanos	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Marismas inferiores	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15

OCUPACIÓN DEL SUELO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Mixto	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Morrales en potreros	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mosaico de cultivos y pastos	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Mosaico de cultivos, pastos y vegeta	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Otros cultivos	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Otros cultivos irrigados	1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1
Otros Humedales	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Palmeras Oleiferas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pastos cultivados	1	1	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1
Pastos naturales	1	1	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1
Perimetro acuicola	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Plantaciones de bosque monoespec	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Platanales y bananeras	0,55	0,55	0,55	0,65	0,7	0,85	0,95	1	1	1	1	0,95
Playas, dunas y arenales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Praderas pantanosas	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Rocas expuestas (Incluye areas eros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roqueda, lavas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rios	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Salinas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sistemas agroforestales	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Tierras sin bosque	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vacias	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vegetación acuatica sobre cuerpos d	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Vegetación arbustiva baja	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Vegetación arbustiva de playa	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Vegetaciónesclerofila o espinoso	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Vegetación herbacea natural	1	1	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1
Viveros de plantas ornamentales y ot	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas de extracción minera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zonas ecotonales	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas quemadas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas verdes urbanas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: (SGC, 2013)

Dado que algunas de las coberturas descritas en el presente trabajo no concuerdan con las presentadas en la tabla anterior se realizó las respectivas equivalencias mostradas en la Tabla 17 teniendo en cuenta las semejanzas en las coberturas, su altura, densidad y profundidad radicular.

Tabla 17 Asignación de Kc con base en datos adaptados de la FAO

Cobertura	Asignación del valor de Kc
Arbustal Abierto	Se asignó el valor Kc promedio del bosque secundario u arbustal.
Arbustal Denso	Se asignó el valor Kc promedio del bosque secundario u arbustal.
Bosque Denso Alto de Tierra Firme	Se asignó el valor Kc promedio del bosque latifoliado.
Bosque Fragmentado con Pastos y Cultivos	Promedio ponderado de Kc entre bosques y pastos y cultivos.
Bosque de Galería y Ripario	Se asignó el valor Kc promedio del bosque de galería.
Cultivos Permanentes Arbóreos	Se asignó el valor Kc promedio de árboles Frutales
Cultivos Permanentes Herbáceos	Se asignó Kc promedio del mosaico de cultivos y pastos.
Pastos Arbolados	Promedio ponderado entre valores de Kc para pastos y bosque secundario.
Pastos Enmalezados	Se asignó el valor Kc de matorrales en potreros
Pastos Limpios	Se asignó el valor Kc de pastos cultivados.
Red Vial y Terrenos Asociados	No aplica. Susceptibilidad 1.
Superficies de Agua (Ríos)	Se asignó el valor Kc de ríos.
Tejido Urbano Discontinuo	Se asumió el valor de Kc para espacios con vegetación escasa
Tierras Desnudas y Degradadas	Se asignó el valor Kc promedio de zonas vacías

Fuente: presente estudio

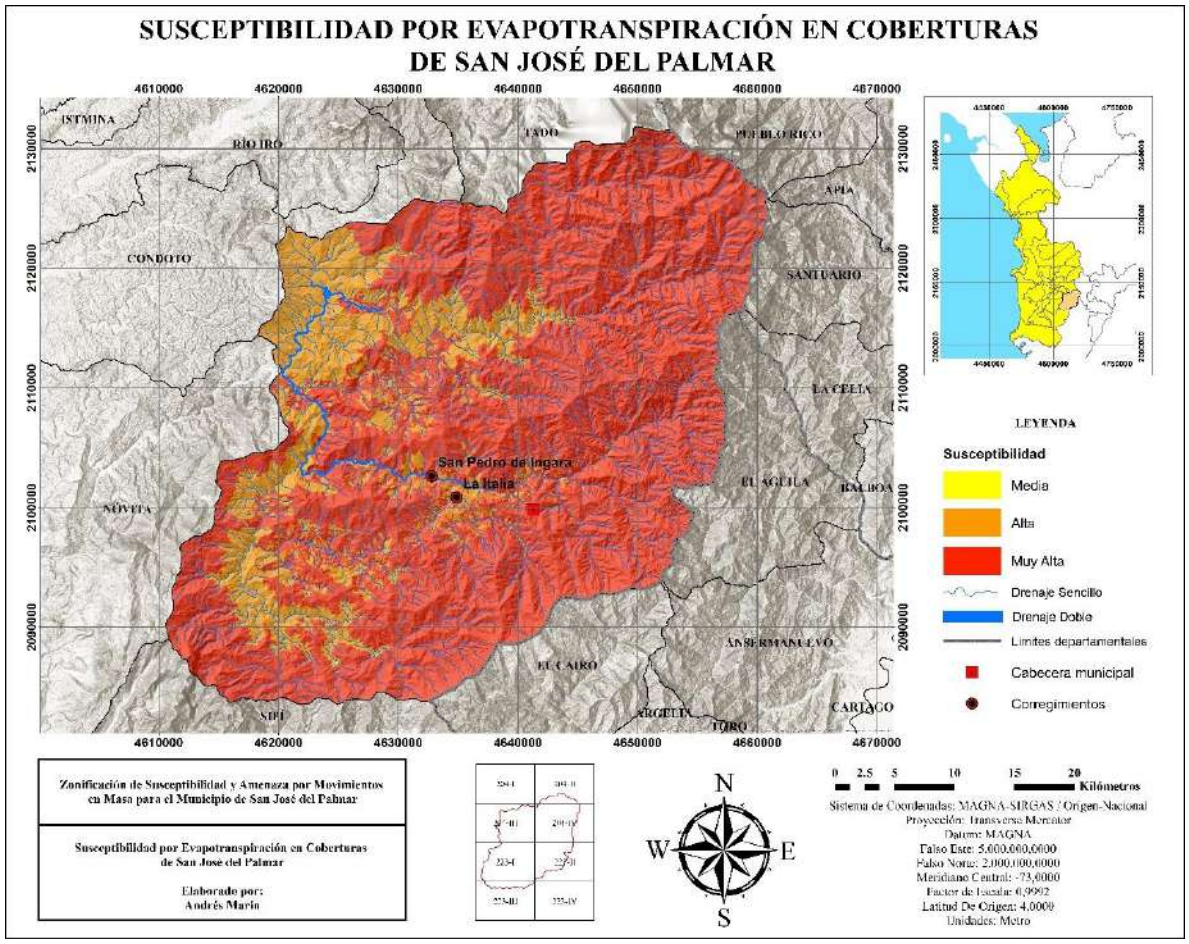
Para obtener el valor de la variable EVTo en función de la precipitación se realizó una superposición de las capas de coberturas, precipitación media anual y zonas climáticas obtenidas del IDEAM. Después de esto se le asignó a cada combinación el valor de la relación EVTo/precipitación obtenida de la Tabla 18 en donde se especifican las zonas climáticas, los rangos de precipitación y la relación con la evapotranspiración.

Tabla 18 Clasificación del clima ambiental, valores de precipitación y relación de evapotranspiración y precipitación.

Clima	Precipitación anual (mm)	Altitud (m.s.n.m.)	Relación EVTo /precipitación
Cálido árido	0-500	0-800	8-4
Cálido muy seco	500-1 000		4-2
Cálido seco	1 000-2 000		2-1
Cálido húmedo	2 000-3 000		1-0,5
Cálido muy húmedo	3 000-7 000		0,5-0,25
Cálido pluvial	>7 000		0,25-0,125
Templado muy seco	500-1 000	800-1 800	2-1
Templado seco	1 000-2 000		1-0,5
Templado húmedo	2 000-3 000		0,5-0,25
Templado muy húmedo	3 000-7 000		0,25-0,125
Templado pluvial	>7 000		0,25-0,125
Frío muy seco	500-1 000	1 800-2 800	2-1
Frío seco	1 000-2 000		1-0,5
Frío húmedo	2 000-3 000		0,5-0,25
Frío muy húmedo	3 000-7 000		0,25-0,125
Muy frío muy seco	500-1 000	2 800-3 700	1-0,5
Muy frío seco	1 000-2 000		0,5-0,25
Muy frío húmedo	2 000-3 000		0,25-0,125
Muy frío muy húmedo	3 000-7 000		0,25-0,125
Extremadamente frío muy seco	500-1 000	3 700-4 500	1-0,5
Extremadamente frío seco	1 000-2 000		0,5-0,25
Extremadamente frío húmedo	2 000-3 000		0,25-0,125
Extremadamente frío muy húmedo	3 000-7 000		0,25-0,125
Nival muy seco	500-1 000	>4 500	0,25-0,125
Nival seco	1 000-2 000		0,25-0,125

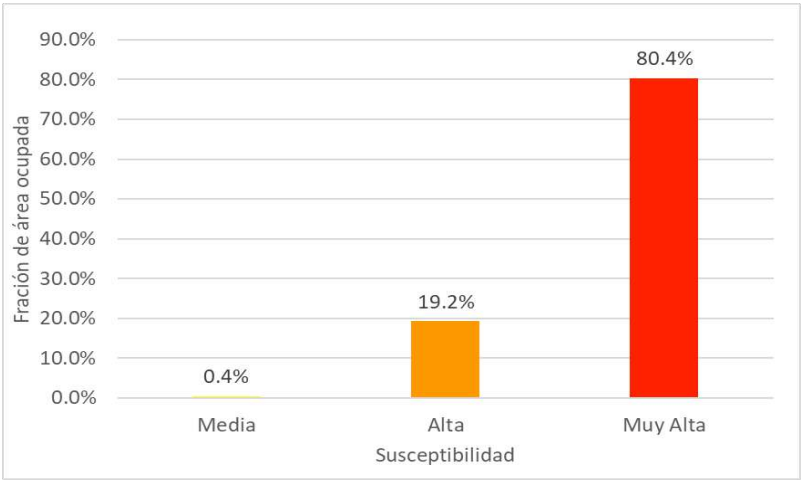
Fuente: (SGC, 2013)

Mapa 22 Susceptibilidad por evapotranspiración en coberturas



Fuente: presente estudio

Figura 13 Distribución de susceptibilidad por evapotranspiración



Fuente: presente estudio

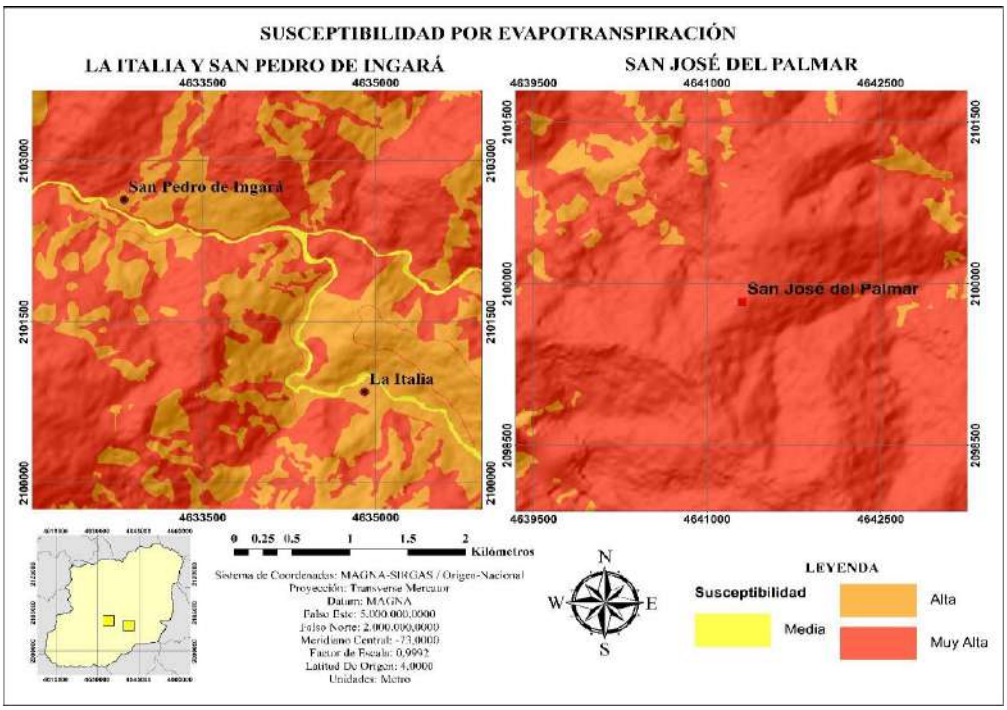
Susceptibilidad muy alta: esta calificación se observa en todos los tipos de coberturas, temperaturas y precipitaciones del municipio, destacando en las zonas frías y de alta precipitación. Este grado de susceptibilidad se presenta en el 80,4% del municipio, que equivale a 1273 km^2.

Susceptibilidad alta: esta calificación se registra sobre bosques, pastizales, cultivos permanentes, tejido urbano y zonas desnudas ubicadas en áreas cálidas pero muy húmedas, en donde las altas precipitaciones no favorecen la evapotranspiración. Se reconoce en el 19,2 % de área total con 304 km^2.

Susceptibilidad media: esta clasificación de susceptibilidad está registrada especialmente en los cuerpos de agua en algunas zonas de bosque alto denso de tierra firme con bajas precipitaciones y altas temperaturas que favorecen la evapotranspiración. Representa el 0,4% del área municipal con 5,1 km^2.

Susceptibilidad por evapotranspiración en áreas de interés

Mapa 23 Susceptibilidad por evapotranspiración en áreas de interés



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad muy alta: este grado de susceptibilidad es el de mayor presencia en ambas zonas delimitadas, sin embargo, se concentra más en las zonas aledañas a la cabecera municipal, esto debido a que esta región se encuentra a una mayor altitud que los dos corregimientos y en consecuencia presenta una menor temperatura disminuyendo la eficiencia de la evapotranspiración. En la región cercana a la cabecera municipal el 93% del área está calificada con este grado se susceptibilidad mientras que en la región en donde se encuentra la Italia y San Pedro de Ingará esta proporción desciende hasta el 58,7%, concentrándose en las coberturas más espesas en donde la cantidad de agua retenida es mayor.

Susceptibilidad Alta: se concentra principalmente en las zonas cercanas a la Italia y San Pedro donde se presenta una mayor temperatura y zonas mas abiertas. En esta zona la susceptibilidad alta representa el 39,4% del área delimitada.

En las zonas próximas a la cabecera municipal se esté grado de susceptibilidad se presenta solo el 7% de área marcada y se ubican en las regiones más bajas de esta y especialmente sobre pastos limpios

Susceptibilidad Media: este grado de susceptibilidad solo se encuentra en las áreas adyacentes a los corregimientos sobre los cuerpos de agua representados por los ríos Habita e Ingará. Esta área representa solo el 1,8% del total delimitado.

4.2.2.4. NÚMERO DE ESTRATOS

El documento metodológico del SGC menciona al respecto “En esta variable se desea utilizar el número de estratos de una cobertura vegetal para darse una idea por ejemplo del tipo de bosque, de su densidad, estructura, el resultado es que tan buena protección hace en algunos aspectos. Ejemplo para bosques bien evolucionados es posible encontrar hasta 4 estratos, de esta manera se podría calificar entre 1 y 2; para un cultivo limpio que solo tiene un estrato, su susceptibilidad sería de 4 – 5.”

Basado en estas sugerencias y en la Tabla 19, se realizó la tabla 54, asignando el número de estratos inferidos y su respectiva susceptibilidad.

Tabla 19 Calificación propuesta para el número de estratos.

Estratos de la cobertura	Rango (No. de estratos verticales)	Susceptibilidad
No presenta	0	5
Baja densidad estructural	1	4
Media densidad estructural	2	3
Moderadamente alta	3	2
Alta densidad estructural	4	1

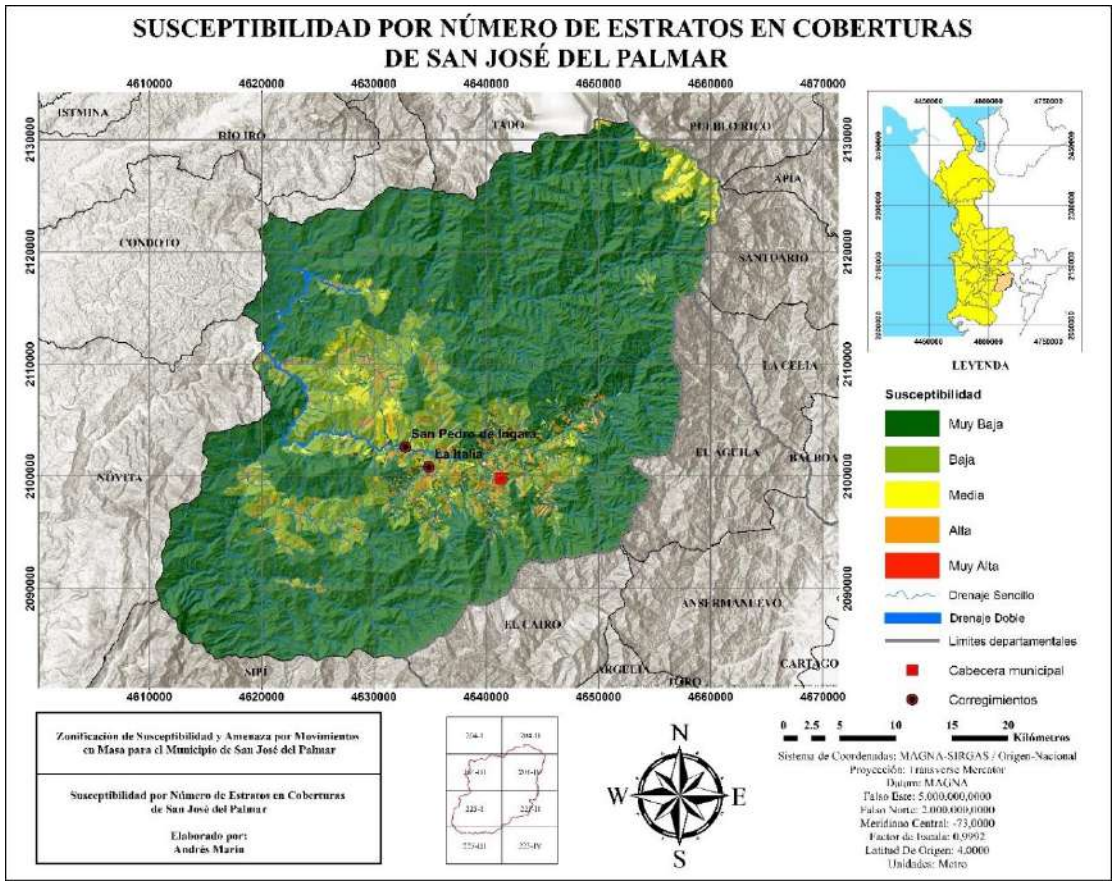
Fuente: (SGC, 2013)

Tabla 20 Calificación asignada a las unidades de cobertura por número de estratos

Nombre	Estratos de la cobertura	Número de estratos	Susceptibilidad
Arbustal Abierto	Media Densidad Estructural	2	3
Arbustal Denso	Moderadamente Alta Densidad Estructural	3	2
Bosque Denso Alto de Tierra Firme	Alta Densidad Estructural	4	1
Bosque Fragmentado con Pastos	Moderadamente Alta Densidad Estructural	3	2
Bosque de Galería y Ripario	Alta Densidad Estructural	4	1
Cultivos Permanentes Arbóreos	Moderadamente Alta Densidad Estructural	3	2
Cultivos Permanentes Herbáceos	Baja Densidad Estructural	1	2
Pastos Arbolados	Media Densidad Estructural	2	3
Pastos Enmalezados	Media Densidad Estructural	2	3
Pastos Limpios	Baja Densidad Estructural	1	4
Red Vial y Terrenos Asociados	No Presenta	0	5
Superficies de Agua (Ríos)	No Presenta	0	5
Tejido Urbano Discontinuo	No Presenta	0	5
Tierras Desnudas y Degradadas	No Presenta	0	5

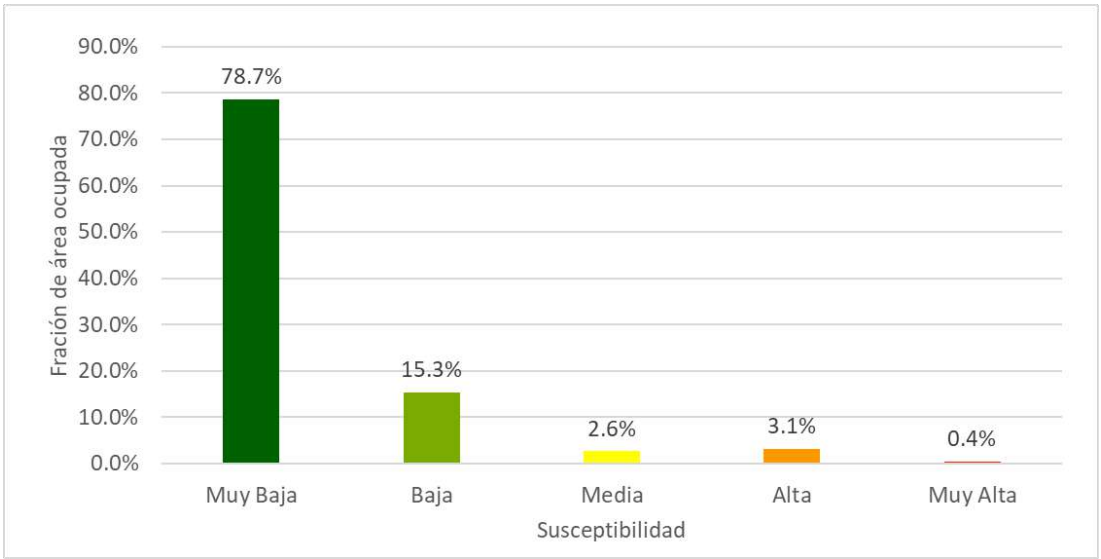
Fuente: presente estudio

Mapa 24 Susceptibilidad por número de estratos en coberturas



Fuente: presente estudio

Figura 14 Distribución de susceptibilidad por número de estratos



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad muy alta: esta calificación se le asigna a las zonas sin cobertura vegetal como red vial, superficies de agua, tejido urbano y zonas desnudas y degradadas, en las cuales no se presentan estratos. El área de susceptibilidad muy alta corresponde a 6,3 km^2 equivalente al 0,4% del área total municipal.

Susceptibilidad alta: se le asignó este grado de susceptibilidad a los pastos limpios dado su bajo número de estratos. Esta cobertura abarca 39,4km^2 equivalente al 3,1% del área estudiada.

Susceptibilidad media: este grado de susceptibilidad se encuentra en coberturas abiertas y herbáceas donde la cantidad de estratos es moderada como en pastos enmalezados, pastos arbolados y arbustales abiertos. Estas coberturas representan el 2,6% del área municipal equivalente a 40,4 km^2.

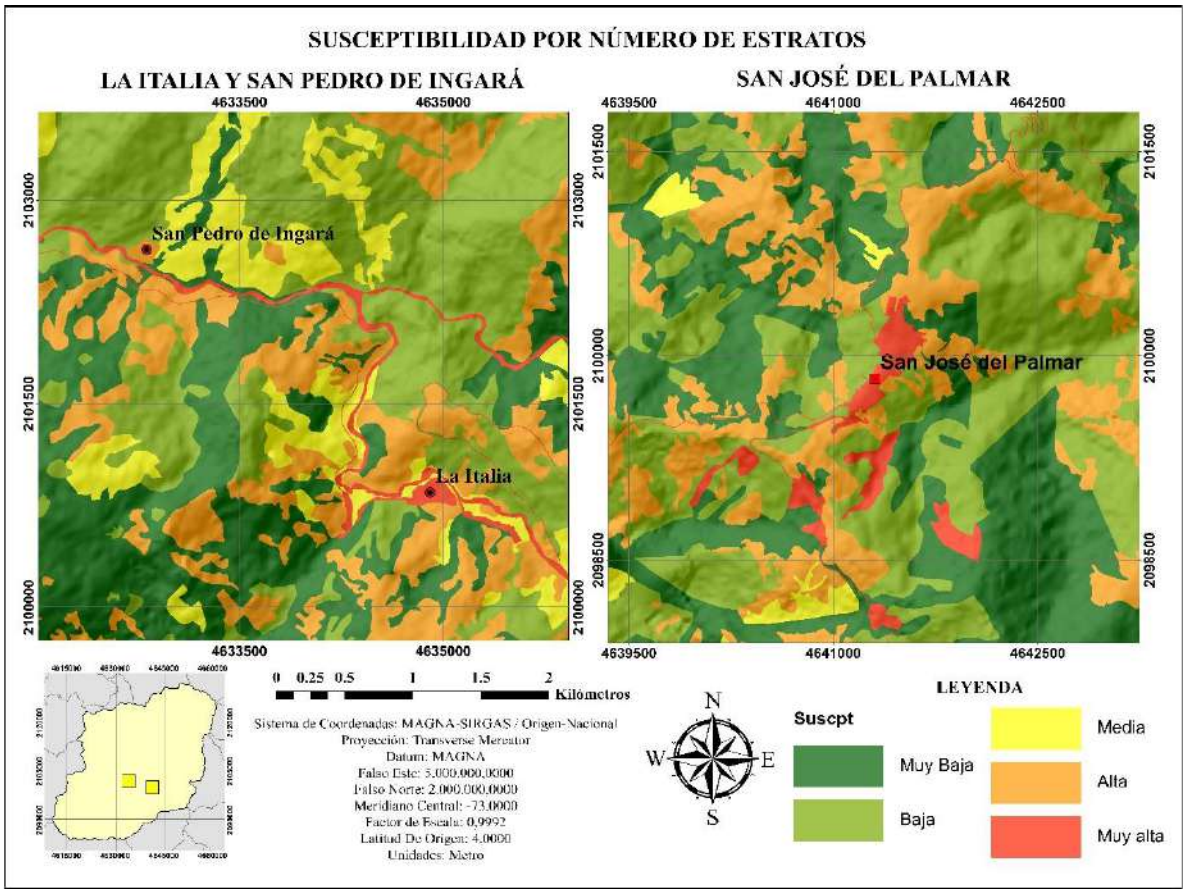
Susceptibilidad baja: esta calificación se aplica a coberturas moderadamente densas como arbustales densos y bosque fragmentados con pastos y cultivos y cultivos permanentes tanto herbáceos como arbóreos. En total representa el 15,3% del área estudiada con 241,4km^2.

Susceptibilidad muy baja: se les asigna a coberturas boscosas altas en donde el número de estratos es elevado. Corresponde al grado de susceptibilidad de mayor presencia en el municipio con el 78,7% del área con esta calificación equivalente a 1245km^2.

SUSCEPTIBILIDAD POR NÚMERO DE ESTRATOS EN ÁREAS DE INTERÉS

Susceptibilidad muy alta: esta calificación se les asignó a aquellas coberturas que no poseen estratos, como la red vial, superficies de agua, tejido urbano discontinuo y tierras desnudas y degradadas. En zonas aledañas a la cabecera municipal esta calificación representa el 3,6% del área total marcada, mientras en la región de los corregimientos esta proporción es del 2,8%.

Mapa 25 Susceptibilidad por número de estratos en áreas de interés



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad Alta: este grado se les aplicó a las zonas que presentan una cobertura de pastos limpios, los cuales son abundantes en los territorios aledaños a los centros poblados. En la cabecera de San José del Palmar estos pastos representan el 22,3% de la zona, valor similar al 22,1% registrado en la zona que enmarca los corregimientos de La Italia y San Pedro de Ingará.

Susceptibilidad Media: este se le asigno a zonas semiabiertas no cultivadas con un número de estratos moderados, las cuales se concentran principalmente en el área cercana a los corregimientos con una proporción del 11,9% sobre el área delimitada. Por su parte en el área que representa las zonas cercanas a la cabecera del municipio solo se registra el 1,7% de coberturas con esta susceptibilidad.

Susceptibilidad Baja: esta calificación es la de mayor distribución en las áreas delimitadas y se aplican a coberturas semidensas y cultivadas. En la región que agrupa a los corregimientos esta calificación representa el 36,8% del área total, mientras que en San José esta proporción asciende al 38,3%.

Susceptibilidad Muy Baja: este grado se susceptibilidad se aplicó a las coberturas más densas representadas por los bosques densos altos de tierra firme y el bosque de galería y ripario, las cuales son más abundantes en las zonas contiguas a la cabecera municipal y representan el 34% del área total delimitada. Esta calificación es también importante en los territorios adyacentes a los corregimientos, pues representa el 26,4% de esta zona.

4.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

4.3.1. UNIDADES DE SUELO

Mapa temático que representa la distribución de las características del suelo, determinadas mediante el levantamiento general de suelos del departamento de Chocó a escala 1:100.000, publicado el año 1997. Suministra información importante acerca del recurso suelo, a través de la descripción e interpretación de sus ambientes edafogenéticos, sus características físicas, químicas, mineralógicas y morfológicas, su taxonomía y distribución espacial, como base para la determinación de sus potenciales productivos, describiendo las limitantes de uso.

Grupo indiferenciado: Alic Hapludands; Andic Dystrudepts; Afloramientos rocosos (MFA):

Suelos profundos a muy profundos, bien drenados, extremada a fuertemente ácidos, contenido alto de materia orgánica, texturas moderadamente gruesas y fertilidad baja en depósitos piroclásticos no consolidados (ceniza) sobre rocas sedimentarias.

Consociación: Acrudoxic Hapludands; Pachic Fulvudands (MJC)

Suelos profundos y muy profundos, bien drenados, extremada a fuertemente ácidos, materia orgánica mediana, texturas moderadamente gruesas y fertilidad baja en depósitos piroclásticos no consolidados (ceniza) sobre rocas metamórficas de bajo grado.

Asociación: Acrudoxic Hapludands; Andic Dystrudepts; Lithic Hapludands; Lithic Udorthents (MOA)

Suelos puperficiales a muy profundos, bien drenados, fuerte a muy fuertemente ácidos, contenidos altos a medios de materia orgánica, texturas gruesas a moderadamente gruesas y fertilidad alta a baja en depósitos piroclásticos no consolidados (ceniza) sobre rocas ígneas (basaltos y granitos).

Grupo indiferenciado: Acrudoxic Hapludands; Andic Dystrudepts (MOC)

Suelos profundos y moderadamente profundos, muy fuerte a moderadamente ácidos, contenidos moderados de materia orgánica, texturas moderadamente gruesas y fertilidad baja en depósitos piroclásticos no consolidados (ceniza) sobre rocas metamórficas de bajo grado.

Asociación: Typic Dystrudepts; Typic Udorthents; Humic Dystrudepts (MUA)

Suelos profundos, bien drenados, extremada a fuertemente ácidos, contenidos altos de materia orgánica en el horizonte superficial y bajos a profundidad, texturas moderadamente finas y fertilidad baja en rocas ígneas volcánicas máficas (diabasas y balsaltos).

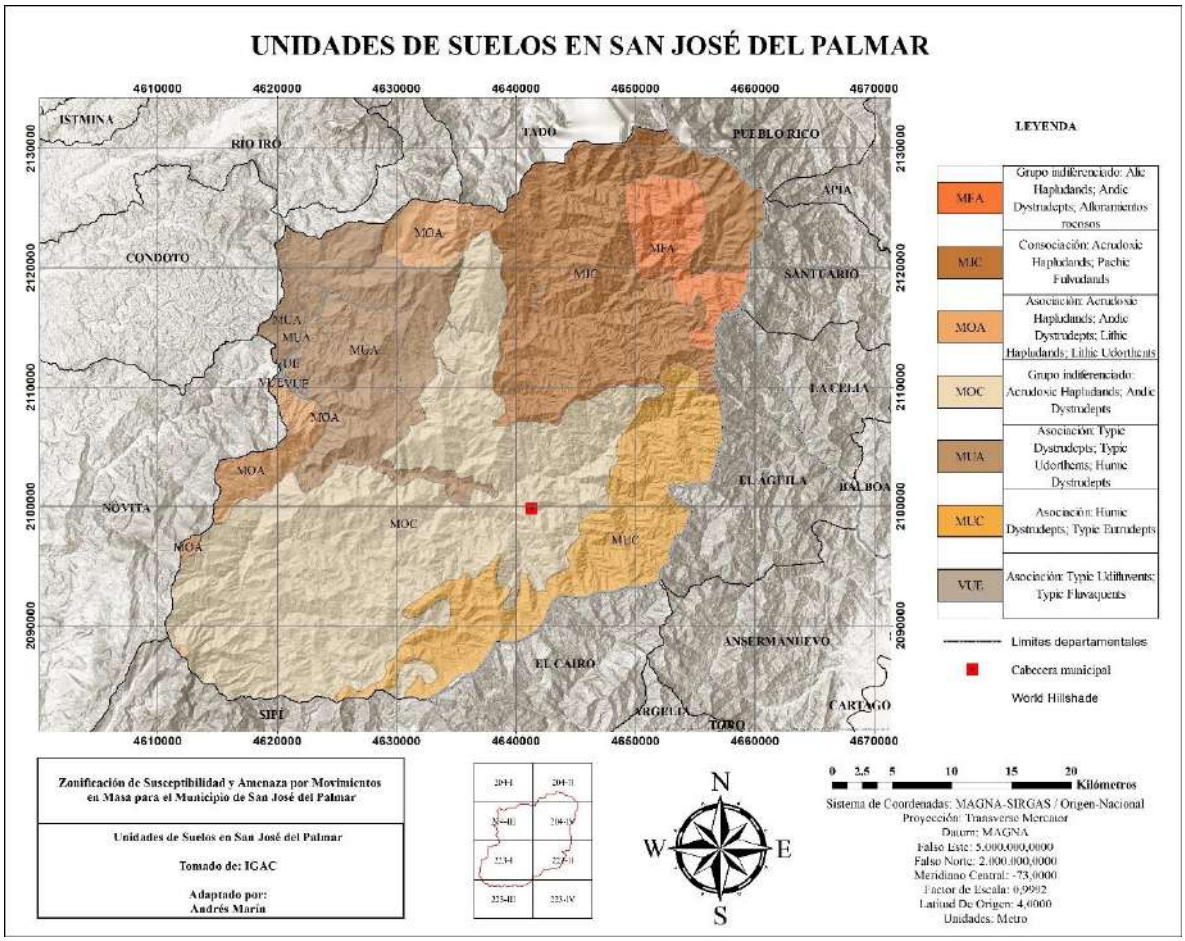
Asociación: Humic Dystrudepts; Typic Eutrudepts (MUC)

Suelos profundos, bien drenados, neutros a muy fuertemente ácidos, contenidos muy altos y bajos de materia orgánica, texturas medias a moderadamente finas y fertilidad alta a baja en rocas ígneas plutónicas intermedias (dioritas) y félsicas (cuarzodiorita).

Asociación: Typic Udifluvents; Typic Fluvaquents (VUE)

Suelos muy superficiales y superficiales, drenaje pobre y moderado, muy fuertemente ácidos a neutros, contenido de materia orgánica muy altos a moderados, texturas moderadamente gruesas a finas y fertilidad alta a baja en depósitos clásticos hidrogénicos cantos, gravas y arenas.

Mapa 26 Unidades de Suelos



Fuente: presente estudio

Tabla 21 Distribución de suelos

Taxonomia	Área km^2	Área %
Andisol	342	21.7%
Inceptisol	454	28.8%
Andisol & inceptisol	777	49.3%
Entisol	2	0.1%

Fuente: presente estudio

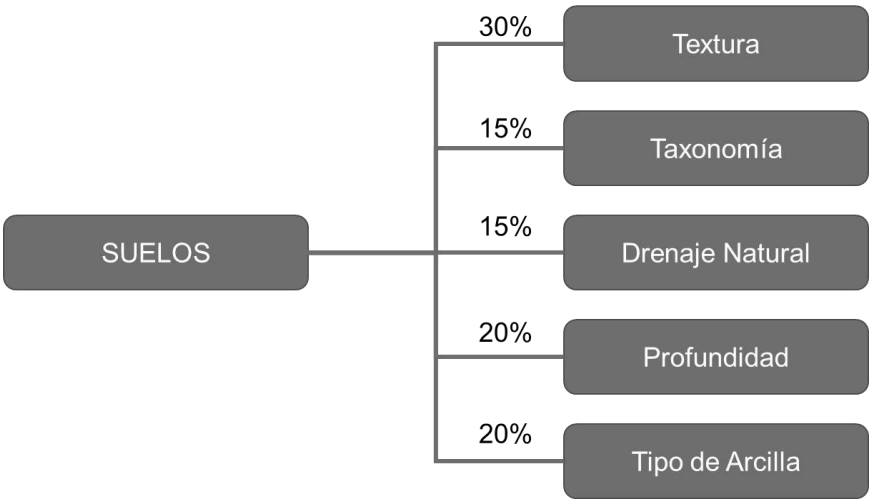
4.3.2. VALORACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR SUELOS

El suelo, al igual que las coberturas de la tierra son la entrada y el regulador inicial de la precipitación pluvial en el ecosistema. El movimiento del agua (escurrimiento o flujo superficial, infiltración, capilaridad, percolación, entre otros), tiende a modificar el estado de la materia y la energía del suelo, afectando sus propiedades y esfuerzos, pero sin alterar su naturaleza.

La determinación de las variables físicas de suelos permite caracterizar el comportamiento de estabilidad a lo largo de su perfil, a pesar de la versatilidad compleja en cuanto a sus cualidades y características, (IDEAM, 2009).

Las variables físicas consideradas en la caracterización de los suelos edáficos, con fines de susceptibilidad a los movimientos en masa para el presente estudio obedecen a la metodología planteada por el SGC (2013), la cual considera los atributos textura, taxonomía, drenaje natural, profundidad y tipo de arcilla. Su ponderación se presenta en la Figura 15.

Figura 15 Calificación de atributos de suelos en análisis de susceptibilidad



Fuente: (SGC, 2013)

4.3.2.1. TEXTURA

Para la calificación del atributo textura se utilizó la metodología propuesta por la sección edafología del SGC (2013) y los datos se extrajeron de la información incluida en el mapa nativo del estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Chocó. La clasificación textural se hace siguiendo los valores presentados en la Tabla 22.

Tabla 22 Calificación propuesta para la textura de suelos

Clase Textural	Calificación
Gr, A, FAGrP, AGr, AFP	1
AF, FAGr, FArGr, FArGr, FGr, FGrP	2
ArA, ArGr, FA, FArLGr, ArLgr, FLGr, ArAGr	3
F, F-Org, FAr, FArA, FArL, FL, FLOrg	4
Ar, ArL	5

Fuente: (SGC, 2013)

A= arena, L= limo, Ar= arcilla, F= franco, Gr= grava, P= piedra y Org= orgánico.

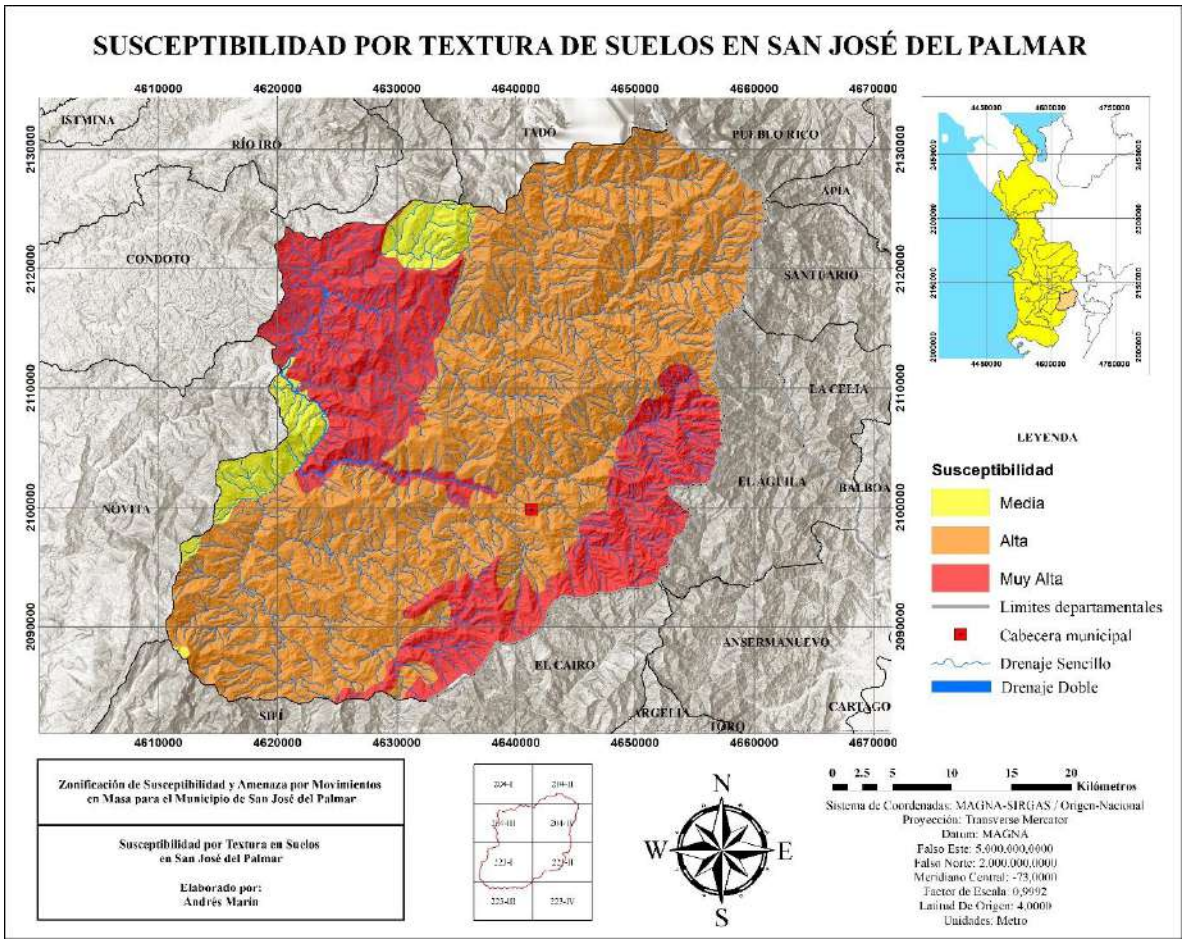
En el Mapa 27 y en la Figura 16 se observa la distribución y el área que ocupa dentro del área de estudio las calificaciones de susceptibilidad.

Susceptibilidad muy alta: Las zonas de susceptibilidad muy alta representan el 29% del municipio y se ubican en suelos con texturas gruesas, al occidente limitando con Condoto y al oriente en la parte alta de la cordillera occidental en la Serranía de Los Paraguas.

Susceptibilidad alta: Las dos terceras partes del municipio presenta susceptibilidad alta conformada por suelos de texturas finas y moderadamente finas ocupando el área central del área estudiada, entre el Cerro el Torra y el Parque Nacional Natural Tatamá.

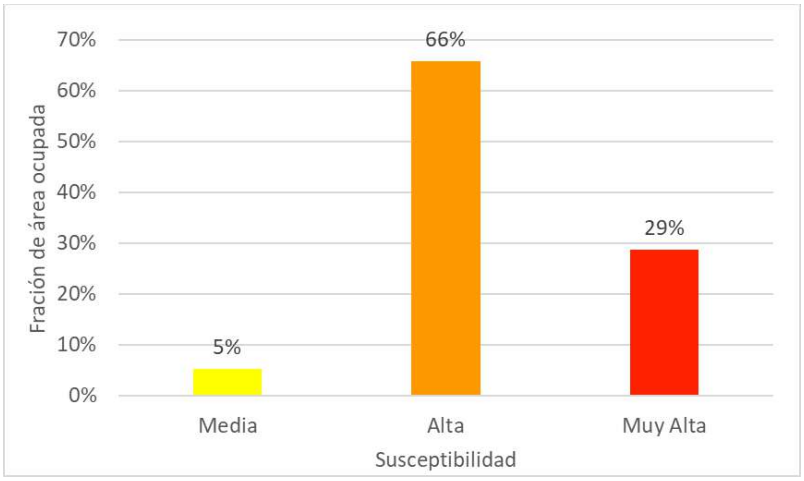
Susceptibilidad media: Las Zonas de susceptibilidad media representan el 5% del área total y se encuentra sobre suelos de texturas medias y moderadamente gruesas, en el suroccidente limitando con Nóvita y el norte con Condoto.

Mapa 27 Susceptibilidad por Textura en Suelos



Fuente: presente estudio

Figura 16 Distribución de susceptibilidad por textura



Fuente: presente estudio

4.3.2.2. TAXONOMÍA

Para la calificación del atributo taxonomía se utilizó la metodología propuesta por la sección edafología del SGC (2013). Se basa en calificar esta variable respecto al orden del suelo descrito (Tabla 23).

Tabla 23 Calificación propuesta para los órdenes de suelos

Orden de suelos	Calificación
Oxisol, Ultisol	1
Anfisol	2
Mollisol, Andisol, Espodosol	3
Vertisol, Aeidisol	4
Inceptiso, Entisol, Histosol	5

Fuente: (SGC, 2013)

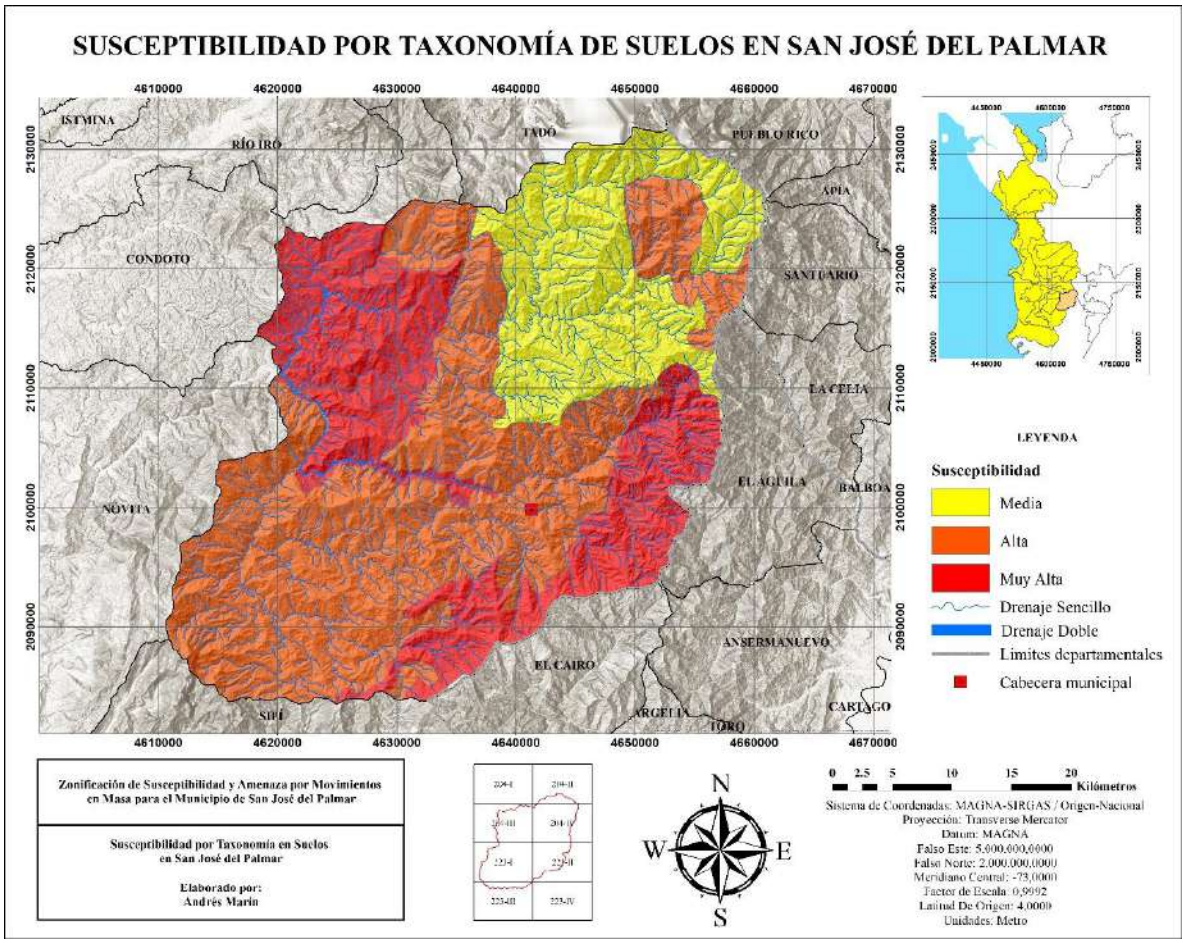
En el Mapa 28 se presenta la distribución de la susceptibilidad originada a partir de la calificación taxonómica.

Susceptibilidad muy alta: Las zonas de susceptibilidad Muy alta representan el 29% del área total conformada por entisoles e inceptisoles y se ubican en la franja oriental del municipio sobre la serranía de Los Paraguas y entre las cuencas bajas de los ríos Tamaná e Ingará cercano al paraje Juntas del Tamaná.

Susceptibilidad alta: El 49% del área municipal presenta susceptibilidad alta caracterizada por la presencia de andisoles e inceptisoles, distribuidos principalmente alrededor del cerro el Torra y la mayor parte de la cuenca del rio Ingará.

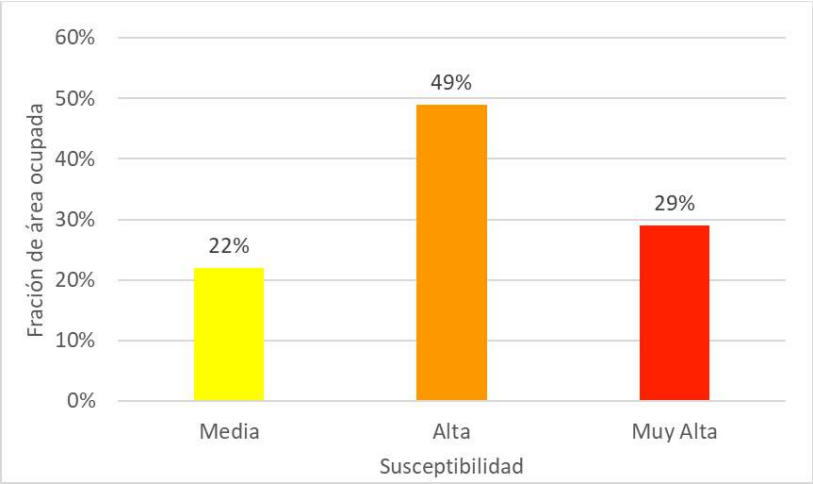
Susceptibilidad media: En las zonas más septentrionales, sobre el PNN Tatamá y su zona de amortiguación, se encuentran las zonas de susceptibilidad media que representan el 22% del área conformado por Andisoles.

Mapa 28 Susceptibilidad por Taxonomía de Suelos



Fuente: presente estudio

Figura 17 Distribución de susceptibilidad por taxonomía de suelos



Fuente: presente estudio

4.3.2.3. DRENAJE NATURAL

Para la calificación del atributo drenaje natural se utilizó la metodología propuesta por la sección edafología del SGC (2013) y se calificó según los valores presentados en la Tabla 24. Los datos se extrajeron de las descripciones de los perfiles presentados en el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras 1:100 000 del departamento del Chocó.

En el Mapa 29 se presenta la distribución de la susceptibilidad originada a partir de la calificación drenaje natural.

Tabla 24 Calificación propuesta para el drenaje natural en suelos

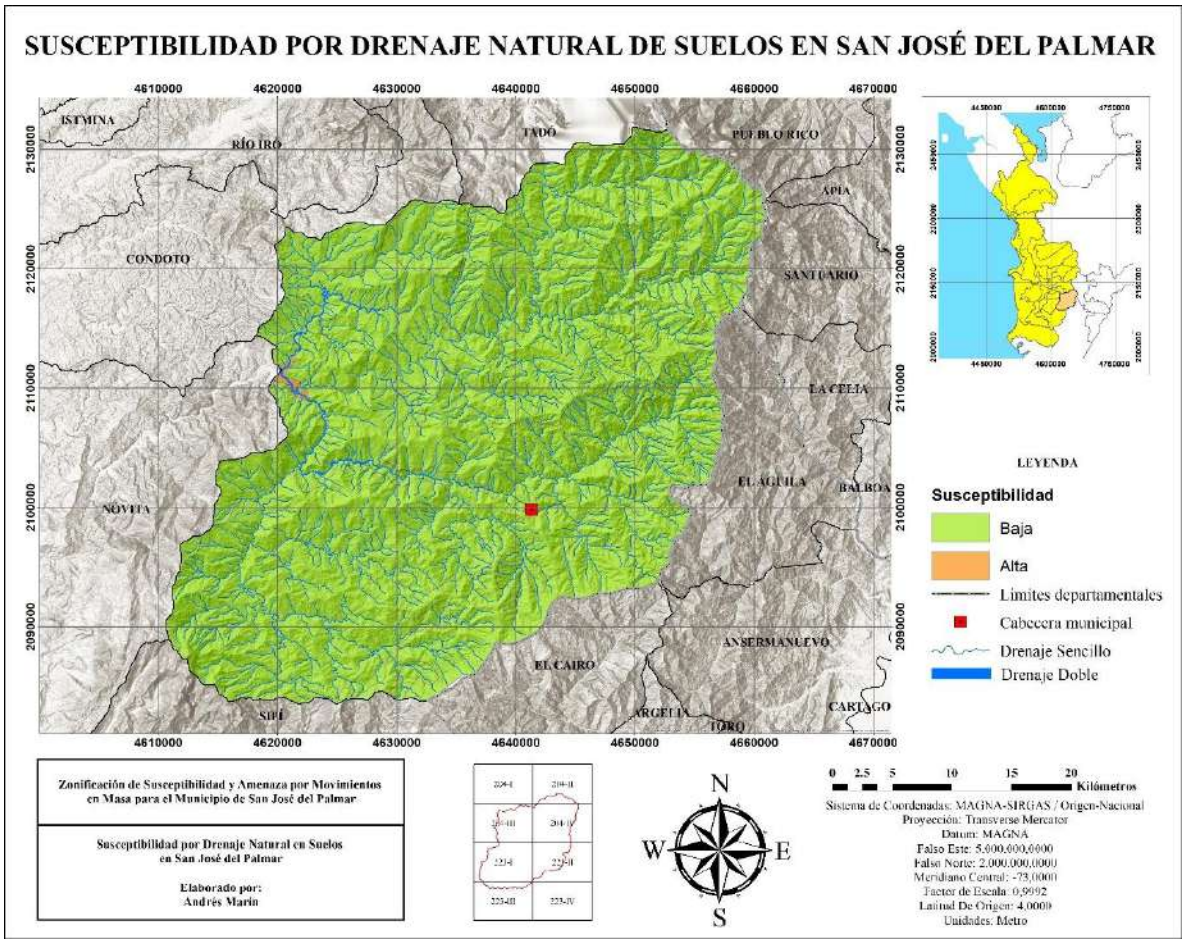
Clase	Características	Categoría de susceptibilidad
Excesivo	No retiene agua después de las lluvias.	1
Moderado excesivo	No retiene agua para las plantas después de las lluvias. El nivel freático nunca sube por encima de 2 metros.	1
Bueno (Bien)	Suelos óptimos para el abastecimiento de agua y aire a los cultivos. Nivel freático siempre por debajo de 80cm.	2
Moderado	El agua es removida lentamente hasta el nivel freático (40-80c en época de lluvias). Requiere drenaje para cultivos permanentes.	3
Imperfecto	Suelos con capas impermeables que impiden percolación en épocas de lluvias.	4
Pobre	Agua removida lentamente y los perfiles están mojados en la época de lluvias. Se requiere drenaje.	4
Muy pobre	Agua freática cerca o sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.	5
Pantanoso	Agua freática sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.	5

Fuente: (SGC, 2013)

Susceptibilidad alta: este grado de susceptibilidad se presenta solo en el 0,1% del área del municipio sobre la zona ubicada en la confluencia de los ríos Ingará, Tamaná e Irabubú en la región de Juntas del Tamaná.

Susceptibilidad baja: la mayoría del municipio presenta baja susceptibilidad por drenaje con el 99.9% del área total calificado como óptimo para el abastecimiento de agua y aire a los cultivos.

Mapa 29 Susceptibilidad por Drenaje Natural en Suelos



Fuente: presente estudio

4.3.2.4. PROFUNDIDAD

Para la calificación del atributo profundidad se utilizó la metodología propuesta por la sección edafología del SGC (2013) y se calificó según valores los presentados en la Tabla 25. Los datos se extrajeron de las descripciones de los perfiles presentados

en el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento del Chocó.

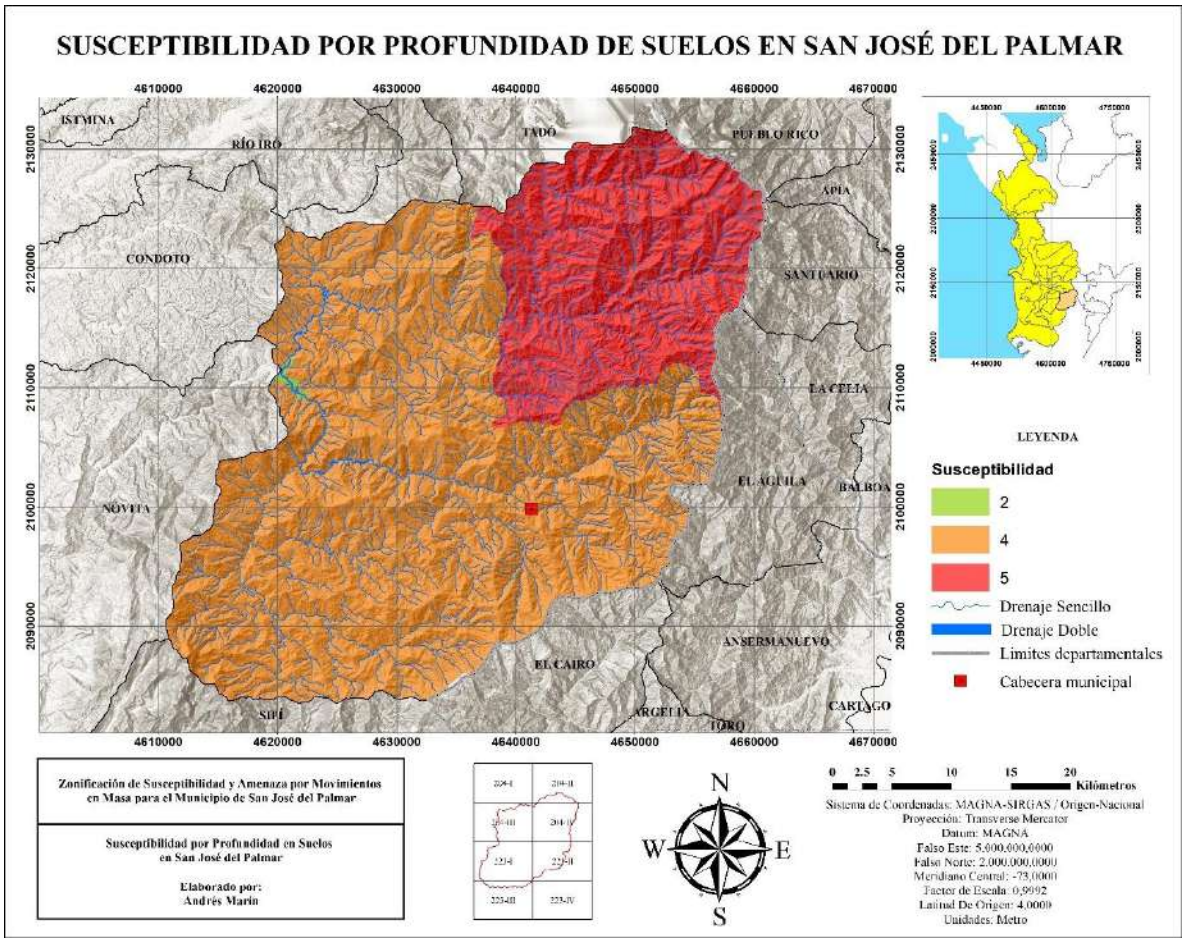
En el Mapa 30 se presenta la distribución de la susceptibilidad originada a partir de la calificación profundidad.

Tabla 25 Calificación propuesta para la profundidad del suelo

Profundidad (cm)	Categoría	Calificación
0 – 25	Muy baja o muy superficial	1
25 -50	Baja o superficial	2
50 -100	Media o moderadamente profunda	3
100 - 150	Alta o profunda	4
Mayor a 150	Muy alta o muy profunda	5

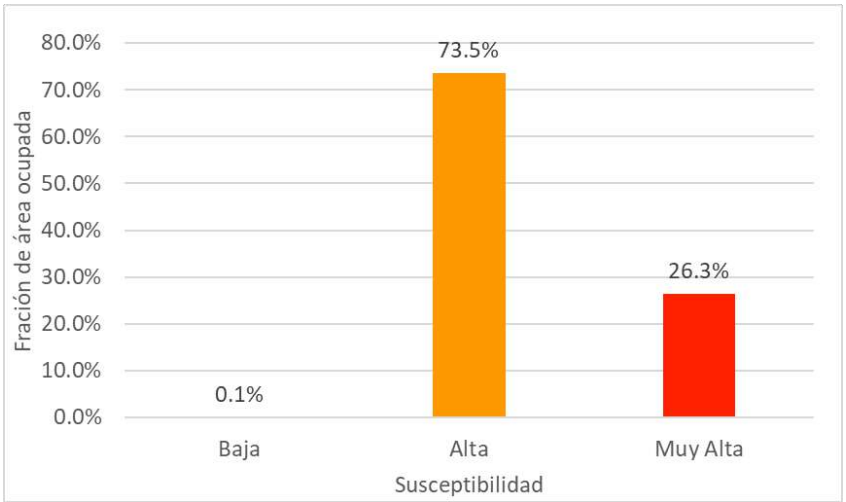
Fuente: presente estudio

Mapa 30 Susceptibilidad por Profundidad en Suelos



Fuente: presente estudio

Figura 18 Distribución de susceptibilidad por profundidad de suelos



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad muy alta: El 26.3% del área corresponde a zonas de susceptibilidad muy alta, ubicadas en la cuenca superior del rio Tamaná y sobre el PNN Tatamá y su zona de amortiguación.

Susceptibilidad alta: El 73.5% del área registrada corresponde a suelos con susceptibilidades por profundidad alta, correspondiente a toda la cuenca del rio Ingará y a la cuenca media y baja de los ríos Tamaná e Irabubú.

Susceptibilidad baja: La zona de baja susceptibilidad corresponde solo al 0,1% del área total y se encuentra en Juntas del Tamaná.

4.3.2.5. TIPO DE ARCILLA

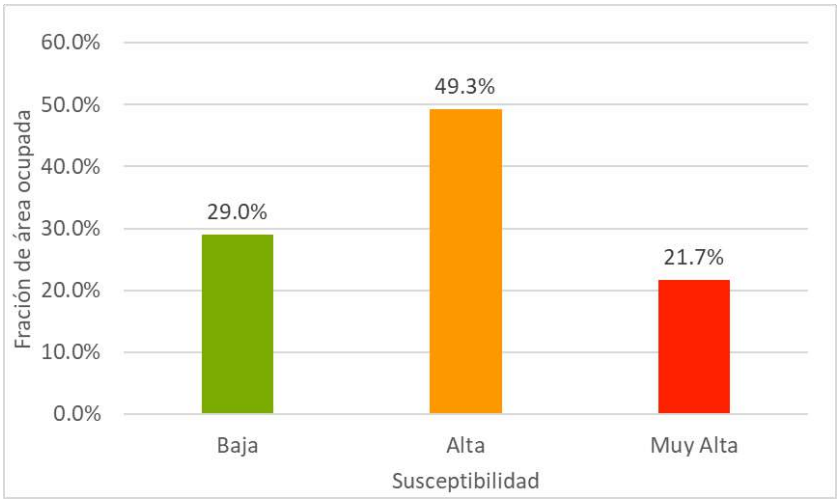
Para la calificación del atributo tipo de arcilla se utilizó la metodología propuesta por la sección edafología del SGC (2013) y se calificó según valores presentados en la Tabla 6. Los datos se extraen de las descripciones de los perfiles presentados en el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras 1:100 000 del Chocó.

Tabla 26 Calificación propuesta para el tipo de arcilla en los suelos

Grupos de tipo de arcilla	Calificación	Subgrupo	Orden
Caolinita	1	Oxisoles	Oxisoles, Ultisoles,
Caolinita, Biotita			
Caolinita, sesquióxidos, Montmorillonita, Vermiculita	2	Ultisoles, Espodosoles	Entisoles, Inceptisoles
Caolinita, Gibsita, Muscovita, Montmorillonita			
Montmorillonita, Clorita, Caolinita	3	Molisoles, Andisoles, Inceptisoles, Entisoles, Alfisoles, Sub. Vértic	Molisoles, Aridosoles, Alfisoles
Montmorillonita, Vermiculita, Caolinita			
Muscovita, Illita, Vermiculita, Montmorillonita	4	Vertisoles	Vertisoles
Muscovita, Montmorillonita, Vermiculita			
Talco, Muscovita, Vermiculita, Montmorillonita			
Alófana, Gibsita, Halloisita, Imogolita	5	Andisoles, Histodoles	Andisoles, Histodoles
Montmorilonita, Vermiculita			
M.O.			

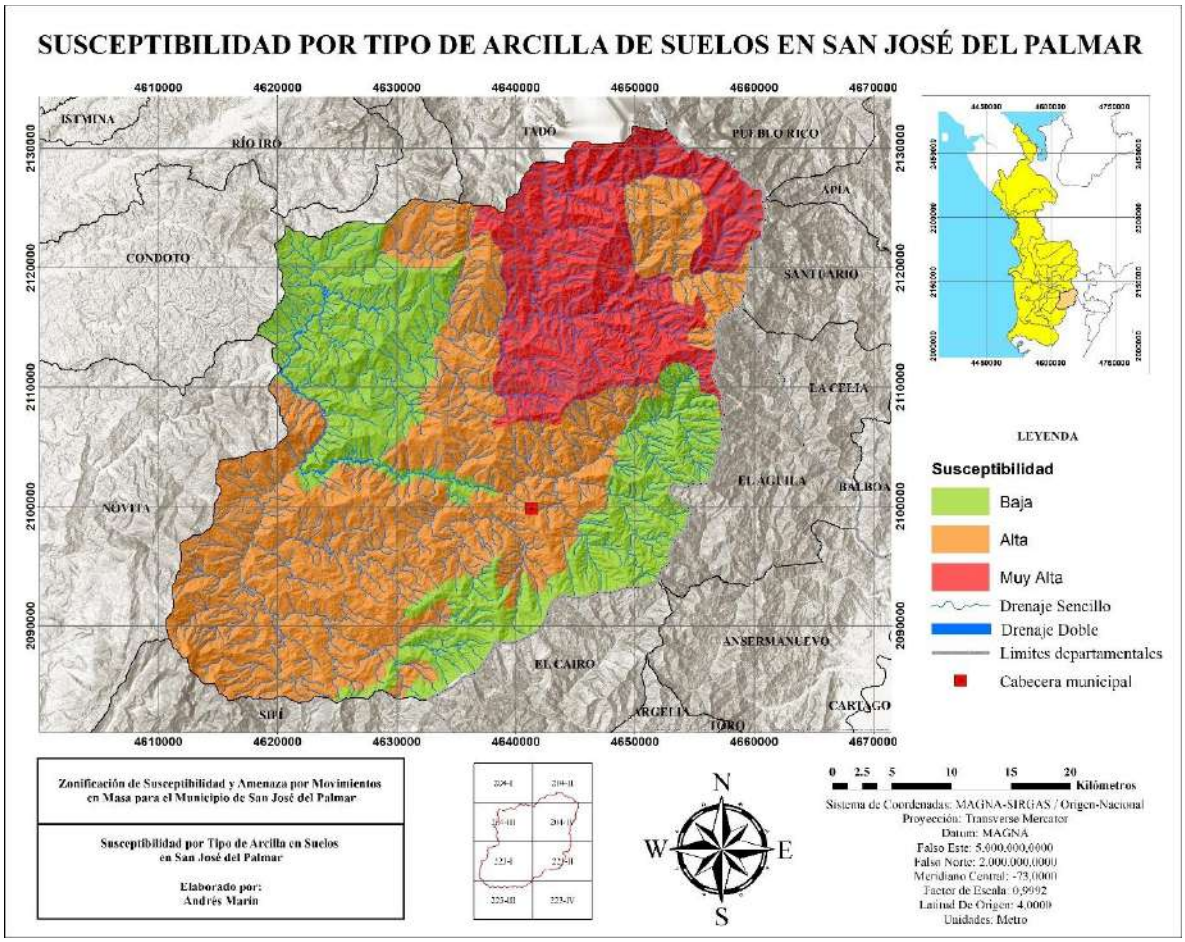
Fuente: (SGC, 2013)

Figura 19 Distribución de susceptibilidad por tipo de arcillas de los suelos



Fuente: presente estudio

Mapa 31 Susceptibilidad por Tipo de Arcilla en Suelos



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad muy alta: Las zonas de muy alta susceptibilidad se encuentran principalmente en la cuenca alta del Rio Tamaná y representa el 21.7% del área total.

Susceptibilidad alta: La susceptibilidad alta por tipo de arcilla corresponde a la de mayor presencia en el municipio con el 49.3% del área total, ubicado principalmente en la cueca del rio Surama e Ingará y en secciones de la cunca del rio Tamaná y del PNN Tatamá.

Susceptibilidad baja: Las zonas de susceptibilidad baja corresponden al 29% del área municipal y se encuentran la margen oriental sobre la serranía de Los

Paraguas y en las regiones más bajas del municipio cerca a la confluencia de los ríos Ingará, Tamaná e Irabubú.

4.4. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

4.4.1. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Las unidades presentadas en este estudio fueron tomadas y adaptadas de la memoria explicativa de mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa en escala 1:100.000 de las planchas 223 y 204 (SGC, Universidad EAFIT, 2014), como la unidad geomorfológica también representa la categoría de análisis hasta la escala 1:50.000 (Carvajal, 2012), se toma como fundamento para realizar el análisis de susceptibilidad morfogenético en este estudio.

En el municipio se identificaron un toral de 39 unidades geomorfológicas asociadas a tres ambientes geomorfológicos: denudacional, fluvial y estructural, cuyas características, localización y rasgos principales se describen a continuación.

4.4.1.1. GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL

El ambiente denudacional está determinado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales, y producto principalmente de procesos de meteorización, erosión y movimientos en masa, sobre geoformas preexistentes (Carvajal, 2012). En este ambiente, también se consideran aquellas geoformas que se crean a partir de la acumulación de sedimentos (INGEOMINAS, 2012).

Relación geológica de las geoformas

Esta Geoformas y ambiente denudacional se describen a continuación:

Cima (Dc)

Unidad de forma convexa plana y amplia que bordea algunas divisorias de aguas, con índice de relieve bajo a muy bajo, de pendiente plana a inclinada, con anchos entre 200 a 650 metros, limitadas por laderas cuya inclinación puede ser abrupta a escarpada.

Esta condición de zonas aplanadas ha sido aprovechada para el asentamiento de la cabecera municipal de San José del Palmar, también se puede encontrar en la parte oriental en los límites con el municipio del Cairo y en la parte superior del parque Nacional Natural Tatamá.

Imagen 33 Cima

Fuente: presente estudio

Colina residual disectada (Dcrd)

Elevación del terreno entre 200 y 399 metros sobre su nivel de base local, con cimas redondeadas y amplias de laderas cortas a moderadamente largas de forma convexa y pendiente muy inclinada a muy abrupta, con índice de relieve bajo a moderado. Estas geoformas se distinguen por su ligero grado de disección en forma de U, porque se han desarrollado sobre un substrato rocoso relativamente blando (fracturado) o suelos residuales, siendo favorecidos por una red de pequeñas

quebradas que drenan las aguas de escorrentía hacia las zonas topográficamente más bajas. Es una zona muy estable con escasos procesos de movimientos en masa. Esta geoforma se encuentra en el extremo norte del municipio en los límites con Novita y al Pueblo Rico.

Colina remanente disectada (Dcred)

Unidad de morfología colinada, con índice de relieve bajo a moderado, de laderas cortas a moderadamente largas de forma convexa y pendientes abruptas a escarpada, presenta topes redondeados y estrechos. Se caracterizan por la alta incisión de los drenajes, generando valles en "U" abiertos.

Estas geoformas son originadas por procesos de denudación intensos y cuyas laderas se caracterizan por la alta disección de los drenajes, generando valles en U. Se localiza en dos zonas del municipio, la primera se encuentra en el norte en los límites entre San José del Palmar y Condoto restringía al sur por la quebrada Irabubú, y la segunda cerca del límite con el municipio del Águila y sobre la margen derecha del río Ingará.

Cerro o relicto (Dcrem)

Prominencias aisladas de morfología alomada o montañosa, que sobresale de la topografía circundante. Entre los Municipios de San José del Palmar, Sipí y Nóvita, se identifica la parte alta del Cerro Torrá con índice de relieve muy alto, cimas subagudas y continuas, laderas de longitud muy larga, forma recta y convexa; el patrón de drenaje es subdendrítico, el grado de incisión moderado a fuerte y genera valles en "V" cerrada; es una prominencia topográfica rodeada de rocas sedimentarias del Cretácico.

Colina residual muy disectada (Dcrmd)

Unidad de morfología colinada con un índice de relieve moderado, topes angulares a subangulares al norte y cimas alargadas, subredondeadas y amplias al sur, con laderas de forma rectilíneas a convexas, de pendientes muy abrupta a escarpadas, de longitud larga, con un patrón de drenajes dendríticos y subparalelo. Estas geoformas se distinguen por su alto grado de disección en forma de V, porque se

han desarrollado sobre un substrato rocoso relativamente blando (fracturado) y en rocas estructuralmente tabulares o ligeramente inclinadas o suelos residuales, siendo favorecidos por redes de drenaje que disectan o cortan los materiales

Esta geoforma se puede encontrar en diferentes partes del municipio, en la zona occidental cercano a los limites San José del Palmar con Novita entre la quebrada Irabubú y el río Tamaná, al noroccidente entre los límites del municipio con Tadó y Nóvita y restringida al sur por la quebrada Irabubú, y en las zonas más elevadas del parque nacional natural Tatamá cerca a los límites con Pueblo Rico y Santuario.

Loma denudada (Dld)

Unidad de morfología alomada, con un índice de relieve bajo, con topes amplios subredondeados a redondeados, laderas largas a muy largas muy inclinadas a muy abruptas, patrón de drenaje subparalelo, con valles en "V" abierta e incisión alta. Estas geoformas se caracterizan por presentar movimientos en masa y procesos erosivos intensos.

Esta geoforma se encuentra en el extremo noroccidental del municipio en los límites con el municipio de Condoto y en la margen derecha de la quebrada Urábara.

Lomo denudado moderado de longitud larga (Dldeml)

Unidad de morfología alomada, con índice de relieve moderado a bajo, topes subredondeados amplios. Laderas con longitudes cortas a moderadamente largas, muy inclinadas a abruptas. Presenta un patrón de drenaje de subdendrítico a subparalelo, con valles en forma de "V" con una alta incisión.

Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo entre 250 m y 1000 m y la longitud del eje principal es mayor que 1000 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. Se localizan en la margen izquierda del río Ingará, en el límite entre los municipios de San José del Palmar y Nóvita.

Lomeríos disectados (Dldi)

Unidad con morfología alomada o colinada, con índice de relieve bajo, caracterizada por una repetición de colinas de topes redondeados, con laderas cortas y pendientes inclinadas a abruptas, de longitud corta y en general de forma convexa, caracterizadas por un patrón de drenaje subdendrítico denso y valles en forma de "V" e incisión leve a moderada. Se encuentran al norte de la desembocadura de la quebrada Urábara en el río Tamaná, y sobre el flanco norte de esta última.

Loma Residual (Dlor)

Unidad de colinas, con altura promedio de 300 m, con índice de relieve baja, caracterizada por topes subangulares - subredondeados, pendientes muy inclinadas a abruptas, longitudes cortas a moderadamente largas, de forma convexa. Esta unidad presenta patrón de drenaje subdendrítica, con valles en forma de "V" abierta, con un grado de incisión alto. Están asociados a suelos residuales con espesor superior a 3 metros, localmente pueden estar cubiertos por delgados depósitos de cenizas volcánicas y delgados niveles de material coluvial. Son unidades muy estables que no presentan movimientos en masa, producto de la espesa cobertura vegetal. Esta unidad se encuentra en los límites con el municipio de Santuario sobre la margen izquierda del río cruces en el norte.

Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)

Unidad con morfología alomada, con un índice de relieve muy bajo, con desarrollo de topes redondeados a subredondeados, con vertientes que presentan inclinaciones bajas, longitudes cortas a muy cortas y forma predominante convexa. Presenta un patrón de drenaje divergente con valles en forma de "U" abierta y grado de incisión alto. Se identifica en la margen derecha del río Surama en la vereda Llanadas del Surama.

Sierra denudada (Dsd)

Unidad caracterizada por relieve de colinas y montañas, con índice de relieve de moderado a alto; caracterizada por topes subangulares a subredondeados; laderas con inclinaciones muy abruptas y longitudes largas; patrón de drenaje subdendritico

a subparalelo que desarrolla valles en forma de "V" abierta, con un grado de incisión que varía entre moderado y fuerte. Su origen se asocia a procesos de erosión acentuada en sustrato rocoso homogéneo ígneo.

Esta unidad se pudo encontrar en dos sectores: en la vereda Piedra Grande, limitada por el norte por la quebrada Cocotea, por el este por la quebrada Cristalina dieta tradicional y hombros cantidad de gente y por el oeste con la quebrada Urábara; y en la vereda Chuagará, limitada al norte por la quebrada Irabubú y al sur por la quebrada La Salsa.

Sierra residual (Dsr)

Unidad de morfología montañosa, caracteriza por presentar un índice de relieve moderado, con algunas variaciones a alto, topes amplios y alargados; laderas con inclinaciones muy abruptas y de longitudes largas; patrón de drenaje subdendrítico, con valles en forma de "U" abierta, fuertemente incisados. Asociada con suelos residuales con espesores mayores a 3 metros. Su origen se asocia a procesos de meteorización intensa. Se encuentra localizada al noroeste del municipio en los límites con Condoto, al margen derecho del río Irabubú.

4.4.1.2. GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL

Las geoformas de origen fluvial y lagunar están originadas por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y acumulación o sedimentación de materiales en las zonas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera es posible encontrar geoformas aledañas a ríos y quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre. Las unidades de origen aluvial identificadas hasta el momento y su definición se listan a continuación.

Cauce aluvial (Fca)

Se presenta como canales aluviales activos de forma irregular, presentan anchos que oscilan entre los 30 y 50 metros, esta unidad está asociada a los cauces de la quebrada Rumbazón del río El Pital.

Cono de deyección (Fcdy)

Superficie plana con índice de relieve bajo, drenajes incipientes, en forma de cono en planta y de 5° - 10° de inclinación de decenas de metros de extensión, ubicados en el punto donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios. Se constituyen de tierras, arena y grava, en espesores, en donde los materiales más gruesos se localizan hacia el ápice en la zona de salida y los más finos en la zona distal.

Planicie aluvial confinada (Fpac)

Franja elongada y angosta, con índice de relieve muy bajo, pendiente plana a suave que bordea los cauces de los ríos El Brasil, Suramita, Ingará, Corcovado y Toro Viejo. Estas planicies aluviales confinadas tienen forma de "U" abierta y están limitadas por otras geoformas de morfología colinada, alomada o montañosa

Plano o llanura de inundación (Fpi)

Superficie de morfología plana, con índice de relieve muy bajo, que se inunda eventualmente durante períodos de lluvia prolongadas. Estos cuerpos presentan una red de drenaje subparalela, de baja incisión y baja densidad de drenajes, conformando pequeños valles en "U" abiertos.

Esta unidad está representada por las llanuras de los ríos Ingará y Tamaná y las quebradas La Salsa y Las Culebras

Terraza de acumulación (Fta)

Unidad de morfología plana a suavemente ondulada, limitada por escarpes de diferente altura, presentan diferentes alturas y tamaños, su origen está relacionado con procesos de erosión y acumulación aluvial dentro de las antiguas llanuras de inundación de las cuencas presentes en la plancha.

Estas terrazas pueden hacer parte de cauces rectos o meándricos, siendo los primeros muchas veces asociados a control estructural. Se constituyen de gravas arenas, limos y arcillas, cuyo tamaño va disminuyendo a medida que se aleja del cauce del rio. Esta geoforma se encuentra presente en Juntas del Tamaná en donde se unen los ríos Ingará y Tamaná.

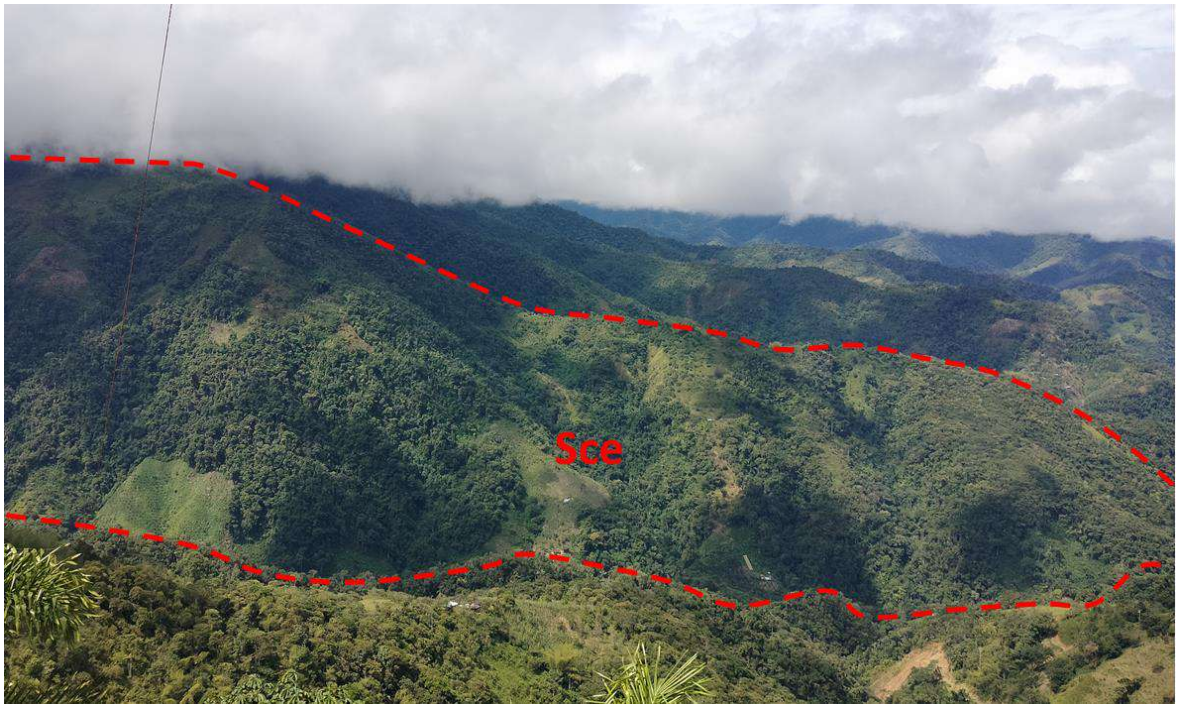
4.4.1.3. GEOFORMAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL

Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos, cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural, al plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en diverso grado por los procesos de denudación. Las unidades de origen estructural identificadas en la zona de estudio se listan a continuación.

Cerro estructural (Sce)

Prominencia topográfica de relieve alomado con índice de relieve bajo, las laderas tienen longitud moderadamente larga, de formas planas a convexas, pendientes abruptas a escarpadas, con patrón de drenaje subparalelo y grado de incisión leve a moderado. Se localiza al suroccidente de la Vereda El Retiro (San José del Palmar) y está controlado por las trazas de las fallas Río Blanco Este y Río Blanco Oeste.

Imagen 34 Cerro estructural



Fuente: presente estudio

Ladera de contrapendiente de cuesta (Sclc)

Ladera de longitud muy corta a corta, de formas cóncava o convexa y con pendientes escarpadas, con estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, Se constituye de intercalaciones de rocas duras a intermedias de origen ígneo, con desarrollo de drenaje dendrítico - subparalelo.

Localizada al norte del Alto del Guanábano, limitada al norte por río Tamaná y al suroeste por la quebrada Piedras de Moler y al este por la quebrada Urábara

Ladera estructural de cuesta (Scle)

Caracterizada por tener longitudes largas a extremadamente largas, de forma recta a irregular, con pendientes inclinadas a muy inclinadas, con estratos dispuestos en favor de la pendiente del terreno (10°- 25°) presenta drenajes poco incisados subparalelos espaciados. Estas geoformas son definidas por la disposición subvertical de las rocas granulares. Localizada al noroeste del Alto del Guanábano y limitada al norte por río Tamaná y al oeste por el río Ingará.

Espinazo (Se)

Conjunto de sierras simétricas, de morfología colinada y alomada, con crestas subredondeadas e índice de relieve moderado, las laderas son moderadamente largas a largas y las pendientes varían entre abruptas y muy escarpadas. El patrón de drenaje es subparalelo, el grado de incisión es moderado a fuerte y los valles tienen forma de "V" cerrada. Esta geoforma se identifica en la parte sur occidental del municipio en la base del cerro El Torrá y al occidente del río Surama.

Espolón faceteado bajo de longitud larga (Sefcbl)

Prominencias topográficas de morfología colinada y simétricas, con índice de relieve bajo, las cimas son de longitud larga y forma subredondeada a subangular. Presenta laderas con inclinaciones abruptas a muy escarpadas y longitudes moderadamente largas a largas, de forma rectilínea y convexa, destacándose que perpendiculares a ella forman facetas triangulares.

Estos espolones tienen un relieve relativo menor de 250 m y la longitud del eje principal del espolón es mayor a 1000 m. El patrón de drenaje dominante es subparalelo a paralelo, con valles en forma de "V" cerrado e incisiones moderadas.

Se localizan el municipio San José del Palmar en tres sectores: margen derecha del río Ingará, al oriente del río Torito en las veredas El Retiro y La Despensa, y en las vertientes del rio Sumarita en la Vereda Venenero.

Espolón faceteado bajo de longitud media (Sefcbm)

Conjunto de prominencias topográficas, de morfología alomada e índice de relieve bajo, predominan las cimas agudas de longitud media, laderas con inclinaciones entre muy abruptas y escarpadas, longitudes moderadamente largas a largas, con formas rectas y convexas. Se caracteriza por las facetas triangulares desarrolladas perpendiculares a la tendencia de la cima del espolón, y están asociados con los sistemas de Fallas Río Blanco Oeste.

El relieve relativo es menor de 250 m y la longitud del eje principal del espolón oscila entre 250 y 1000 m; presenta un patrón de drenaje subparalelo con valles en forma de "V" cerrados, moderadamente incisados y se localiza en la parte sur del área municipal en límites con el municipio de Sipí.

Espolón faceteado moderado de longitud larga (Sefcml)

Salientes topográficas de morfología colinada y de forma predominantemente simétrica, con índice de relieve moderado, los topes son de longitud larga y forma subredondeada a subangular. Presenta laderas con inclinaciones abruptas a escarpadas y longitudes moderadamente largas a largas, de forma recta y convexa, destacándose que perpendiculares a ella se forman facetas triangulares. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" cerrado e incisiones moderadas a fuertes.

Estos espolones tienen relieve relativo entre 250 m y 1000 m, la cima es aguda y la longitud del eje principal del espolón es mayor de 1000 m. Están asociados con la traza de sistemas de fallas regionales con tendencia NE y la red de drenaje es subparalela.

Se localizan al norte del área de estudio en diferentes sectores. Se presenta al noroccidente del municipio limitado por el río Ingará al norte; en cercanías al límite con El Águila; y en cercanías al límite entre El Cairo y El Águila limitado por la quebrada El Pie.

Espolón festoneado alto de longitud larga (Sefesal)

Unidad de morfología montañosa, el índice de relieve es alto y tiene laderas de longitud larga con pendientes que varían entre muy inclinadas a muy abruptas con formas rectas y cóncavas, con topes angulares a subangulares. Presenta un patrón de drenaje subparalelo-subdendrítico con valles en forma de "V" abiertos, con un grado de incisión alto. Tienen un índice de relieve alto, altura mayor de 1.000 m, y una longitud con la misma relación.

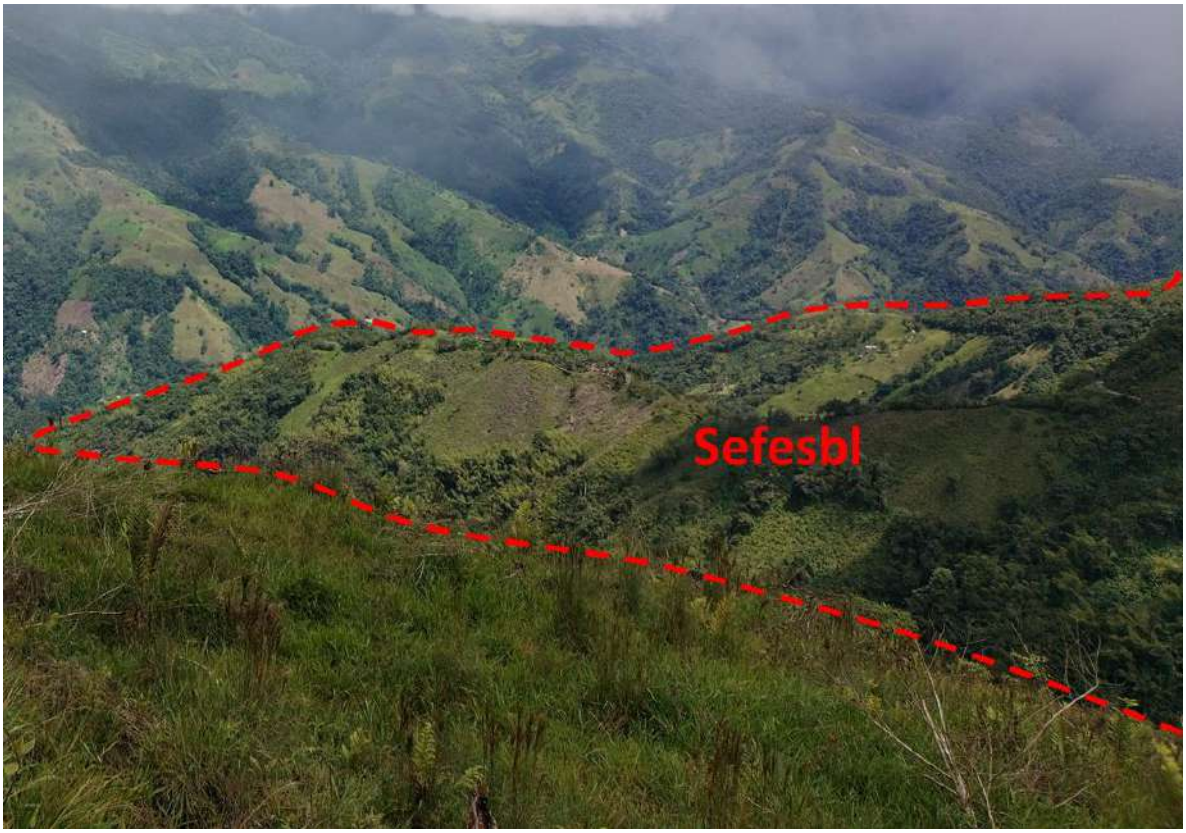
Se encuentra localizado en la parte alta de los limites departamentales entre Chocó, Risaralda y Valle del Cauca. En el nacimiento del río Tamaná.

Espolón festoneado bajo de longitud larga (Sefesbl)

Conjunto de prominencias topográficas, de morfología alomada y de forma simétrica, con índice de relieve bajo, topes de longitud larga y forma subredondeada. Presenta laderas con pendientes abruptas a muy escarpadas y longitudes moderadamente largas a largas, de forma irregular entre cóncavo y convexa. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" cerrada e incisiones moderadas a fuerte.

El eje principal del espolón tiene más de 1000 m y el relieve relativo es menor de 250 m. Están asociados a la traza de la Falla de Surama y otras estructuras regionales. Se localizan sobre la margen izquierda del río Surama en cercanías de la vereda Llanadas del Surama. También se identifica en la margen izquierda del río Ingará entre la quebrada El Salado y el río Corcovado.

Imagen 35 Espolón festoneado bajo de longitud larga



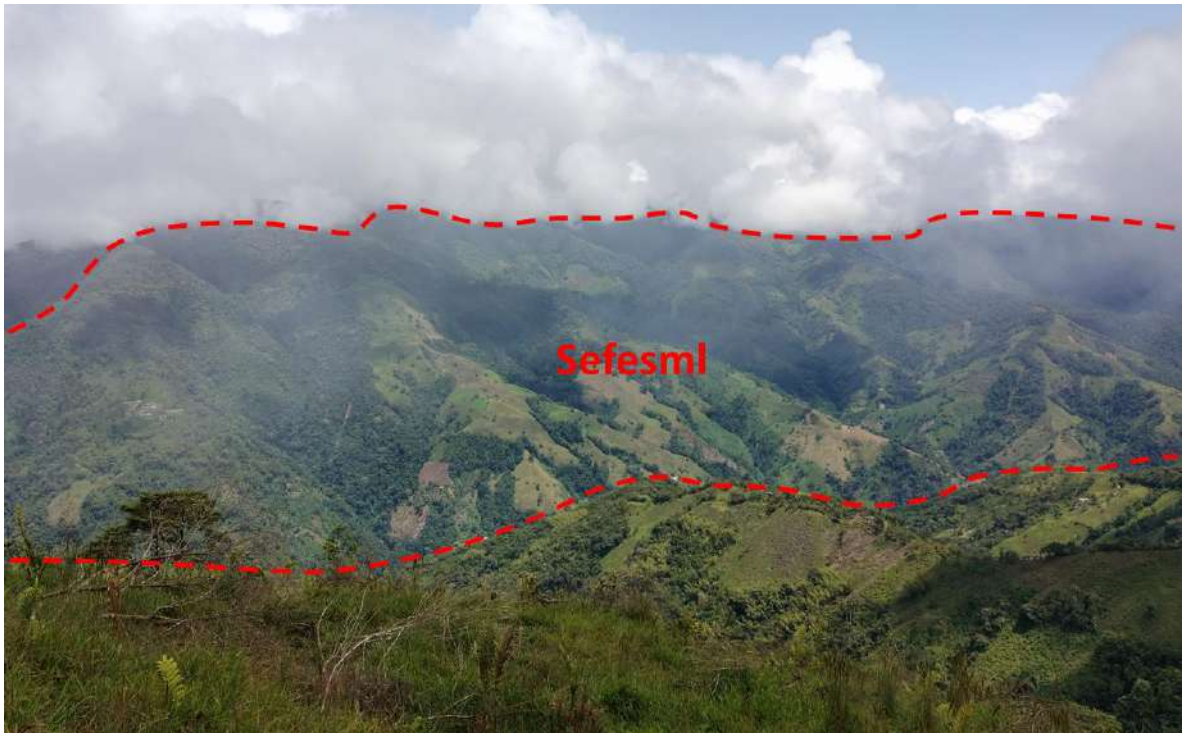
Fuente: presente estudio

Espolón festoneado moderado de longitud larga (Sefesml)

Unidad de morfología alomada, con topes angulares a subangulares, el índice de relieve es moderado y tiene laderas de longitud larga con pendientes que varían entre muy inclinadas a muy abruptas con formas rectas y cóncavas. Eventualmente se generan movimientos en masa, principalmente deslizamientos rotacionales. Tiene un índice de relieve moderado, entre los 250 m y 1.000 m de altura, y la longitud de los filos es mayor de 1.000 m. Están asociados con el sistema de fallas que siguen la tendencia regional NE y lineamientos transversales a éstas.

Se localiza en margen derecha del río Ingará en el sector de las veredas El Cedral y El Cope, al suroccidente en los límites con el municipio de Nóvita y en la parte alta del Parque Nacional Natural Tatamá.

Imagen 36 Espolón festoneado moderado de longitud larga



Fuente: presente estudio

Espolón bajo de longitud larga (Sesbl)

Prominencia topográfica de morfología alomada, con índice de relieve relativo bajo. Se caracteriza por presentar topes de longitud larga y forma subredondeada, las laderas tienen pendientes que oscilan entre abruptas escarpadas, moderadamente largas a largas y de formas convexas - rectas. El patrón de drenaje es subparalelo, con valles en forma de "V" abiertos y moderadamente incisados.

Los espolones tienen un relieve relativo menor de 250 m y el eje principal tiene una longitud mayor a 1000 m y, se disponen perpendiculares a los sistemas de fallas regionales de dirección NE y otros sistemas menores y transversales al sistema regional. Son frecuentes movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional y traslacional, y procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca.

Se localizan en la margen izquierda del río Toro Viejo en la vereda Campo Alegre y la margen derecha del río Corcovado en la Vereda Corcovado.

Espolón bajo de longitud media (Sesbm)

Conjuntos de prominencias topográficas, de morfología alomada, índice de relieve relativo bajo y tope de longitud media con forma subangular. Las laderas son moderadamente largas, pendientes que varían entre abruptas a muy escarpadas, y forma recta - convexa. Presenta un patrón de drenaje subparalelo, el grado de incisión es leve a moderado y desarrolla valles en forma de "V" cerrada.

Los espolones tienen un índice de relieve relativo menor de 250 m y el eje principal tiene una longitud que oscila entre 250 m y 1000 m. En general, son perpendiculares a los sistemas de fallas regionales con tendencia NE. Se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca con intensidad leve a moderada.

Se localizan en la margen izquierda de la quebrada El Pie en el sector de la vereda La Divisa de San José del Palmar, al sur en inmediaciones del límite con Sipí y al suroriente en el límite con El Cairo.

Espolón moderado de longitud larga (Sesml)

Unidad de morfología colinada a montañosa, con índice de relieve moderado a alto; presenta topes alargados subredondeados - subangulares, con pendientes caracterizadas por inclinaciones muy abruptas a escarpadas y longitudes largas. El patrón de drenaje dominantes es paralelo a subparalelo, con valles en forma de "V" cerrados y con un alto grado de incisión. Tiene un índice de relieve bajo, entre los 250 m y 1.000 m de altura, y la longitud de los filos mayor de 1.000 m.

Esta unidad de espolones se encuentra asociada a las fallas de Rio Blanco y San Pedro de Ingará con dirección NE, en la vereda Rio Verde sobre la margen derecha del río Ingará.

Gancho de flexión (Sgf)

Unidad de morfología colinada a montañosa (forma de gancho en vista de planta), se caracteriza por un índice de relieve moderado a alto, laderas cóncavas a rectilíneas con inclinaciones que van de abruptas a muy abruptas y de longitudes largas. El patrón de drenaje que se presenta es subdendrítico - subparalelo, con valles en forma de "V" abierto y con un grado de incisión alto.

Se encuentra localizada hacia el norte del municipio entre los ríos Ingará y Aná.

Ladera contrapendiente (Slcp)

Superficie en declive de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes que oscilan entre moderadamente largas y muy largas. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" cerrado e incisiones moderadas. Se caracterizan por la presencia de planos (estratos, foliación, diaclasamiento, entre otros) dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno. Se presentan importantes movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional y traslacional que involucran suelos residuales, también hay procesos erosivos tipo cárcavas y terraceta.

Se localiza en la margen izquierda del río Toro Viejo, en la Vereda Curundó limitando al sur con el río Ingará, en la margen derecha del río Hábita, en la cuenca alta del río Brasil, al occidente en límites con el municipio de Sipí y en la margen derecha del río Aristos cerca de su desembocadura en el río Tamaná.

Imagen 37 Ladera contrapendiente

Fuente: presente estudio

Ladera Estructural (Sle)

Superficie en declive de pendientes abrupta a muy escarpadas, presenta longitudes largas y muy largas, con forma rectilínea. El patrón de drenaje es subparalelo a subdendrítico, con un grado de incisión leve a moderado y valles en forma de "V" cerrada.

Es común la presencia de movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional y traslacional que involucran grandes áreas, también se presentan procesos erosivos terraceta o pata de vaca en estado moderado y hacia el municipio de Ansermanuevo, se observan focos de erosión concentrada y degradación de los suelos en estado moderado.

Se identifica en la margen derecha del río Ingará en el sector de San Pedro de Ingará; en la margen derecha del río Suramita en el sector de la vereda Suramita, en la margen derecha del río Hábita y la quebrada San Antonio y en la margen izquierda del río Torito.

Ladera escalonada (Sles)

Ladera de pendientes abruptas a escarpadas, de longitud larga a muy larga, de aspecto irregular, con estratos dispuestos a favor o en contra de la pendiente del terreno. El patrón de drenaje es subparalelo, con un grado de incisión fuerte y valles en forma de "V" cerrados. Esta unidad se localiza en la vertiente del río Ingará al occidente del municipio.

Sierra de barras estructurales (Ssbe)

Sierra elongadas de morfología alomada de laderas irregulares a escalonadas cortas, definidas por la disposición estructural vertical o casi vertical de secuencias sedimentarias. Es característico el avanzado estado erosional de las laderas. Esta unidad está localizada sobre la margen izquierda del río El Pital hasta la divisoria de agua de los ríos Ingará y Tamaná

Sierra homoclinal (Ssh)

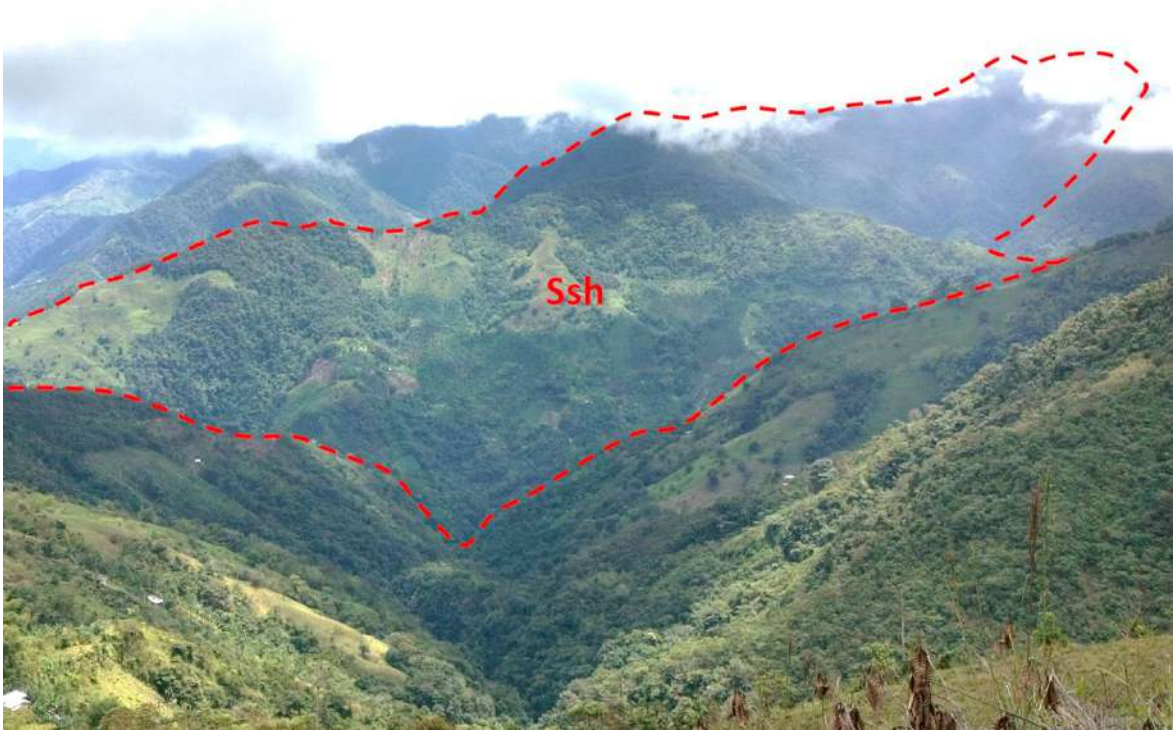
Conjunto de prominencias topográficas ligeramente simétricas elongadas y de morfología colinada a montañosa, con índice de relieve moderado a alto, de cimas

subredondeadas a subangulares, de pendientes abruptas a muy escarpadas, de longitud moderadamente larga a larga. La red de drenaje presenta un patrón paralelo a subparalelo, con una incisión moderada a fuerte y se desarrollan valles en forma de "V" cerrada. La característica principal se centra en que la disposición de los estratos o capas están apilados e inclinados (> 35°) en una misma dirección.

Se identifican en la margen izquierda del río Ingará en el sector de las veredas La Selva y Cruces de San José del Palmar y al suroccidente en el límite con Sipí

Se presentan movimientos en masa tipo deslizamiento traslacional, rotacional y flujos, procesos erosivos moderados a intensos tipo cárcavas, terraceta o pata de vaca.

Imagen 38 Sierra homoclinal



Fuente: presente estudio

Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc)

Caracterizada por laderas con inclinaciones abruptas a escarpadas y longitudes de corta a larga, rectilíneas y cóncavas. Presenta un patrón de drenaje subparalelo,

con valles en forma de "V" abierta y con un alto grado de incisión. La ladera de sierra homoclinal definida por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente.

Se encuentra ubicada al oeste del río Tamaná sobre el parque nacional natural Tatamá.

Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle)

Unidad de laderas cóncavas-rectilíneas de longitud larga a muy larga, con pendientes abruptas a muy abruptas, caracterizada por un poco densidad de drenajes subparalelos a paralelos, valles en "V" con alta incisión. Definida por la inclinación de los estratos en favor de la pendiente.

Esta geoforma se encuentra en la parte alta del río Tamaná sobre su margen derecha.

Sierras y lomos de presión (Sslp)

Unidad de morfología montañosa a alomada, presenta un índice de relieve moderado a alto, los topes son subredondeados a subangulares, con laderas que tienen pendientes entre abruptas y muy escarpadas, con forma recta - convexa y de longitudes que varían entre moderadamente largas y largas. Desarrolla un patrón de drenaje subparalelo con valles en forma de "V" cerrado, fuertemente incisados.

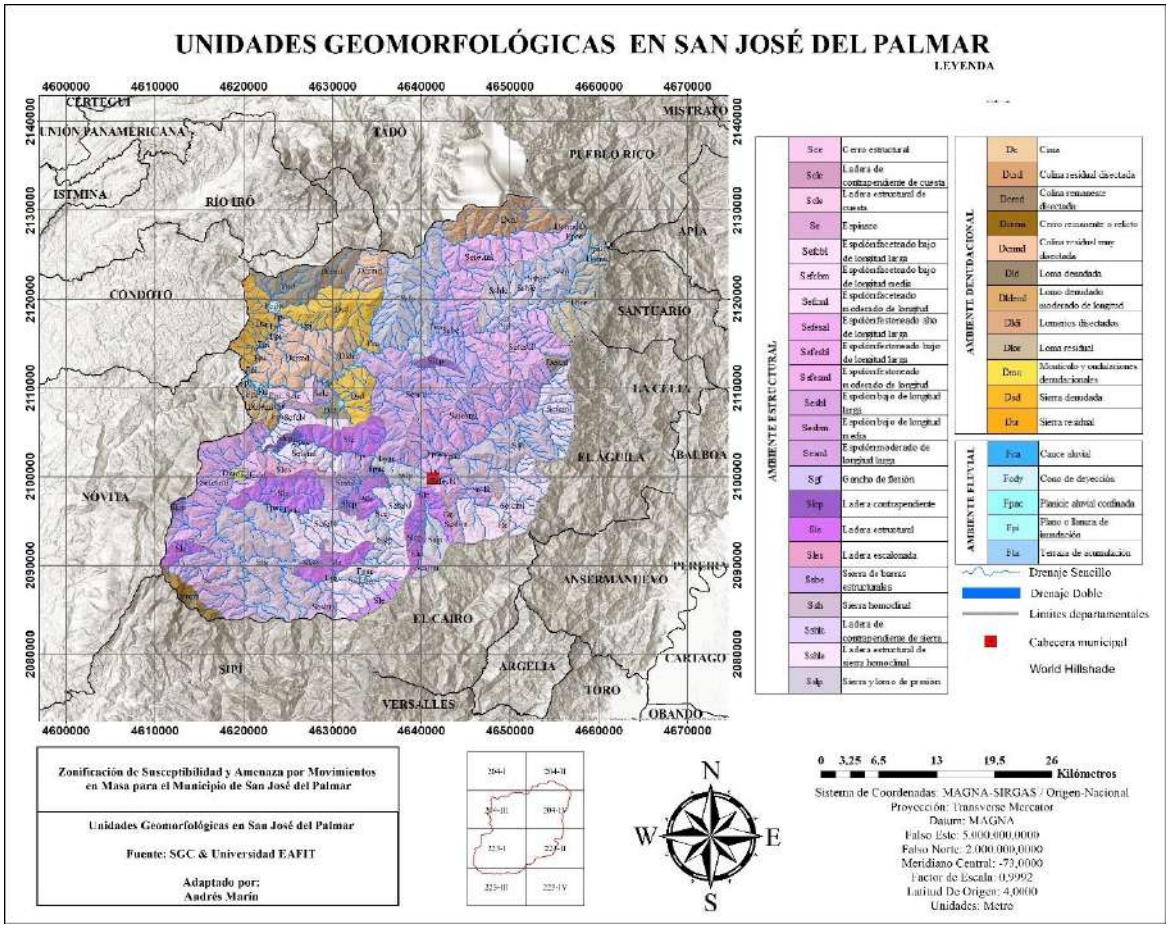
Se presentan movimientos en masa importantes, tipo deslizamientos rotacionales y traslacionales, y procesos erosivos moderados tipo terraceta. Están asociadas a los sistemas de fallas La Argelia, Río Blanco Este, Río Blanco Oeste, Toro, entre otras.

Se identifican en la margen izquierda del río Ingará, en el sector de las veredas La Badea y El Salado, al sur de la quebrada San Antonio y el sector Palomas, entre las quebradas La Virgen, Campanas y el río Torito. En la parte norte del municipio se encuentran dos unidades; la primera de ellas localizada más al oeste, se encuentra limitada al noroeste por la quebrada Tarena Llorandó, al suroeste por la quebrada Rumbazón, al este por el río El Pital y al sur por el río Ristos. La segunda se encuentra limitada al norte y oeste por el río Tamaná y al sur y este por el rio Cruces.

Imagen 39 Sierras y lomos de presión

Fuente: presente estudio

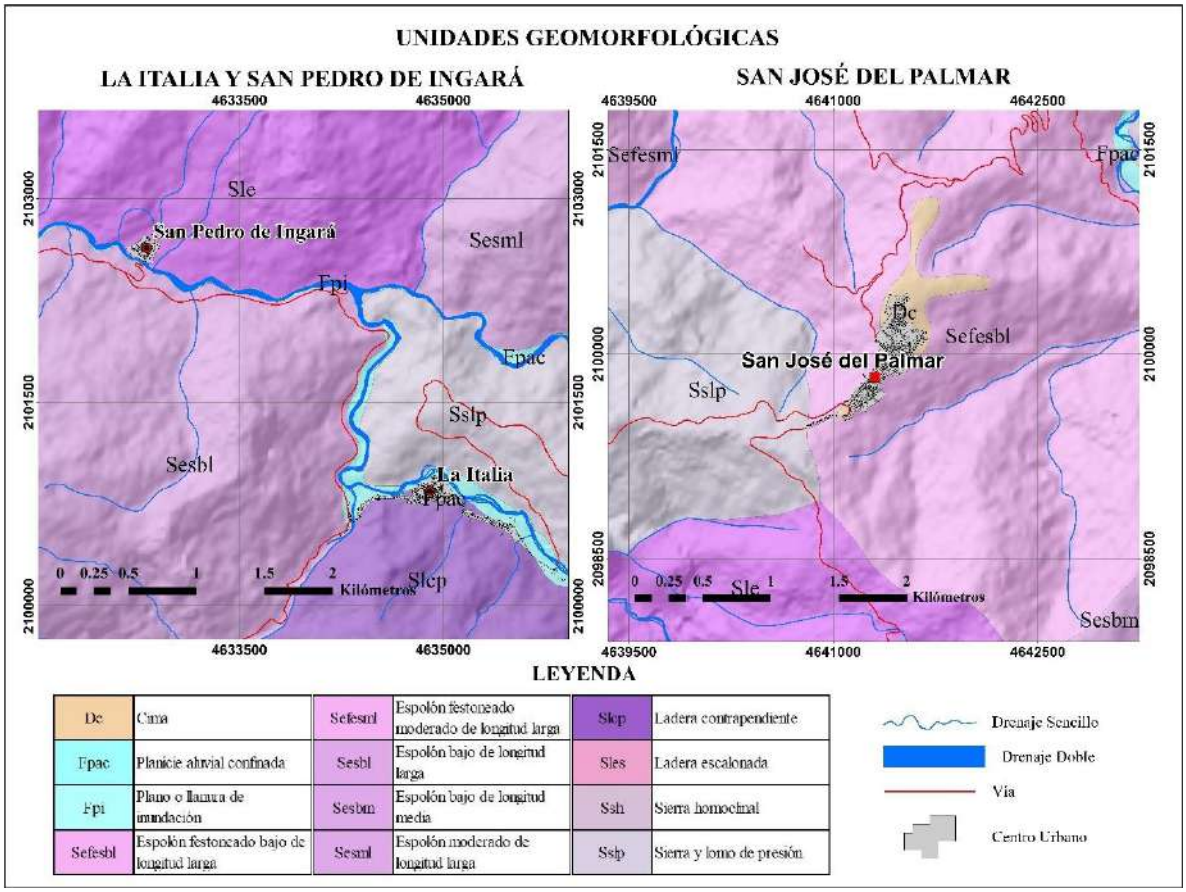
Mapa 32 Unidades Geomorfológicas



Fuente: presente estudio

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS EN ÁREAS DE INTERÉS

Mapa 33 Unidades geomorfológicas en áreas de interés



Fuente: presente estudio

En las zonas de análisis especifico que se eligieron debido a su cercanía a los principales centros poblados del municipio se puede observar una predominancia de las geoformas de origen estructural y solo algunas fluviales y denudacionales.

La cabecera municipal descansa sobre una cima, única geoforma denudacional registrada en estas zonas, y se encuentra rodeada por geoformas estructurales que representan el % del área delimitada y por una planicie aluvial confinada ubicada sobre el rio Corcovado y que representa el % del área. Las geoformas de origen estructural están conformadas por espolones festoneados al norte y al oeste de la cabecera sobre la cuenda de la quebrada Sinifaná, por laderas estructurales al sur

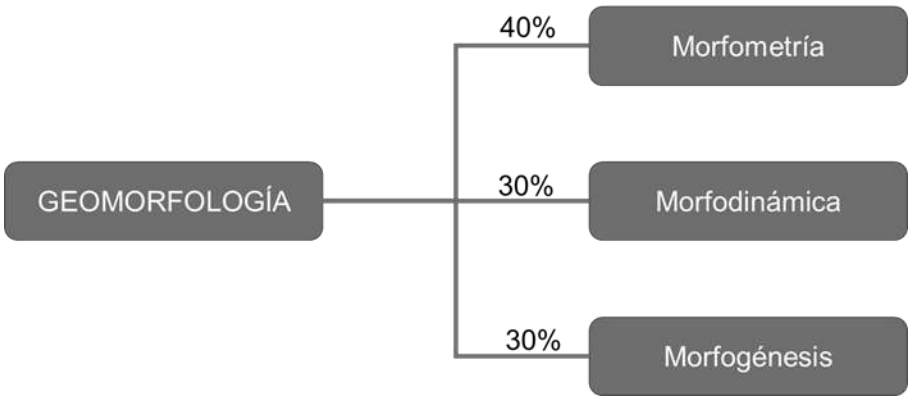
sobre la vía a Cartago (Valle del Cauca) y la quebrada Mojahuevos, y por sierras y lomos de presión al este sobre la vía al corregimiento de La Italia.

Los corregimientos La Italia y San Pedro de Ingará al estar ubicados al borde de cauces importantes parte de su tejido urbano se encuentra sobre geoformas de origen fluvial como planicies aluviales confinadas que se observan al borde del rio Hábita o llanuras de inundación observadas sobre el rio Ingará, las cuales representan el % del área que enmarca estos corregimientos. Referente a las geoformas de origen estructural estas representan el % del área delimitada y están conformadas por laderas contrapendiente ubicadas al sur del rio Hábita y sobre las cuales se asienta gran parte de la zona urbana de La Italia, por sierras y lomos de presión entre los ríos habita e Ingará y sobre la vía a San José – La Italia, por espolones bajos y moderados al sureste y noroeste respectivamente, y finalmente por laderas estructurales al noreste del rio Ingará y sobre el cual se ubica gran parte de San Pedro de Ingará.

4.4.2. VALORACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR GEOMORFOLOGÍA

Siguiendo el documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa (SGC, 2013) se incluye dentro de la valoración de la susceptibilidad por Geomorfología los atributos de morfometría, morfogénesis y Morfodinámica, con los porcentajes que a continuación se muestra.

Figura 20 Calificación de atributos de geomorfología en análisis de susceptibilidad

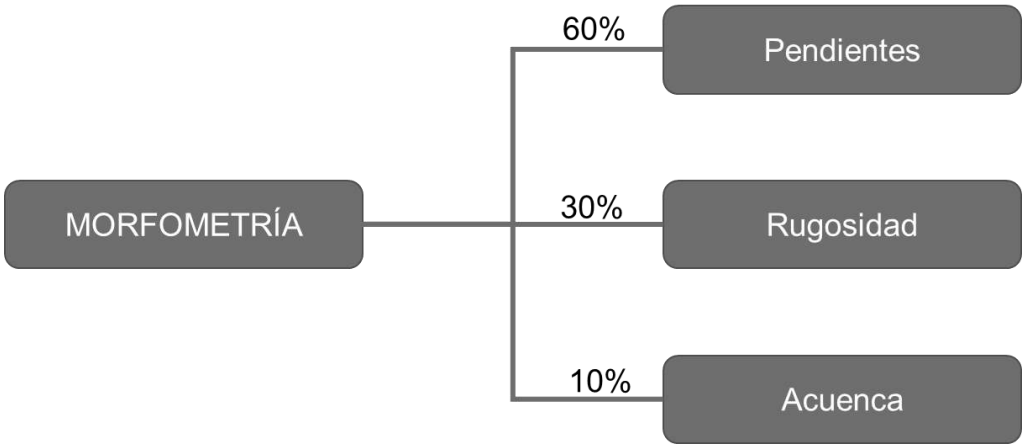


Fuente: (SGC, 2013)

4.4.2.1. MORFOMETRÍA

Para determinar la morfometría que hace uso de la información que se encuentra en el modelo de elevación digital. Dentro de la susceptibilidad por Geomorfología, la morfometría tiene un peso sobre el total de las variables del 40% y se componían su vez de los atributos: pendientes, rugosidad y acuenca (cuenca acumulada).

Figura 21 Diagrama de los atributos calificados en la variable Morfometría



Fuente: (SGC, 2013)

PENDIENTES

Dentro de la variable morfometría el atributo de pendientes tiene la mayor importancia respecto a la rugosidad y acuenca. Esta se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, presentando valores en grados de entre 0° y 90° y está relacionado con los movimientos en masa en la medida en que y mientras mayor crear el ángulo de la pendiente mayor es la susceptibilidad que presenta el área ante estos eventos (SGC, 2013).

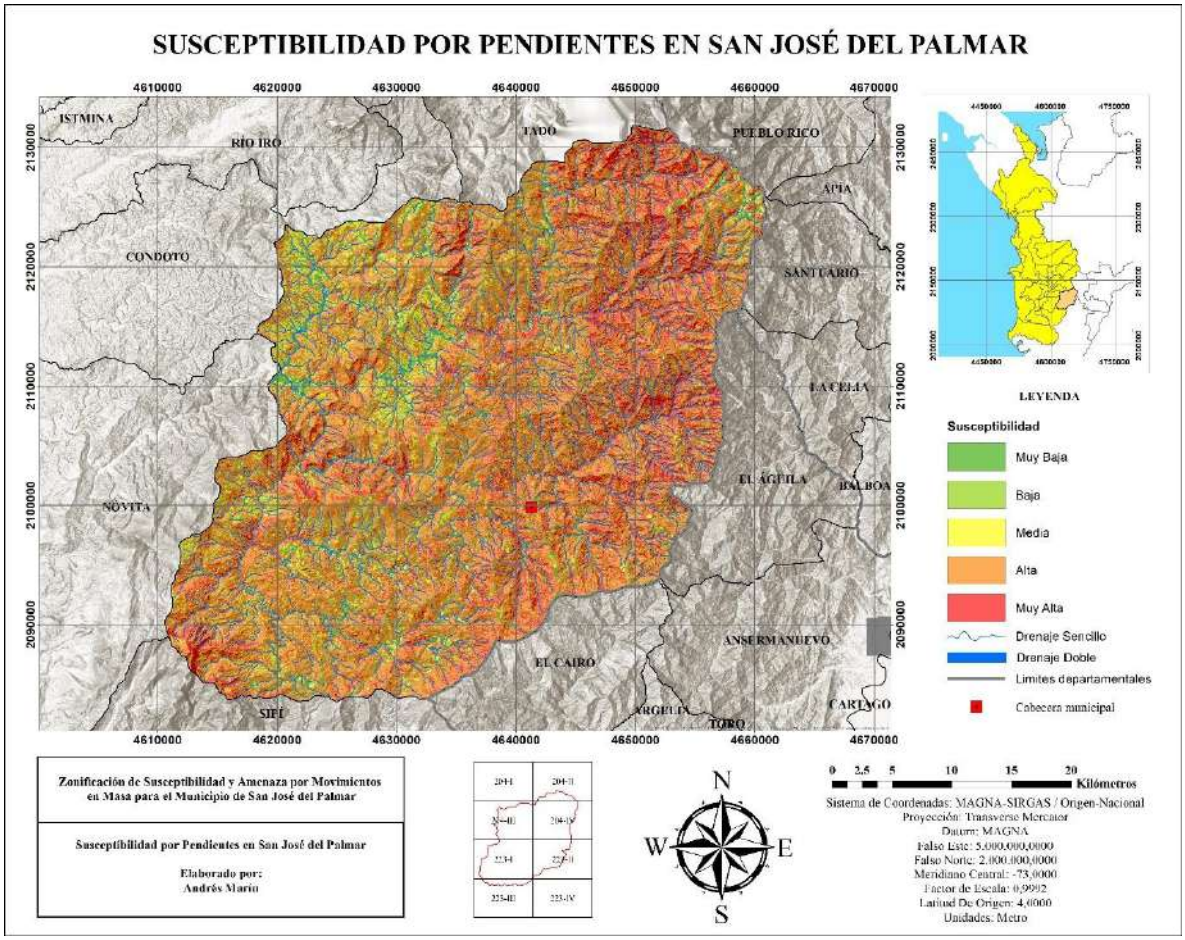
Para el estudio de este atributo se diferencian cinco clasificaciones con sus intervalos en el grado de pendiente y diferentes grados de susceptibilidad como se aprecia en la Tabla 27.

Tabla 27 Calificación propuesta para la pendiente

Clasificación	Rango (°)	Susceptibilidad
Plana a suavemente inclinada	0 – 7	1
Inclinada	7 – 11	2
Muy inclinada	11 – 19	3
Abrupta	19 – 40	4
Escarpada	> 40	5

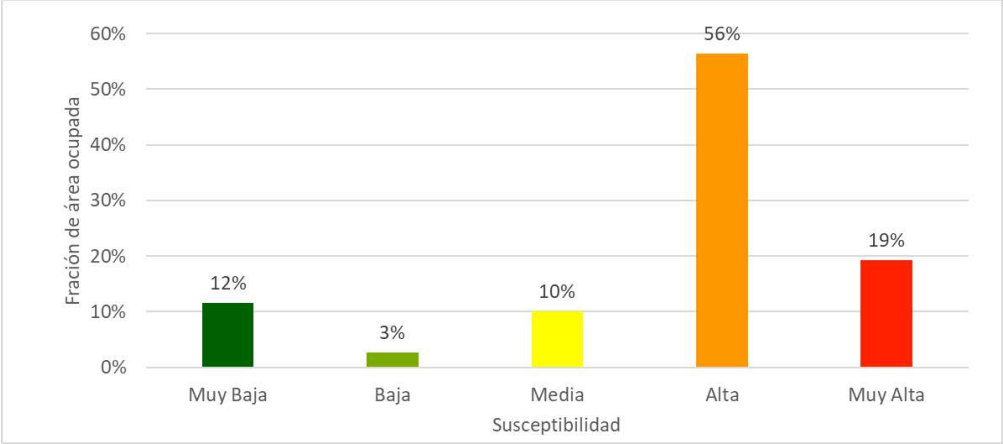
Fuente: (SGC, 2013)

Mapa 34 Susceptibilidad por pendientes



Fuente: presente estudio

Figura 22 Distribución de susceptibilidad por pendientes



Fuente: presente estudio

La mayor parte del área municipal se encuentra ubicada sobre el costado occidental de la cordillera occidental y estar delimitada al suroccidente por el cerro El Torrá que supera los 2700 m.s.n.m. Por esa razón se observa el predominio de pendientes abruptas y escarpadas en las tres cuartas partes del municipio, indicando a su vez susceptibilidad es alta y muy alta por este atributo en estas áreas.

Susceptibilidad muy alta: Las zonas de susceptibilidad muy alta se encuentran principalmente en las zonas más elevadas de la cordillera occidental, cercanas al cerro Tatamá, y sobre los cerros Torrá y Canta Gallo en el suroccidente y occidente del municipio respectivamente. Es notorio el incremento en el nivel de pendiente presentado al oriente de la falla Guarato o quebrada Fierra en donde se presenta la mayor concentración de susceptibilidad muy alta.

Susceptibilidad alta: Las zonas con susceptibilidad alta son las de mayor ocurrencia y presentan una gran uniformidad en su distribución por el municipio salvo en la zona noroccidental.

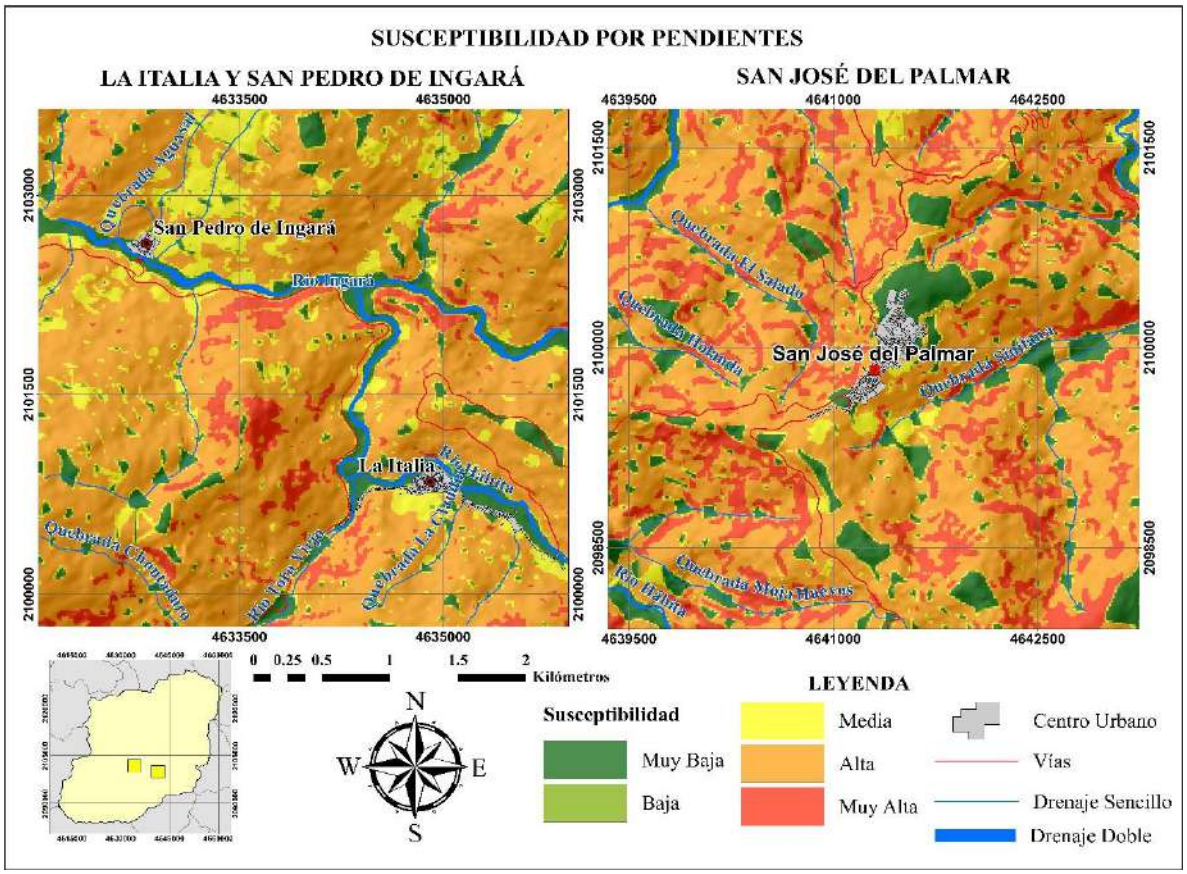
Susceptibilidad media, baja y muy baja: se encuentran en las cuencas inferiores de los ríos Ingará, Tamaná e Irabubú y en donde se concentra la mayoría de zonas de susceptibilidad media, baja y muy baja. También se hallan zonas de susceptibilidad reducida en las cuencas medias e inferiores del río Surama y en los sectores más altos del cerro Tatamá.

Imagen 40 Diferentes rangos de pendiente en el municipio

Fuente: presente estudio

SUSCEPTIBILIDAD POR PENDIENTES EN ÁREAS DE INTERÉS

Mapa 35 Susceptibilidad por pendientes en áreas de interés



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad muy alta: esta calificación presenta una alta concentración en las zonas aledañas a la cabecera municipal respecto a las cercanas a los corregimientos. Cerca de San José este grado se susceptibilidad se encuentra en el 20,5% del área delimitada concentrada principalmente en los costados de los causes. En el área que agrupa a los dos corregimientos la proporción de esta calificación desciende hasta 6,4% debido a que estos se encuentran en zonas de valles y cerca del pie de la cordillera occidental donde la topografía en menos abrupta.

Susceptibilidad alta: este es el grado de susceptibilidad que domina en ambas regiones, en especial en los alrededores de los corregimientos. Cerca de la cabecera municipal el 59,7% del territorio presenta esta calificación mientras que en la zona delimitada para los corregimientos esta proporción es del 68,6%.

Susceptibilidad media: esta se presenta especialmente cerca de los corregimientos destacando los alrededores de San Pedro de Ingará. En el área de estos corregimientos esta susceptibilidad se presenta en el 13,3% de la zona delimitada, mas del doble de lo que presenta las áreas contiguas a la cabecera municipal en donde el 5,5% presentan esta calificación.

Susceptibilidad baja: esta susceptibilidad es la de más bajo registro en ambas zonas analizadas. En la cabecera esta proporción es de solo el 1,8%, mientras que en los corregimientos esta asciende al 2,3%.

Susceptibilidad muy baja: en ambas zonas esta proporción es similar, pero por características geomorfológicas diferentes. En la cabecera municipal, en donde el 12,5% del área adyacente presenta susceptibilidad muy baja, esta característica se debe principalmente a la presencia de cimas, mientras que en región de los corregimientos esta calificación que tiene una proporción del 9,4% se aplica a geoformas asociadas a terrazas aluviales y llanuras de inundación, además de algunas cimas.

Imagen 41 Registro de movimientos en masa en zonas de pendientes abruptas y escarpadas, ligados a intervención antrópica

Fuente: presente estudio

RUGOSIDAD

El atributo de Rugosidad según Hobson (1972) una medida de la dispersión tridimensional de los vectores normales a las facetas planares sobre un paisaje, que combina la variación en los mapas de pendiente y de aspecto en una única medida, permitiendo obtener una mejor representación de la heterogeneidad del terreno que aquellas medidas que se basan exclusivamente en la pendiente o en la elevación (SGC, 2013).

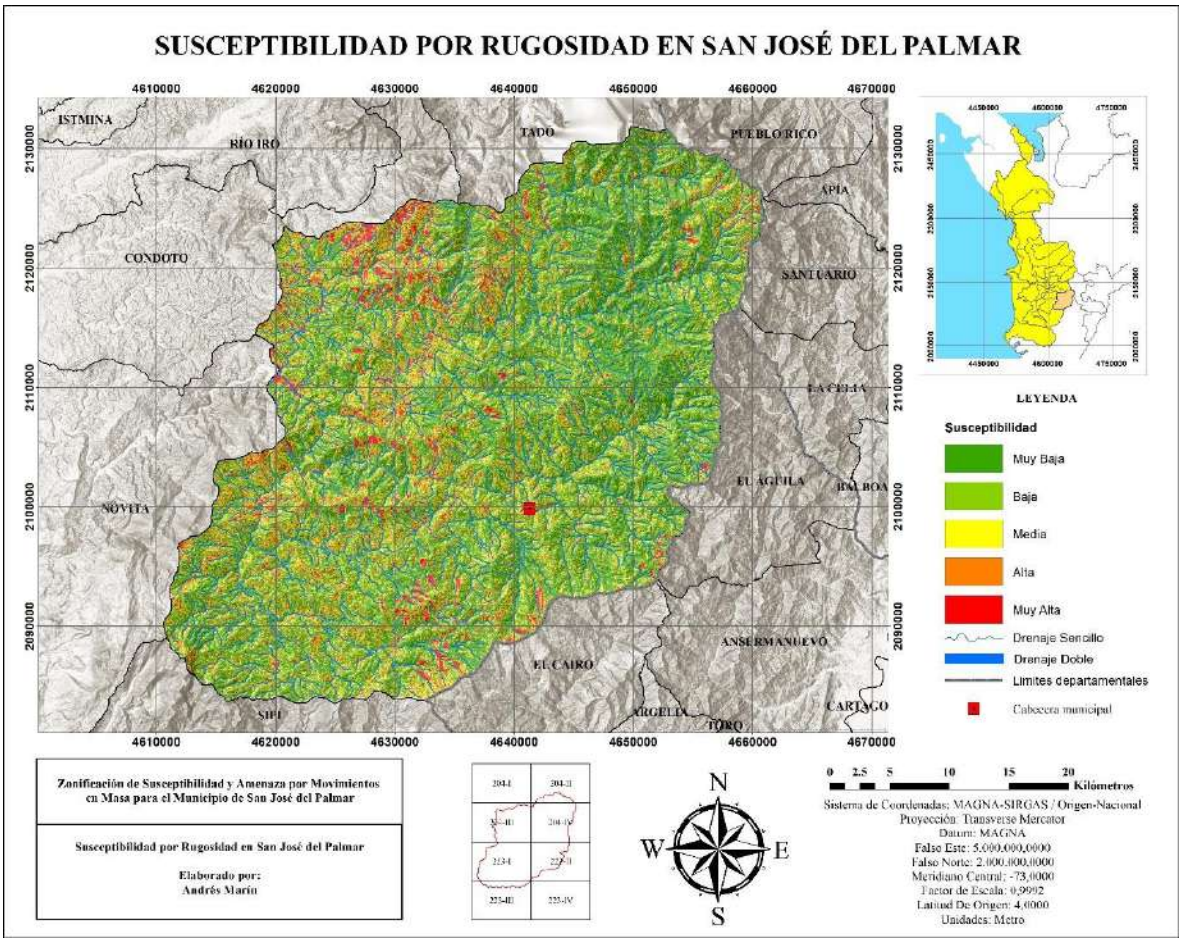
Usando el algoritmo Terrain Ruggedness (VRM) de ArcGis 10.8 sobre el Modelo Digital de Elevación (DEM) se calcula el parámetro rugosidad y para representarlo en un mapa se sustrae los valores arrojados por el algoritmo de 1, arrojando en un número de rugosidad adimensional que oscila entre 0 y 1, donde 0 corresponden a las zonas más uniformes y menos susceptibles a presentar movimientos de masa y 1 lo más rugoso y susceptible a deslizamientos. Para la evaluación de este atributo se establecen cinco rangos de rugosidad con categorías de susceptibilidad diferentes como se muestra en la Tabla 28

Tabla 28 Calificación propuesta para la rugosidad

Clasificación	Rango (adim.)	Susceptibilidad	Categoría Susceptibilidad
Rugosidad Muy baja o Nula	< 0,985	1	Muy baja
Rugosidad Baja	0,985 – 0,99	2	Baja
Rugosidad Media	0,99 – 0,995	3	Media
Rugosidad Alta	0,995 – 0,9975	4	Alta
Rugosidad Muy Alta	0,9975 – 1,0	5	Muy Alta

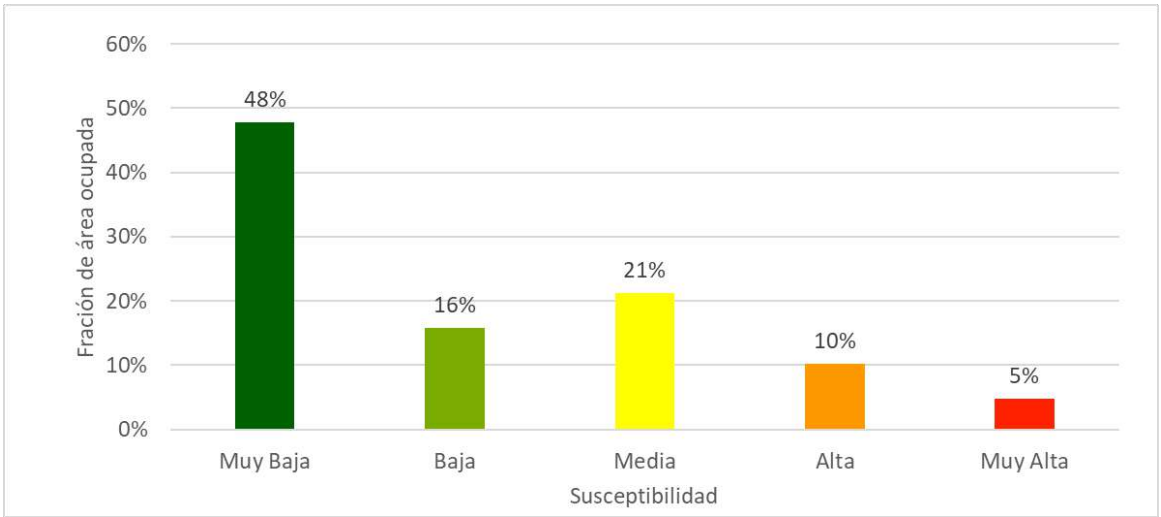
Fuente: (SGC, 2013)

Mapa 36 Susceptibilidad por Rugosidad



Fuente: presente estudio

Figura 23 Distribución de susceptibilidad por rugosidad



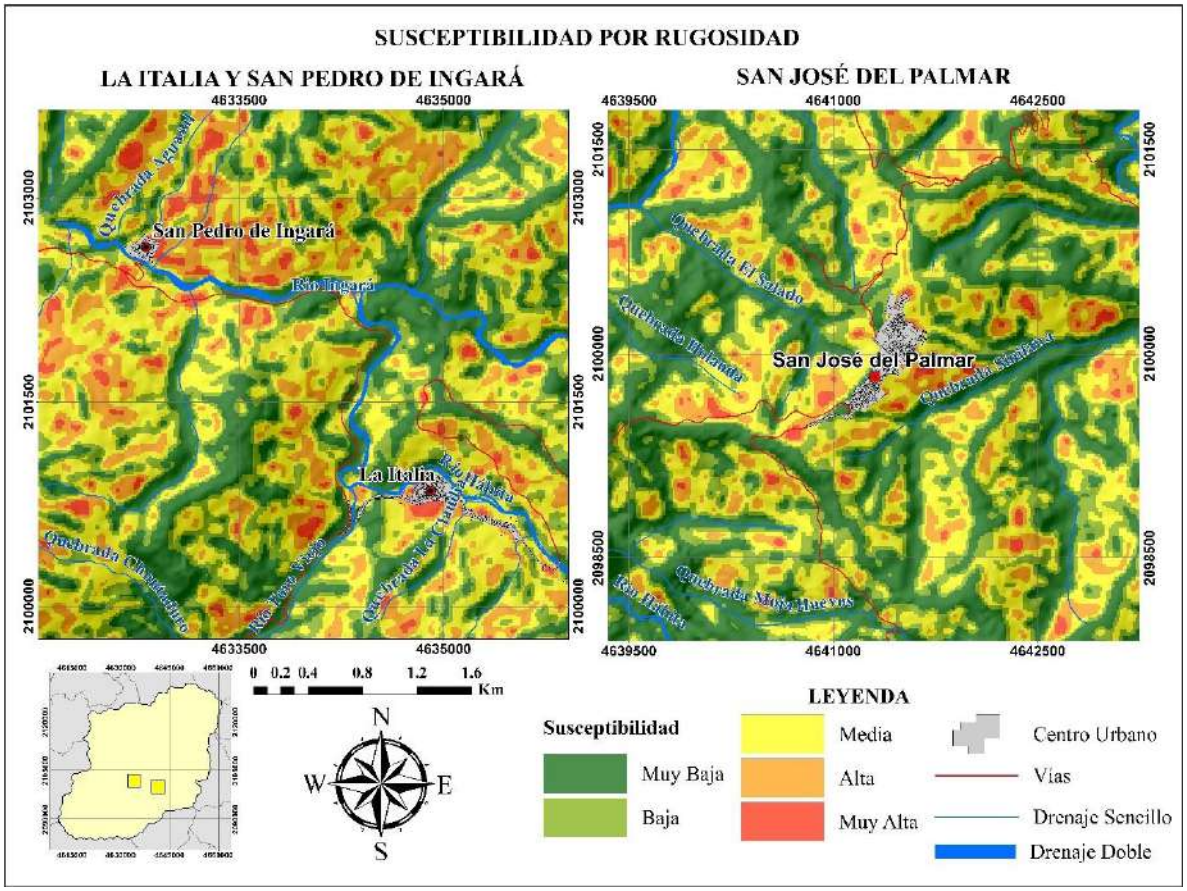
Fuente: presente estudio

Respecto a la extensión del área obtenida por el atributo de rugosidad se observa que para las clasificaciones muy bajas, bajas y medias existe una gran dispersión en la zona estudiada, mientras que las clasificaciones altas y muy altas destacan en el centro y noroccidente del municipio sobre la cuenca media y alta del río Irabubú. Estas zonas de susceptibilidad mayor también pueden encontrarse dispersadas por toda el área municipal teniendo una especial correlación de con la magnitud de la pendiente como se puede observar en el Mapa 36, donde las susceptibilidades bajas se encuentran principalmente en los lomos y valles mientras que las más altas se ubican sobre las cuestas.

SUSCEPTIBILIDAD POR RUGOSIDAD EN ÁREAS DE INTERÉS

Susceptibilidad muy alta: en ambas zonas esta calificación se encuentra distribuida en las cuestas destacando el costado noreste del rio Ingará cerca de San Pedro. El área urbana de la Italia también presenta un muy alto grado de susceptibilidad por rugosidad y la cabecera municipal, a pesar de que la mayor parte de su límite urbano no se encuentra en cuentas, presenta susceptibilidad muy alta en zonas inmediatamente contiguas tanto en la cuenca de la quebrada El Salado como en la de la quebrada Sinifaná. En las zonas aledañas a la cabecera esta calificación está presente en el % del área analizada, mientras que en la región de los corregimientos esta proporción es del %.

Mapa 37 Susceptibilidad por rugosidad en áreas de interés



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad alta: se distribuye aproximadamente igual que la susceptibilidad muy alta en ambas zonas formando halos alrededor de esta sobre cuestas poco uniformes. En el área de los corregimientos esta susceptibilidad esta presente en el % del área estudiada, mientras que en la cabecera municipal esta representa el %.

Susceptibilidad media: el área que presenta esta calificación forma halos alrededor de las susceptibilidades anteriores y delimita las zonas de cuestas irregulares. En la zona de la cabecera municipal el área de esta calificación de representa el % del total mientras que en la región de los corregimientos esta equivale al %.

Susceptibilidad baja y muy baja: estos grados de susceptibilidad se encuentran claramente distribuidos especialmente en los valles y lomos en ambas zonas debido a las consistencias topográficas que se presenta en estas geoformas. En la región

delimitada para la cabecera municipal esta calificación esta presente en el % del área, mientras que en las zonas cercanas a los corregimientos esta proporción asciende al %.

ACUENCA

El atributo de Acuenca (SGC, 2013) corresponde a la superficie de la cuenca aguas arriba de la celda y se obtiene como la sumatoria de la superficie que drena en una celda determinada (cuenca acumulada), la variable se deriva del Modelo Digital de Elevación (MDE) y se expresa en m2 (SGC,2013).

Para determinar esta área primero de hallarse la dirección de flujo en cada una de las celdas que mediante la herramienta Flow Direction las clasifica en una de ocho direcciones posibles. A partir de esta dirección de flujo se determina mediante la herramienta Flow Accumulation el número de celdas que se acumulan desde aguas arriba que al multiplicarse por el área y cada celda (225 m2) se puede obtener el atributo de acuenca. Este se clasifica en cinco rangos diferentes dependiendo del área de cuenca acumulada y a cada uno se le asigna un valor de susceptibilidad de acuerdo a la influencia que tienen sobre los movimientos en masa. Estos rangos y grados de susceptibilidad se pueden observar en la Tabla 29.

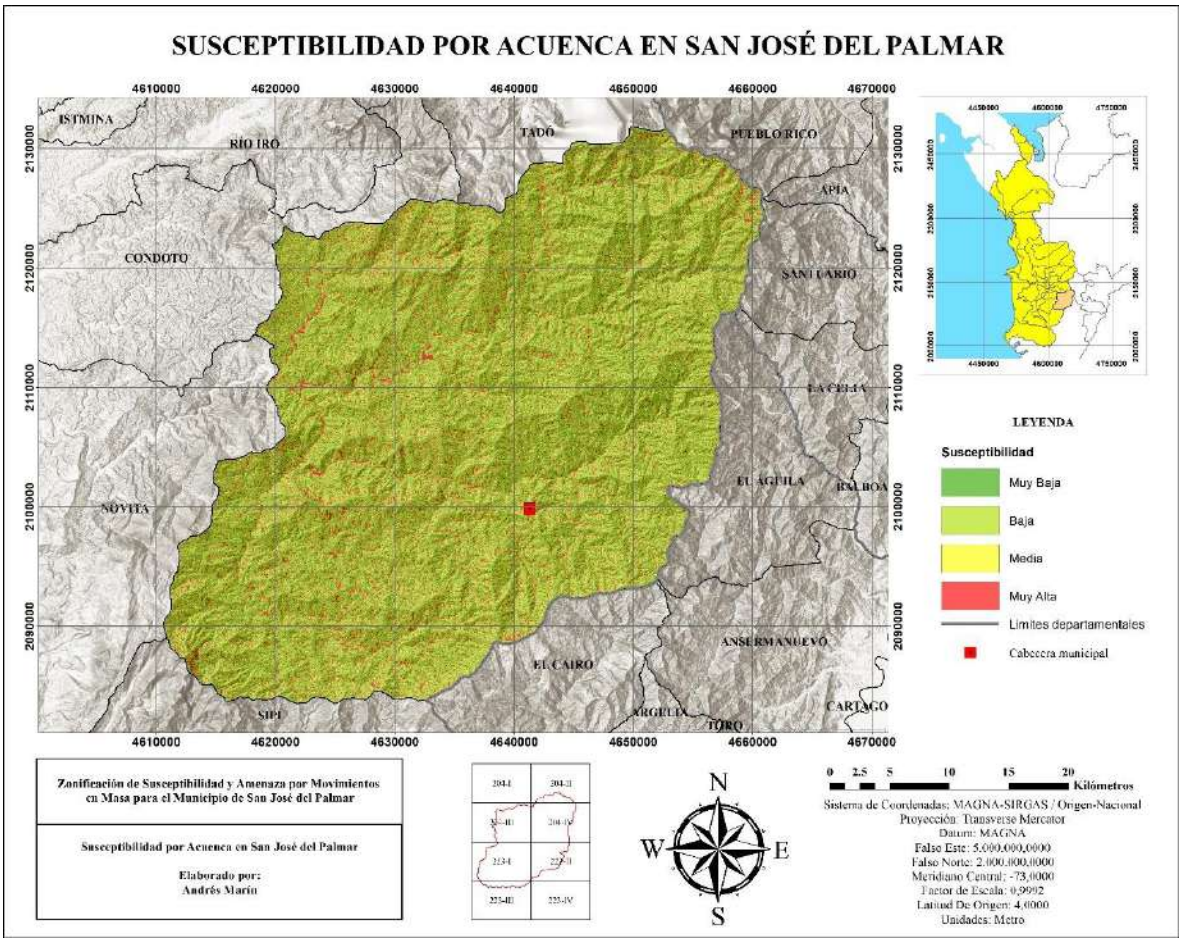
Tabla 29 Calificación propuesta para la acumulación de cuenca

Clasificación	Rango (m^2)	Susceptibilidad	Categoría Susceptibilidad
Divisoria de aguas o lomos	0	1	Muy baja
Escorrentía lenta	0 – 3 500	2	Baja
Flujo Acumulado	3 500 – 40 000	5	Media
Drenaje No Permanente	40 000 – 1 000 000	3	Alta
Quebradas, Ríos	> 1 000 000	1	Muy Alta

Fuente: (SGC, 2013)

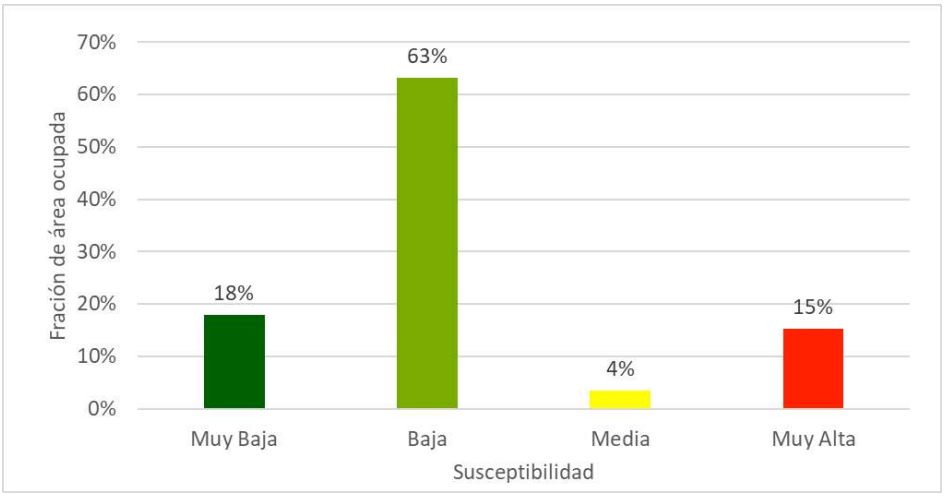
Aquellas zonas con menor acumulación de flujo se consideran de muy baja susceptibilidad a los movimientos en masa, mientras que las zonas de mayor acumulación de flujo (sin incluir las zonas de drenaje permanente y en canal) se consideran de mayor susceptibilidad a los movimientos en masa.

Mapa 38 Susceptibilidad por acumulación de cuenca



Fuente: presente estudio

Figura 24 Distribución de susceptibilidad por acumulación de cuenca



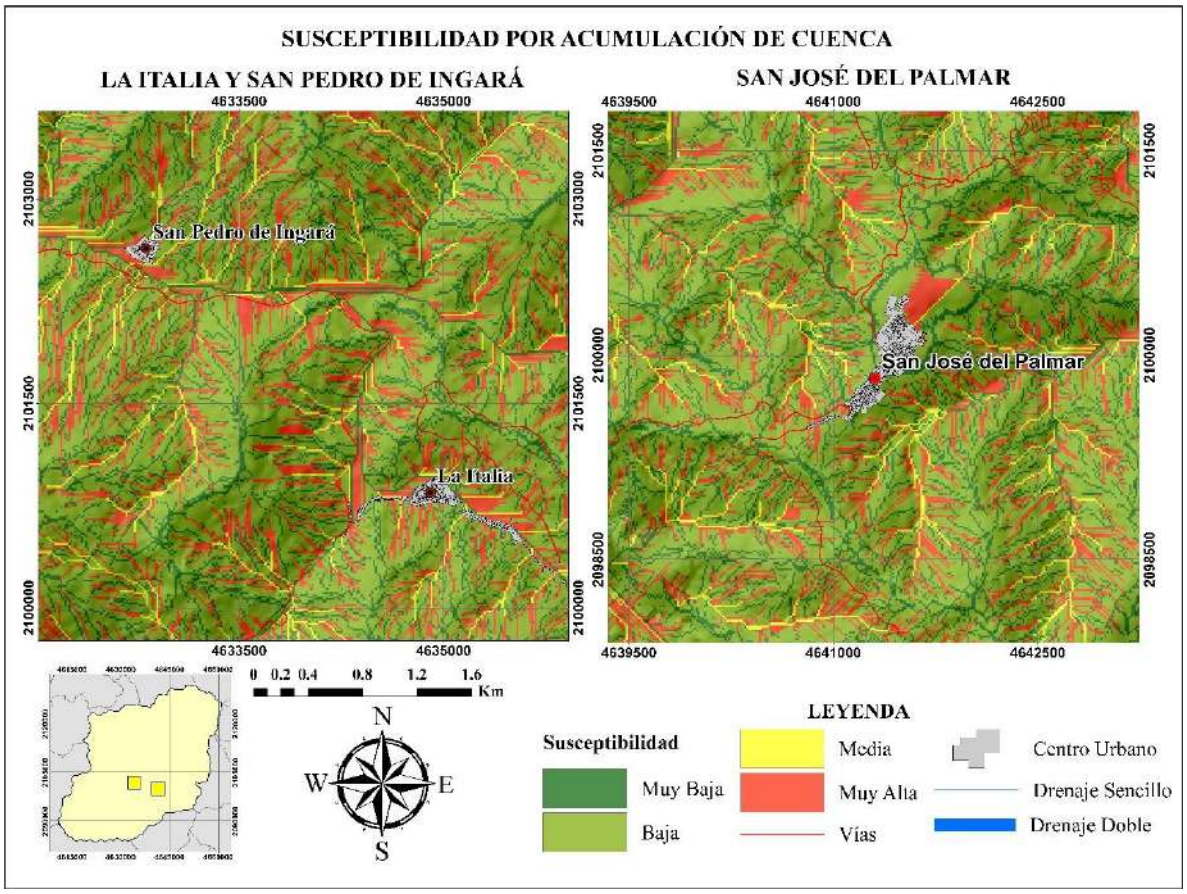
Fuente: presente estudio

A partir del área de extensión de cada una de los grados de susceptibilidad que se observan en la figura 24, en donde las susceptibilidades bajas y muy bajas representan más del 80% de la zona de estudio, se podrían calificar el municipio como de susceptibilidad baja a movimientos en masa por esta categoría. Sin embargo, se debe resaltar que las zonas de muy alta susceptibilidad se encuentran distribuidas en toda el área municipal, especialmente en las laderas de pendiente elevada.

Espacialmente no se observan agrupaciones destacables de los grados de susceptibilidad más allá en de los formados en los ríos y quebradas que representan zonas de muy alta susceptibilidad a los movimientos en masa.

Susceptibilidad por acumulación de cuenca en áreas de interés

Mapa 39 Susceptibilidad por acumulación de cuenca en áreas de interés



Fuente: presente estudio

En ambas zonas analizadas se observa una distribución de los grados de susceptibilidad de acuerdo principalmente a características geomorfológicas.

Susceptibilidad muy alta: está ligado a topografías cóncavas en donde tiende a acumularse el flujo de agua en cantidades moderadas, las cuales favorecen la formación de movimientos en masa.

Susceptibilidad media: esta calificación se le asigna a las zonas de alta acumulación de agua en donde la ocurrencia de movimientos en moderada, razón por la cual está ligada a pequeños afluentes de ambas zonas. Cerca a la cabecera municipal este grado de susceptibilidad representa el % del área total, mientras que en la región de los corregimientos esta equivale al %.

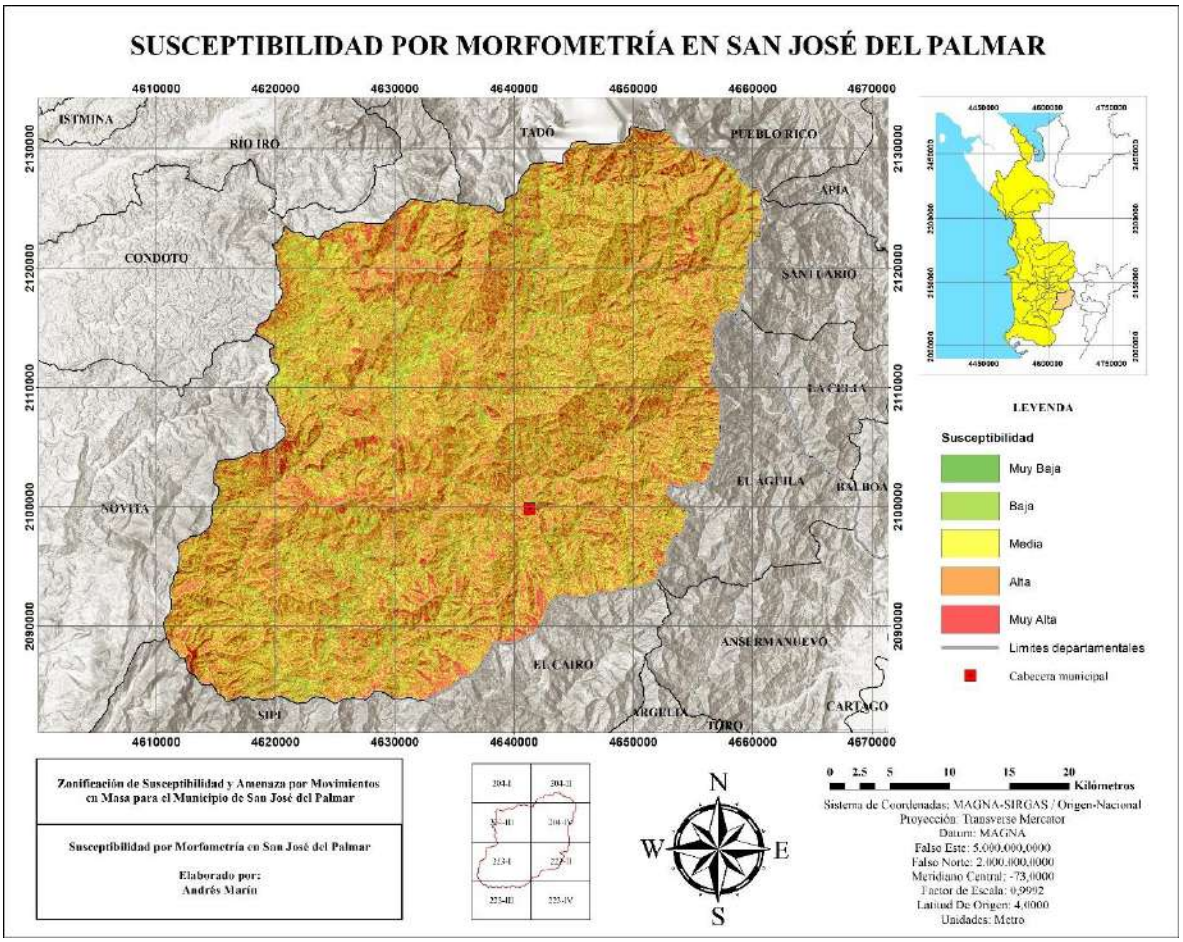
Susceptibilidad baja: esta corresponde a las laderas cuya captación de flujos de agua es moderadamente baja y por lo tanto la probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa ligado a la acumulación de agua es también bajo. En el área cercana a la cabecera de San José de Palmar el % de esta presenta este grado de susceptibilidad, un valor similar al % que presenta la zona que enmarca los corregimientos de La Italia y San Pedro de Ingará.

Susceptibilidad muy baja: esta calificación está ligada a zonas de muy alta captación de flujos de agua o bien a zonas donde esta captación es nula, por esto geomorfológicamente esta ligada a valles profundos o a lomos respectivamente. En las zonas cercanas al casco urbano municipal estas zonas representan el % del área total delimitada, mientras que cerca a los corregimientos asciende a %

SUSCEPTIBILIDAD POR MORFOMETRÍA

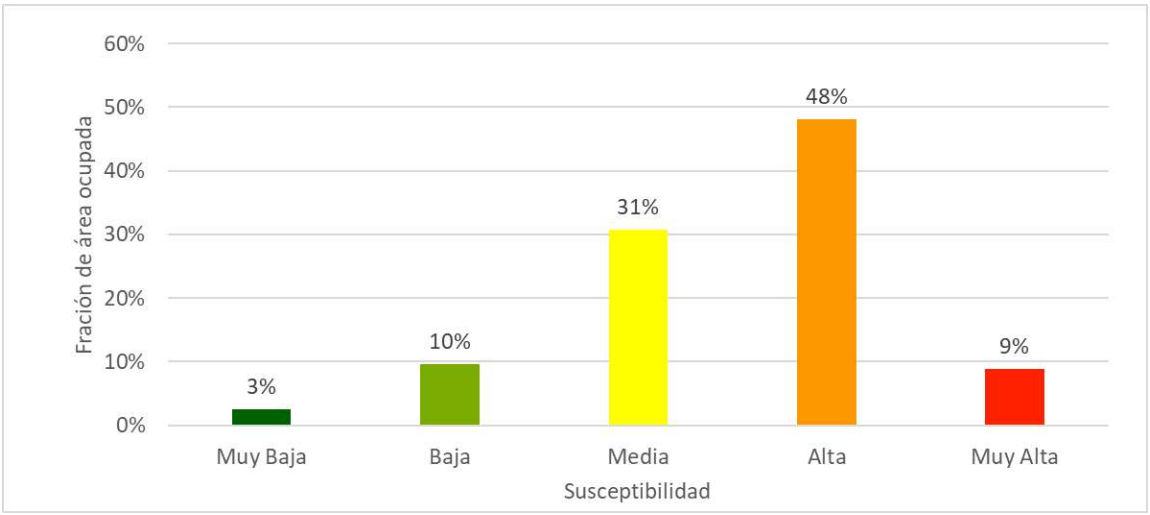
Una vez obtenidos los mapas de los diferentes atributos de interés, la determinación del mapa de susceptibilidad de la variable de morfometría aplica una suma ponderada a los atributos de pendientes, rugosidad y Acuenca con porcentajes de ponderación de 0,6 – 0,3 y 0,1 respectivamente.

Mapa 40 Susceptibilidad por Morfometría



Fuente: presente estudio

Figura 25 Distribución de susceptibilidad por morfometría



Fuente: presente estudio

A partir del mapa generado y los datos obtenidos, se observa que la susceptibilidad por morfometría el municipio puede calificarse como alta en la medida que el 48% del área estudiada presenta este grado de susceptibilidad. Se puede apreciar además una alta relación entre las susceptibilidades por pendiente en la susceptibilidad general por morfometría, destacando las zonas más propensas a desarrollar movimientos en masa en las regiones de alta pendiente sobre la cordillera occidental y los principales cerros.

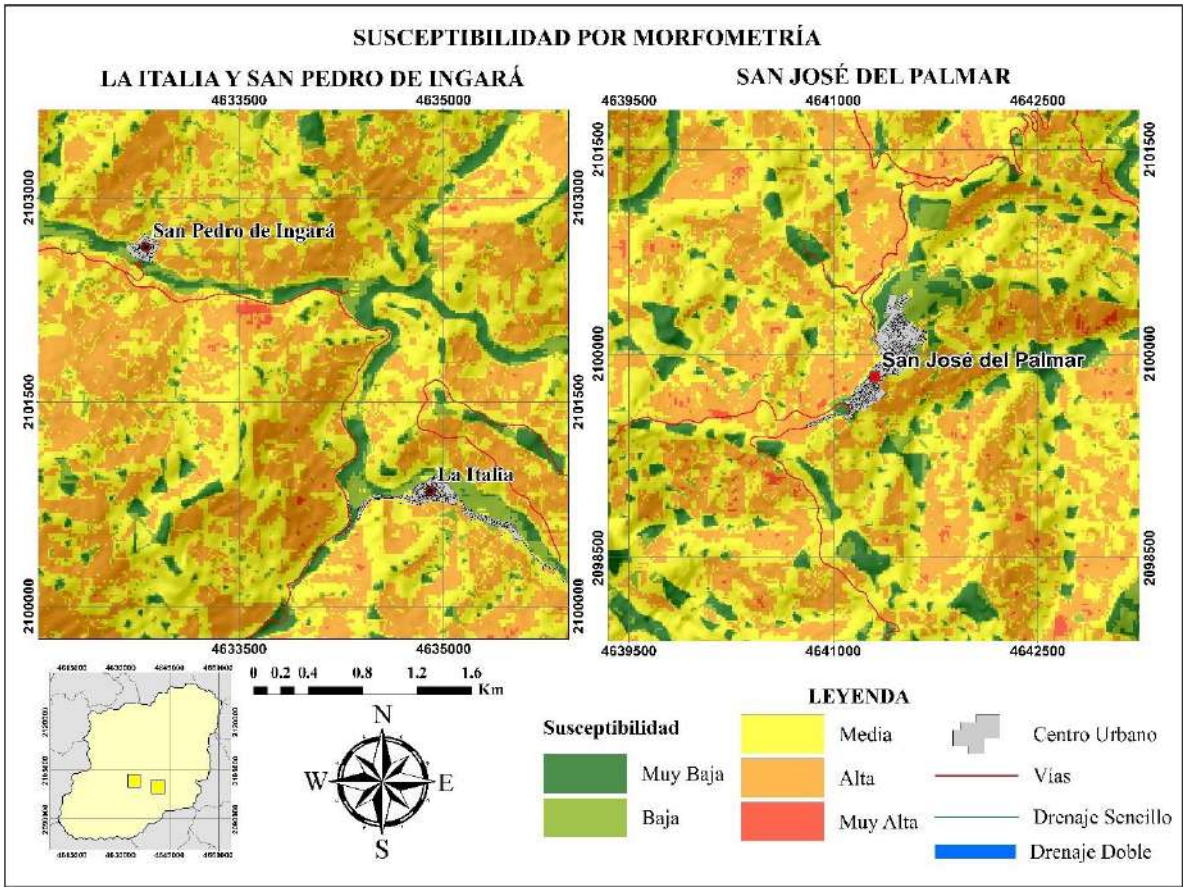
Las zonas de baja y media susceptibilidad se concentran en los lomos y principalmente en los valles y cuencas bajas de los ríos, destacando la Cuenca de los ríos Ingará, Tamaná e Irabubú en la región de Juntas del Tamaná al occidente del municipio.

SUSCEPTIBILIDAD POR MORFOMETRÍA EN ÁREAS DE INTERÉS

Susceptibilidad muy alta: a pesar de ser el grado de susceptibilidad menos frecuente en ambas regiones analizadas este se presenta zonas de gran interés. En el área de la cabecera municipal se encuentra cerca de las vías que se dirigen hacia Cartago (Valle del Cauca) y la que se dirige hacia La Italia, la superficie con esta calificación representa el 1% del área total delimitada. En la región de los corregimientos esta calificación se presenta sobre zonas cercanas a la vía La Italia – San Pedro de Ingará y representa el 0.4 % de área analizada.

Susceptibilidad alta: esta calificación se encuentra bien distribuida en ambas regiones analizadas y está fuertemente relacionada con zonas de ladera de alta pendiente. Cerca de la cabecera de San José del Palmar esta calificación se presenta sobre el 38% del área estudiada, mientras que en las zonas aledañas a los corregimientos esta proporción es del 42%.

Mapa 41 Susceptibilidad por morfometría en áreas de interés



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad media: al igual que la susceptibilidad alta esta se encuentra distribuida de forma aproximadamente uniforme registrándose especialmente sobre laderas de pendientes moderadas. El 45% del área cercana a la cabecera municipal presenta este grado se susceptibilidad, mientras que en el área delimitada para los corregimientos este valor es del 43.9%.

Susceptibilidad baja y muy baja: ambos grados de susceptibilidad se presentan en valles profundos ligados a los principales cauces o en lomos y cimas en donde la pendiente, la rugosidad y la acumulación de cuenca es muy baja. En las zonas cercanas a la cabecera municipal amabas susceptibilidades representan el 16% del área el total, similar al 13.7% que se registra en la región en donde se ubican los dos corregimientos estudiados.

4.4.2.2. MORFOGÉNESIS

“La morfogénesis corresponde al origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno. La información morfogenética es representada en forma de unidades geomofológicas; los parámetros de evaluación morfométrica permiten caracterizar una geoforma en su orden espacial individual y en su entorno, la morfogénesis junto a la morfocronología, recopila, explica y sintetiza la evolución geológica del relieve actual” (SGC, 2013).

“La calificación de la morfogénesis se da sobre cada geoforma, garantizando una calificación particular de los atributos morfogenéticos: Procesos genéticos, modelado del relieve y ambiente de formación, los cuales, a pesar de tener un ambiente en común, pueden variar entre sí y modificar las condiciones de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa” (SGC, 2013).

“El primer atributo morfogenético a calificar corresponde a la génesis de la geoforma la cual hace referencia a la dinámica superficial del relieve que puede contribuir en la susceptibilidad física por movimientos en masa. Geoformas pertenecientes a los ambientes fluvial y costero son consideradas como determinantes en las zonificaciones por inundación, aunque su dinámica ante los movimientos en masa solo se restringe a ciertas geoformas con características morfométricas y morfográficas particulares; estos ambientes son calificados con cero (0). Los ambientes estructurales determinados por la presencia de estructuras geológicas representativas a escala 1:100.000 (pliegues, fallas, discontinuidades y fracturas) son valoradas con la calificación más alta (3) dada la fuerte influencia que se considera que puede tener en los movimientos en masa” (SGC, 2013).

“El atributo de proceso genético, referido a la presencia o ausencia de fuerzas internas corticales que contribuyan por sí mismas a la formación del relieve es calificado con valores de 0 y 1. De esta manera, se considera que el proceso

dinámico endógeno y exógeno que propició el ambiente de formación de las geoformas actuales, está referido a la ausencia o presencia de fuerzas internas corticales. Los procesos endógenos volcánico y estructural son calificados con el menor valor (0) en cuanto a no requieren de un agente externo para su ocurrencia. Los procesos exógenos Denudacional, Cárstico, Fluvial, Eólico, Glacial, Marino y Antrópico son valorados con la máxima calificación (1), en cuanto a que requieren un agente externo para su evolución" (SGC, 2013).

Tabla 30 Atributos para la calificación de las Unidades Geomorfológicas

Ambiente	Origen	Proceso genético	Modelado		Rango de calificación	
			Agradación	Degradación	Agradación	Degradación
Costero	0	1	1	0	2	1
Fluvial	0	1	1	0	2	1
Eólico	1	1	1	0	3	2
Kárstico	1	1	1	0	3	2
Volcánico	2	0	1	0	3	2
Antrópico	2	1	1	0	4	3
Denudacional	2	1	1	0	4	3
Glacial	2	1	1	0	4	3
Estructural	3	0	1	0	4	3

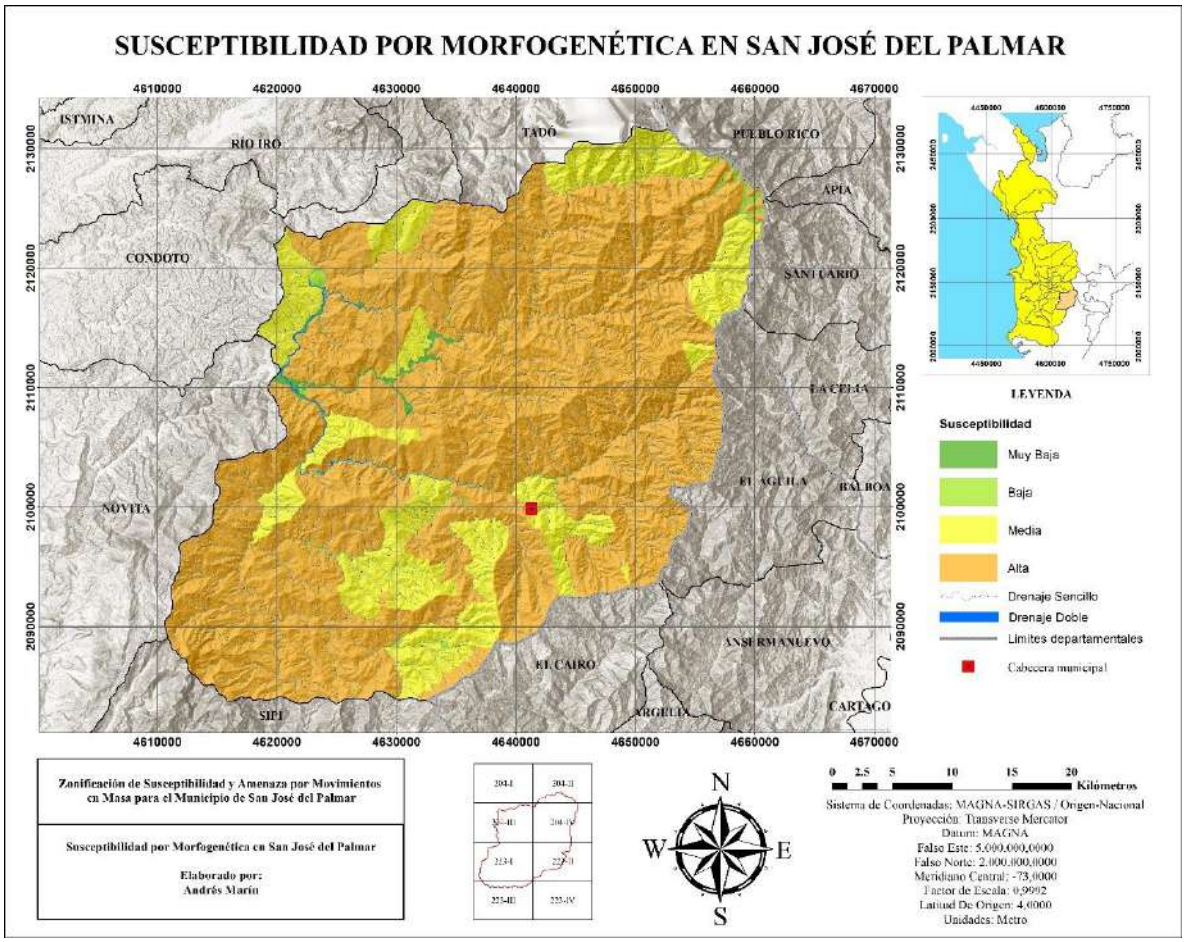
Exógeno	1	Agradacional	1
Endógeno	0	Degradacional	0

Fuente: (SGC, 2013)

"Se establece además el criterio morfogenético del modelado en el cual se considera el aspecto de construcción (agradación) y destrucción (degradación) de la geoforma. Como gran parte de la ocurrencia de movimientos en masa se encuentran relacionados con transporte y acumulación de material, los procesos agradacionales se califican con la mayor calificación (1) y los degradacionales con la menor (0)" (SGC, 2013).

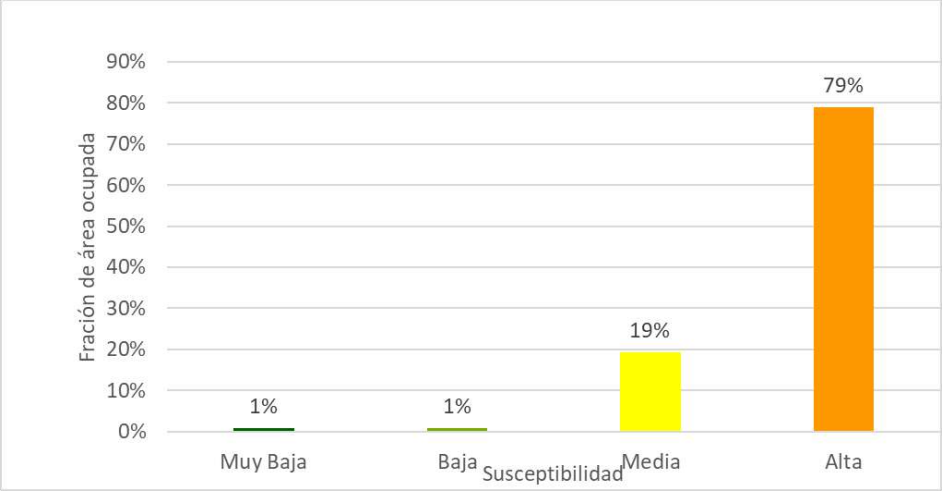
En la figura 26 y en la Mapa 42 Susceptibilidad por Morfogenética se presentan las áreas y el mapa de la variable morfogénesis para San José del Palmar.

Mapa 42 Susceptibilidad por Morfogenética



Fuente: presente estudio

Figura 26 Distribución de susceptibilidad por morfogenética



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad alta: es el grado de susceptibilidad de mayor presencia en el municipio y se asocia con unidades de origen estructural como laderas estructurales, ganchos de flexión, espolones, sierras homoclinales, entre otras y unidades de origen denudacional como escarpes de erosión mayor y lomos denudados.

Susceptibilidad media: está asociada a unidades de origen denudacional tales como cerros remanentes, lomos, lomeríos disectados, laderas erosivas, depósitos coluviales, entre otros y unidades de origen estructural como espolones y cuestas.

Susceptibilidad baja: está asociada con unidades de origen denudacional como cimas y montículos y ondulaciones denudacionales.

Susceptibilidad muy baja: esta se presenta sobre unidades de origen fluvial y se localiza en planos o llanuras de inundación de drenajes como el río Tamaná, río Ingará, Hábita y río Brasil.

4.4.2.3. MORFODINÁMICA

Los procesos morfodinámicos son una serie de eventos continuos y/o sincronizados a través de las cuales los agentes morfogenéticos, principalmente los externos, pueden modelar la forma de la superficie. Para la creación del atributo morfodinámico se hace “a través de un proceso de agrupamiento, que se construye a partir de la representación cartográfica de los suelos transportados vistos como geoforma, del inventario de procesos a partir del sistema de información SIMMA, de la fotointerpretación, del inventario de campo y las variables geométricas derivadas del modelo DEM.” (SGC, 2013)

A través de este agrupamiento que se obtiene la distribución espacial de los movimientos en masa y el comportamiento del relieve asociado a las características del material.

Esta agrupación la conforman:

- Un componente de relieve (RelaIncli), obtenido partir de la unión del índice de relieve relativo y la inclinación de ladera.

- El inventario y catálogo de procesos derivados del sistema de información SIMMA, fotointerpretación y recolección de información en campo.

A. ÍNDICE DE RELIEVE RELATIVO (RR)

El relieve relativo hacer referencia a la diferencia altitudinal entre la parte más baja y más alta de una geoforma independientemente de su altura sobre el nivel del mar. Para su cálculo se hace uso del algoritmo FocalRange de ArcGis, el cual es una herramienta estadística que permite calcular la diferencia de altura por unidad de área, en este caso se usara 70 pixeles como parámetro de entrada que equivale a aproximadamente a 1,1 km^2.

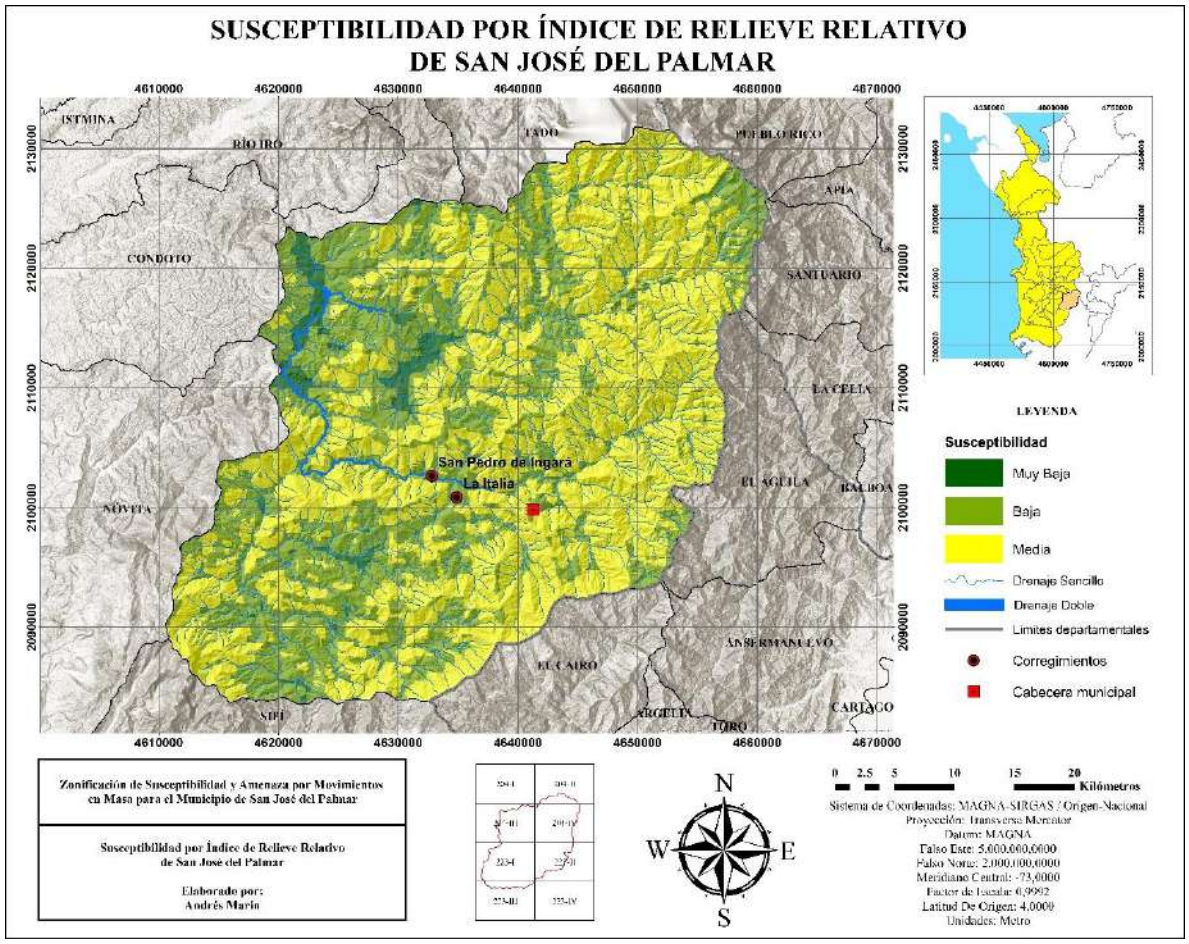
En la Tabla 31 se muestran los intervalos de altura del relieve relativo y su relación con la resistencia de los materiales asociados. “La calificación se hace sobre la base que el relieve es un factor determinante para el desarrollo de procesos de movimientos en masa, a pesar de ser un factor pasivo, pues favorece la acción de la gravedad y desfavorece la resistencia del medio en un momento determinado, cuando se ve influenciado por otros factores, como en el caso de un sismo o de lluvias intensas.” (SGC, 2013)

Tabla 31 Calificación propuesta para el relieve relativo

Intervalos de altura	Descripción del relieve	Resistencia relativa del material	Calificación
<50m	Muy bajo	Materiales muy blandos y erosionables	1
50 – 200m	Bajo	Blando erosionable	1
200 – 400m	Moderado	Moderadamente blando y erosión alta	2
400 – 1 000 m	Alto	Resistente y erosión moderada	3
1 000 – 2 500 m	Muy alto	Muy resistente y erosión baja	3
>2 500m	Extremadamente alto	Extremadamente resistente y erosión muy	3

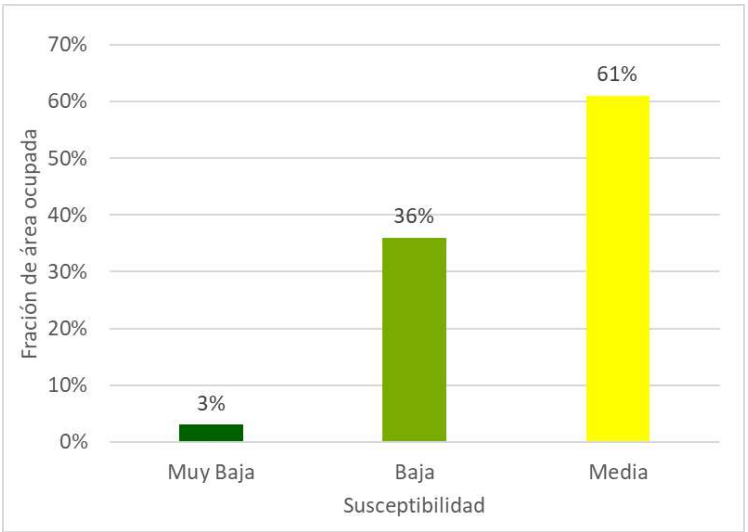
Fuente: (SGC, 2013)

Mapa 43 Susceptibilidad por índice de relieve relativo



Fuente: presente estudio

Figura 27 Distribución de susceptibilidad por índice de relieve relativo



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad media: este grado de susceptibilidad corresponde a la de mayor presencia en el municipio distribuido especialmente en el costado oeste de la cordillera occidental y principales cerros. Esta se aprecia en el 61% del área municipal equivalente a 966 km^2.

Susceptibilidad baja: se encuentra distribuido en donde el terreno presenta relieve moderado cuyas variaciones altitudinales no superan los 400 metros, esta se encuentra en las cuencas medias y bajas de los principales cauces del municipio especialmente en la cuenca del rio Surama, Tamaná alto e Irabubú. En total representa el 36% del área municipal con 569 km^2.

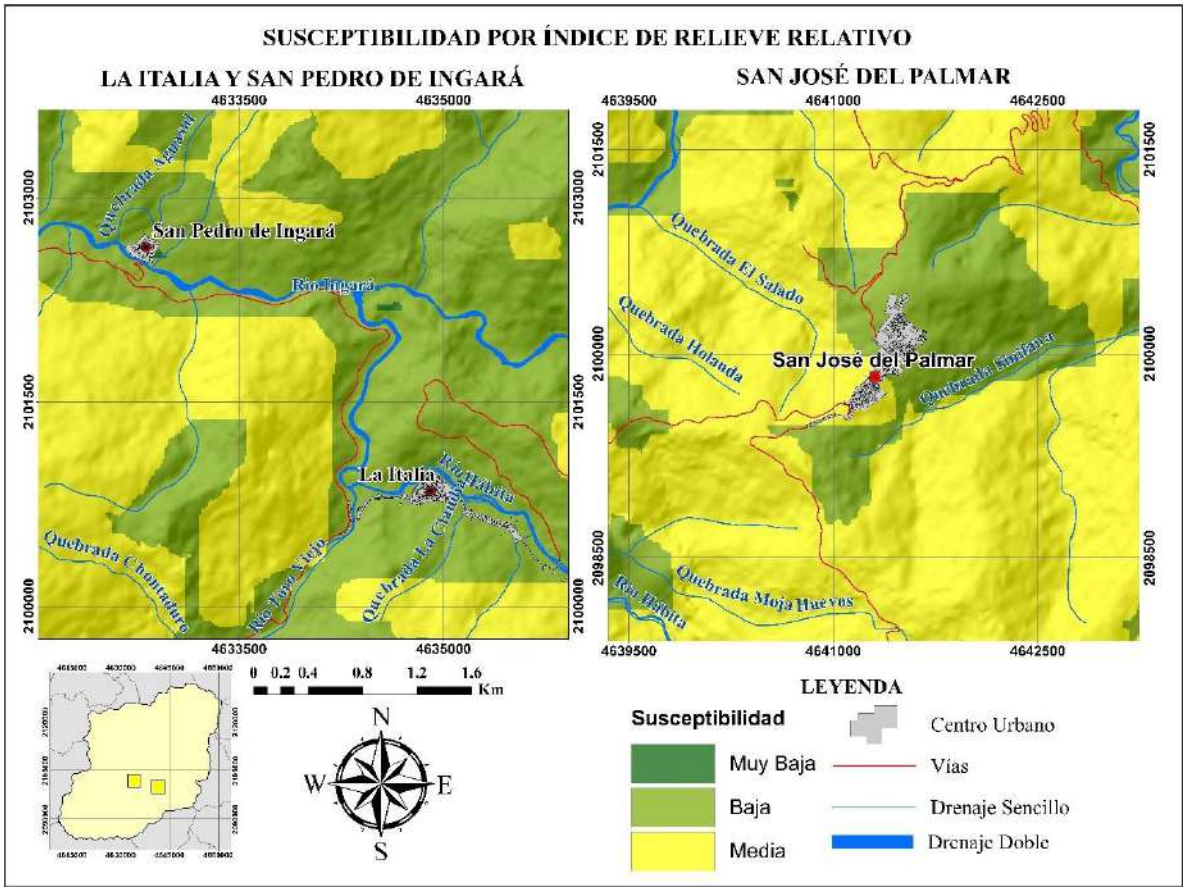
Susceptibilidad muy baja: este grado de susceptibilidad se presenta en las cuencas baja de los principales ríos, estando las zonas de mayor extensión aledañas a los ríos Irabubú y Tamaná. Solo el 3% del área del municipio presenta esta susceptibilidad equivalente a 47 km^2.

SUSCEPTIBILIDAD POR ÍNDICE DE RELIEVE EN ÁREAS DE INTERÉS

Susceptibilidad media: este grado de susceptibilidad tiene mayor presencia en la región de la cabecera municipal que en los corregimientos dado que San José se encuentra sobre una zona con topografía más abrupta en donde los cambios en el relieve son mayores. Alrededor de la cabecera municipal el área que presenta esta calificación es el 77% de la región, mientras que en las zonas cercanas a La Italia y San Pedro de Ingará el 38% presenta esta susceptibilidad.

Susceptibilidad baja y muy baja: en contraste con la susceptibilidad media esta calificación predomina en las zonas cercanas a los corregimientos presentándose especialmente en las regiones más bajas, donde las variaciones altitudinales no son tan significativas. En las zonas aledañas a la Italia y san pedro de Ingará estas calificaciones representa el 23% del área total, mientras que en la región de la cabecera municipal esta proporción es del 62%.

Mapa 44 Susceptibilidad por índice de relieve en áreas de interés



Fuente: presente estudio

B. INCLINACIÓN DE LADERA (IL):

El grado de inclinación se toma en cuenta debido a que comúnmente que se encuentre relacionada con el tipo de material que compone una unidad geomorfológica y a su vez con el nivel de susceptibilidad a presentar movimientos en masa. Esta relación tiende a ser directamente proporcional, aunque no siempre es correlacionable.

En la Tabla 32 se muestran los grados de inclinación de la ladera y su relación con la resistencia del material. “La calificación se hace sobre la base que el proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca hidrográfica, al igual que el caudal máximo, están muy influenciados por la configuración topográfica, que está directamente relacionada con la inclinación de la ladera, debido a que el poder erosivo se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo a los distintos

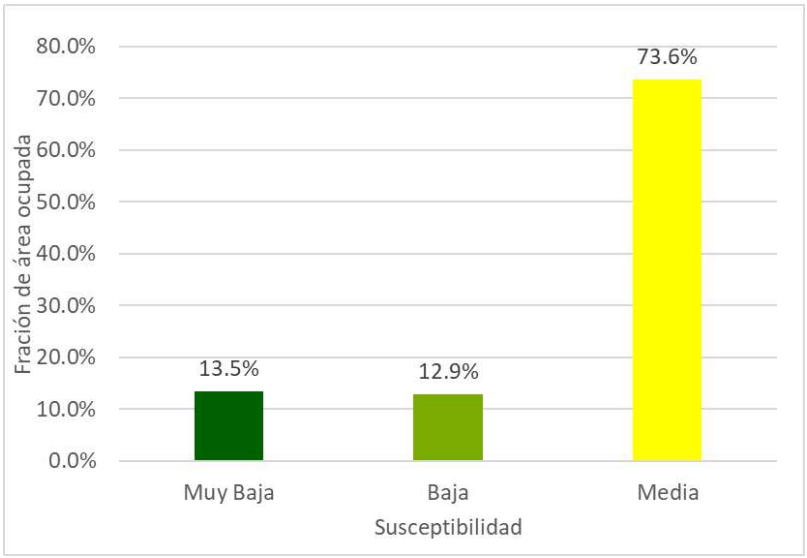
grados de pendiente.” (SGC, 2013)

Tabla 32 Calificación propuesta para la inclinación de ladera

Inclinacón (grados)	Descripción	Características del material y susceptibilidad a MM	Calificación
< 5	Plana a suavemente	Muy blanda y muy baja susceptibilidad	1
5 – 10	Inclinada	Blanda y baja susceptibilidad	1
10 – 15	Muy inclinada	Moderadamente blanda y moderada susceptibilidad	2
15 – 20	Abrupta	Moderadamente resistente y moderada susceptibilidad	2
20 – 30	Muy abrupta	Resistente y alta susceptibilidad	3
30 – 45	Escarpada	Muy resistente y alta susceptibilidad	3
> 45	Muy escarpada	Extremadamente resistente y alta susceptibilidad	3

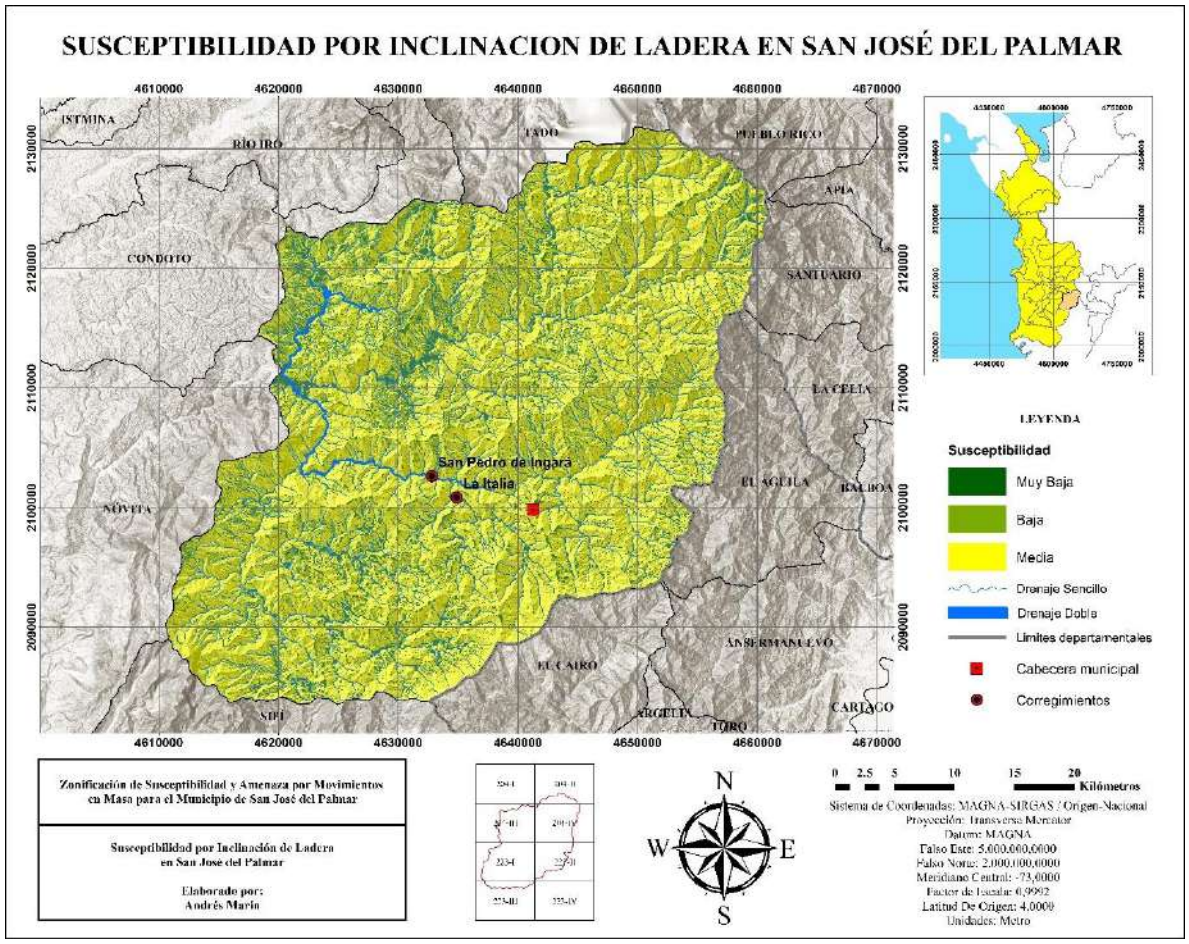
Fuente: (SGC, 2013)

Figura 28 Distribución de susceptibilidad por inclinación de ladera



Fuente: presente estudio

Mapa 45 Susceptibilidad por inclinación de ladera



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad media: este grado de susceptibilidad es el de mayor presencia en el municipio debido a lo inclinado de su topografía, se presenta de manera aproximadamente uniforme salvo en algunas zonas aledañas a los ríos Tamaná e Irabubú donde las inclinaciones de ladera son inferiores a 20°. En total el 73,6% del municipio presenta esta susceptibilidad equivalente a 1164 km^2.

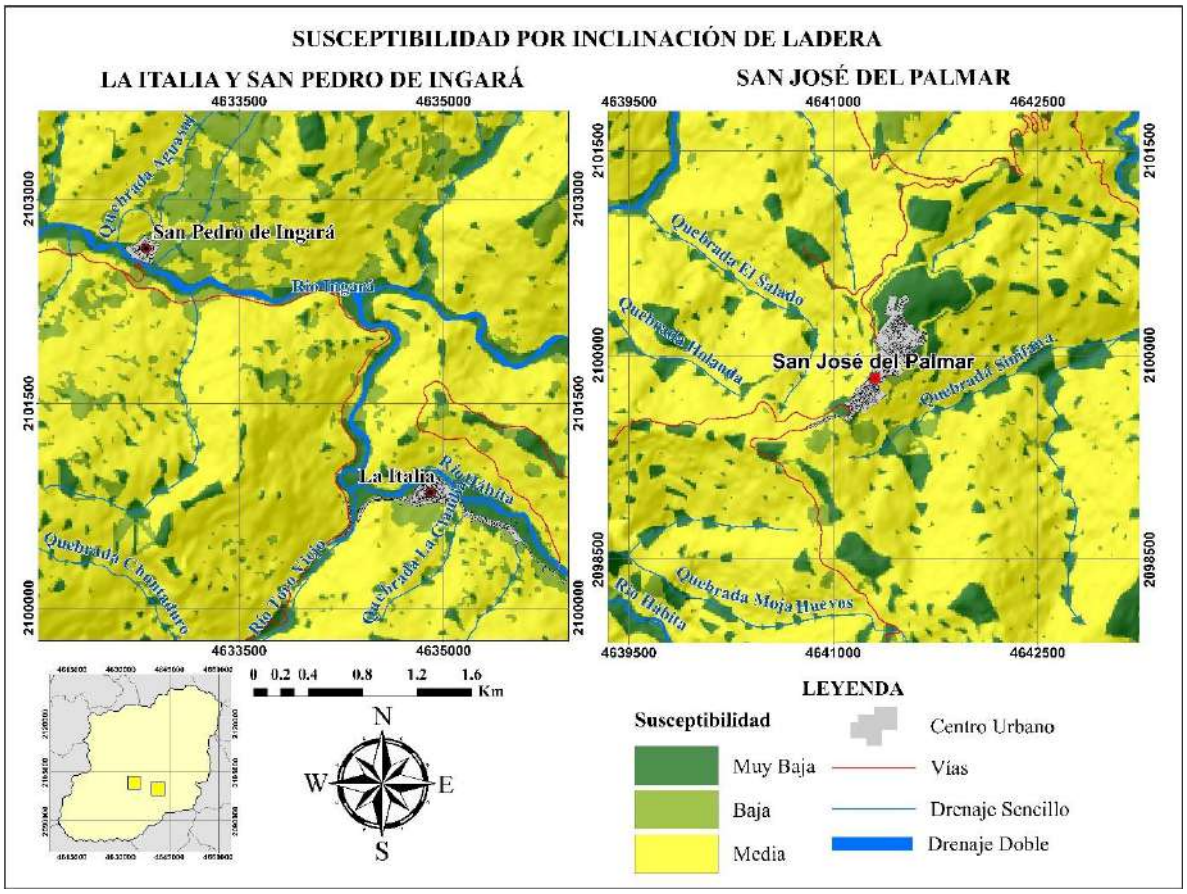
Susceptibilidad baja: esta se presenta de manera diseminada en todo el municipio concentrándose en valles de los principales ríos. Este grado representa el 12,9% del área total con 205 km^2.

Susceptibilidad muy baja: al igual que la susceptibilidad baja esta se encuentra esparcida por toda el área de estudio, sin embargo, se observan algunas

concentraciones en las cuentas ce los ríos Tamaná e Irabubú, así como en la confluencia de estos. Esta calificación se aplica al 13,5% del área municipal equivalente a 213 km^2.

SUSCEPTIBILIDAD POR INCLINACIÓN DE LADERA EN ÁREAS DE INTERÉS

Mapa 46 Susceptibilidad por inclinación de ladera en áreas de interés



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad media: al estar ubicado el municipio en una región de alta topografía las inclinaciones de laderas tienden a ser altas, por esta razón se observa que este el grado de susceptibilidad es de mayor presencia en ambas regiones, especialmente cerca a la cabecera municipal dada su ubicación geográfica. En esta última zona esta calificación se presenta el 80% del área estudiada, mientras que en las zonas aledañas a los corregimientos esta proporción es del 72%.

Susceptibilidad baja y muy baja: estas calificaciones se aplican a zonas cuyas pendientes son inferiores a 20° las cuales están concentradas en las lomas y cimas en el caso de las superficies cercanas a la cabecera municipal y en los valles asociados a los cauces principales en el caso de La Italia y San Pedro de Ingará. En la primera región estas susceptibilidades se aplican sobre el 20% del área estudiada, mientras que en las zonas aledañas a los corregimientos esta proporcione es del 28%.

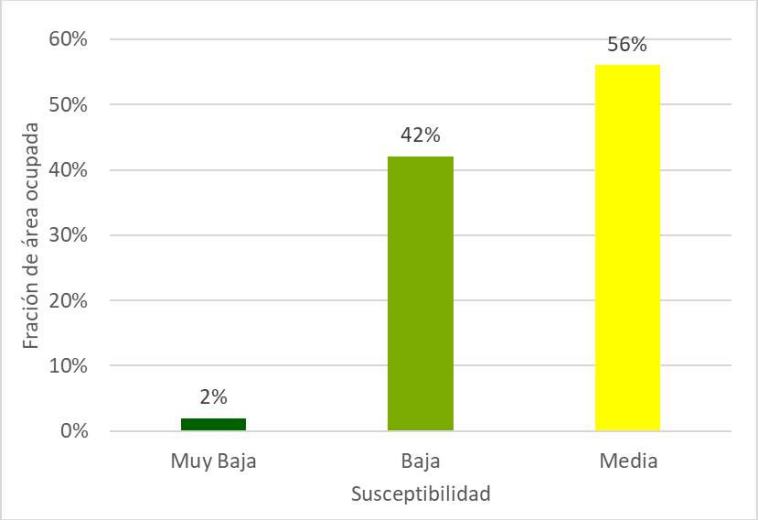
C. **RELIEVE RELATIVO E INCLINACIÓN DE LADERA:**

“La combinación de los elementos fisiográficos, relieve relativo e inclinación de la ladera, permite la agrupación en un mismo escenario de los elementos geomorfológicos con mayor tendencia a los movimientos en masa tanto por evidencias antecedentes como por los eventos registrados en un catálogo e inventario de dichos movimientos. De esta manera se considera que la inclinación de la ladera que constituye una geoforma, no atributo suficiente para determinar la ocurrencia de un movimiento, en tanto no exista la contribución de la posición geográfica de dicha ladera a la ocurrencia o amplificación del evento”. (SGC, 2013)

La ecuación utilizada para relacionar estos parámetros es la siguiente:

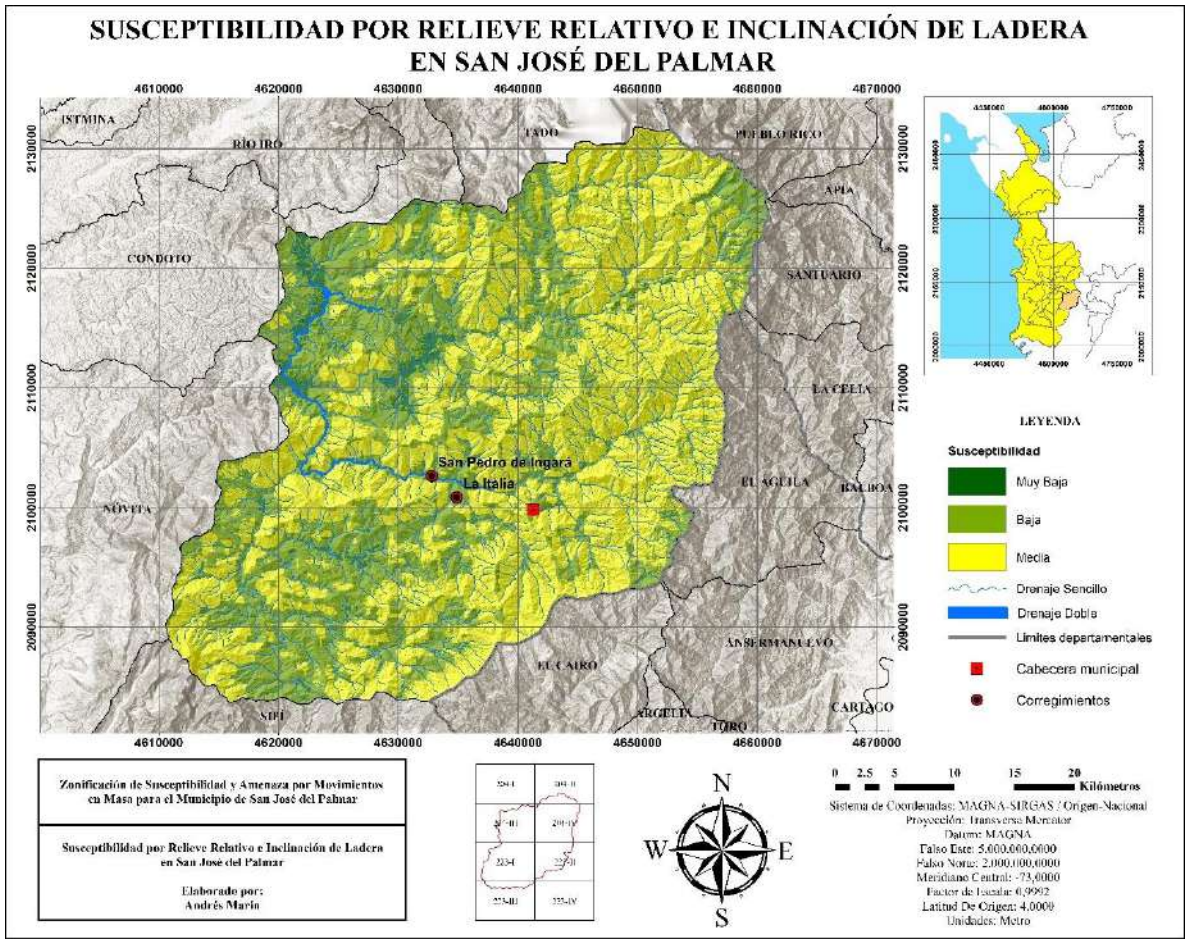
$$\boldsymbol{Relaincli = RR * 60\% + IL * 40\%}$$

Figura 29 Distribución de susceptibilidad por relieve relativo e inclinación de ladera



Fuente: presente estudio

Mapa 47 Susceptibilidad por relieve relativo e inclinación de ladera



Fuente: presente estudio

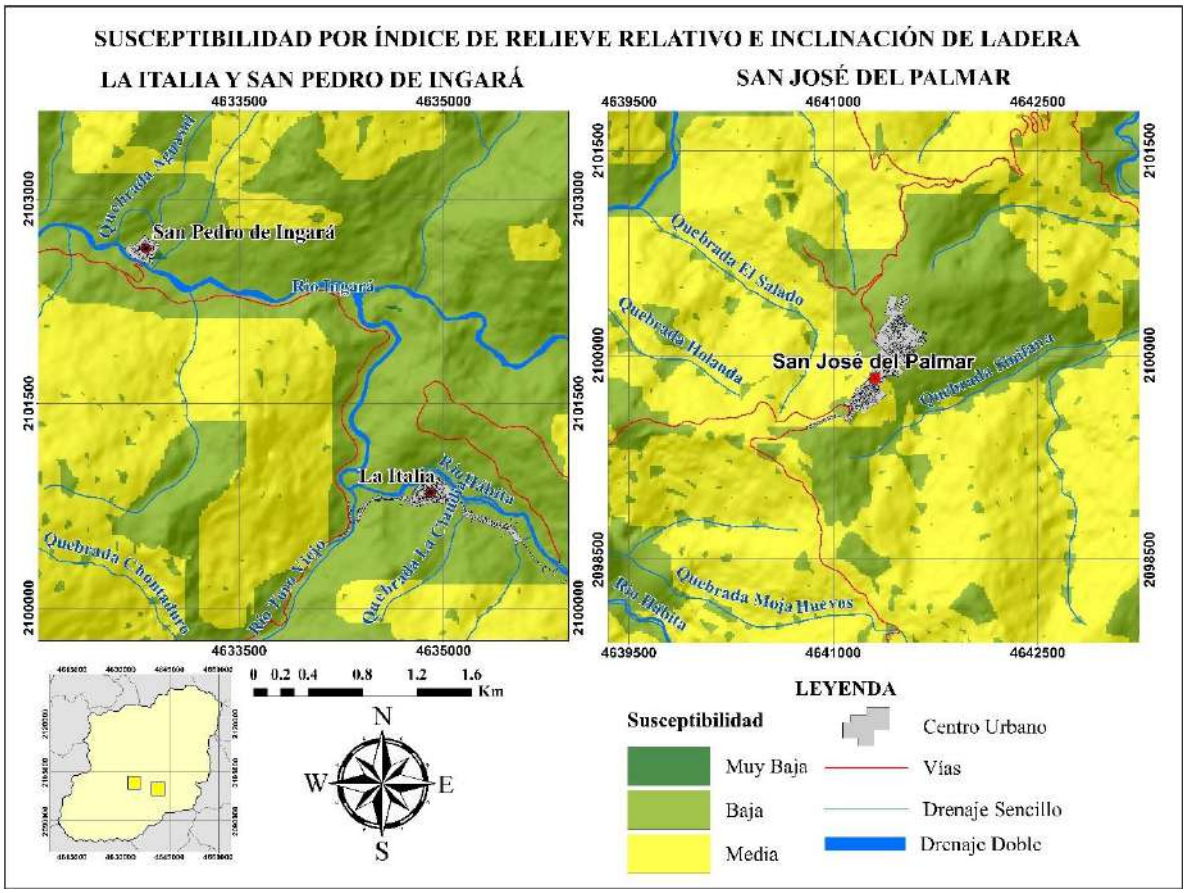
Susceptibilidad media: se distribuye en las zonas topográficamente más elevadas y más inclinadas ubicadas especialmente sobre la cordillera occidental en la Serranía de los Paraguas y el Parque Nacional Natural Tatamá. Ocupa un área de 882.6 km^2 que representa el 56% del municipio.

Susceptibilidad baja: se ubica especialmente en las zonas más bajas del municipio concentrándose en las cuencas de los ríos Surama, Irabubú y Tamaná. Se encuentran en el 42% del municipio equivalente a 665.8 km^2.

Susceptibilidad muy baja: este grado de susceptibilidad se encuentran en las cuencas bajas de los ríos principales y en zonas muy cercanas a estos causes, destacando los ríos Irabubú y Tamaná. Dentro del municipio ocupan 33.6 km^2 que corresponden al 2% del área total.

SUSCEPTIBILIDAD POR ÍNDICE DE RELIEVE RELATICO E INCLINACIÓN DE LADERA EN ÁREAS DE INTERÉS

Mapa 48 Susceptibilidad por índice de relieve relatico e inclinación de ladera en áreas de interés



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad media: esta se registra sobre las zonas topográficamente las elevadas, pes es el ellas en donde existe una mayor diferencia altitudinal en cortas distancias además de una mayor inclinación de ladera. Por esta razón en la región de la cabecera municipal, la cual se asienta en una zona de alta topografía se observa mayor cantidad área con esta calificación, 69% frente al 37% que se registra en la región que abarca los corregimientos.

Susceptibilidad baja: en la zona de la cabecera municipal, esta se registra especialmente sobre la cima en la que se asienta el casco urbano y representa el 31% del área total. En la región de la Italia y san pedro, esta calificación se concentra

principalmente en los costados de los ríos Habita e Ingará, con una proporción del 63% sobre el área total analizada.

D. INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

El inventario de estos de estos movimientos se obtuvo mayormente de imágenes aéreas y reconocimiento en campo, mientras que tres eventos se tomaron del SIMMA (Tabla 33). Estos eventos se digitalizaron en forma de polígonos y se les asigno una susceptibilidad muy alta (5), pues corresponde a las zonas de mayor dinamismo por movimientos en masa. Mapa 49

Tabla 33 Fuentes de información de eventos de Movimientos en masa

Fuente de Información	Cantidad de Eventos
Inventario SIMMA	3
Presente estudio	304

Fuente: presente estudio

En la Tabla 34 se observan los tipos de movimiento en masa y el número de eventos de cada tipo que se registraron en el municipio.

Tabla 34 Clasificación y cuantificación de movimientos en masa en San José del Palmar

Tipo de Movimiento en Masa	Cantidad de Eventos
Flujo de Detritos	134
Flujo de Tierra	95
Deslizamiento Rotacional	30
Deslizamiento Planar	44
Caída de Rocas	1
Caída de Detritos	3

Fuente: presente estudio

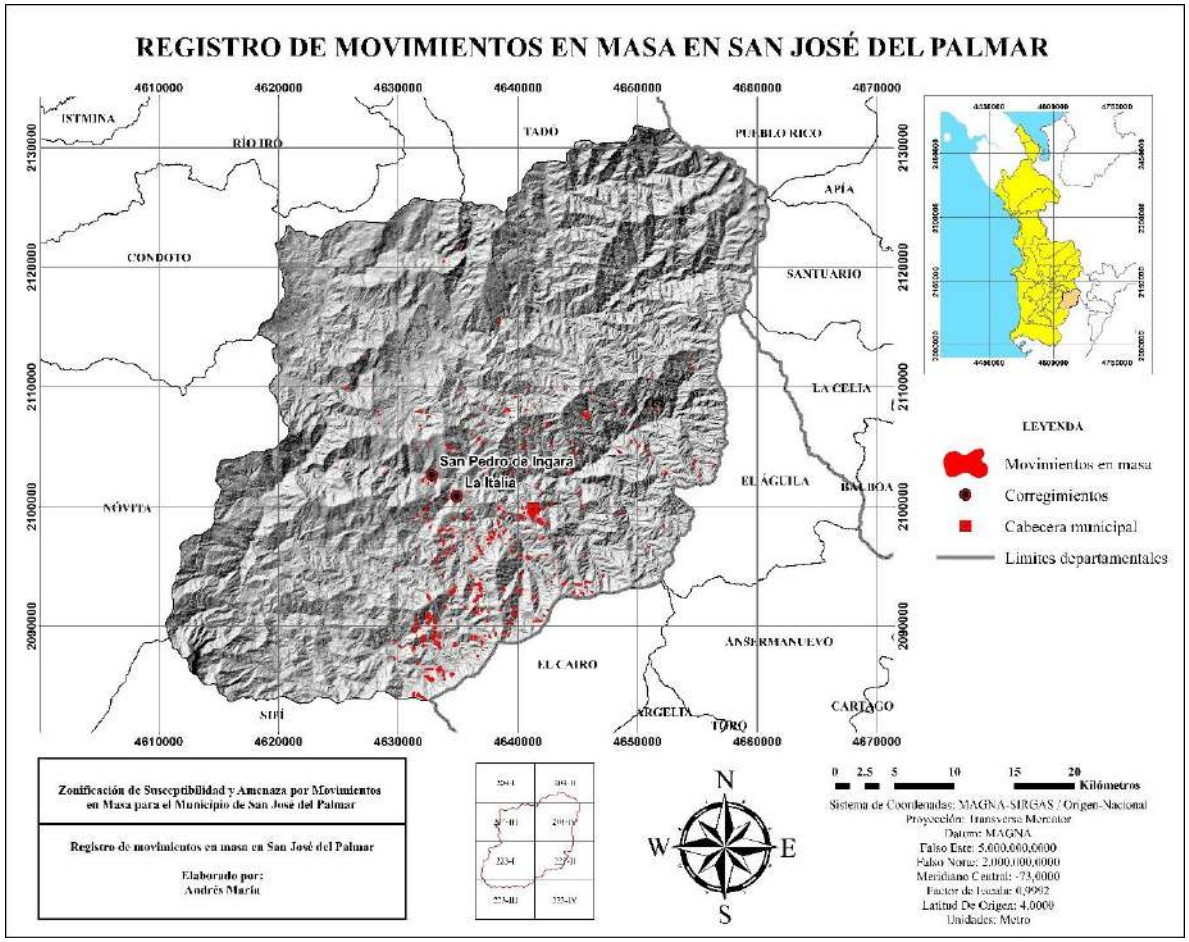
Imagen 42 Flujo de tierra en vía San José del Palmar - Cartago

Fuente: presente estudio

Imagen 43 Deslizamiento rotacional en la vereda La Solita

Fuente: Google Earth

Mapa 49 Registro de movimientos en masa en San José del Palmar



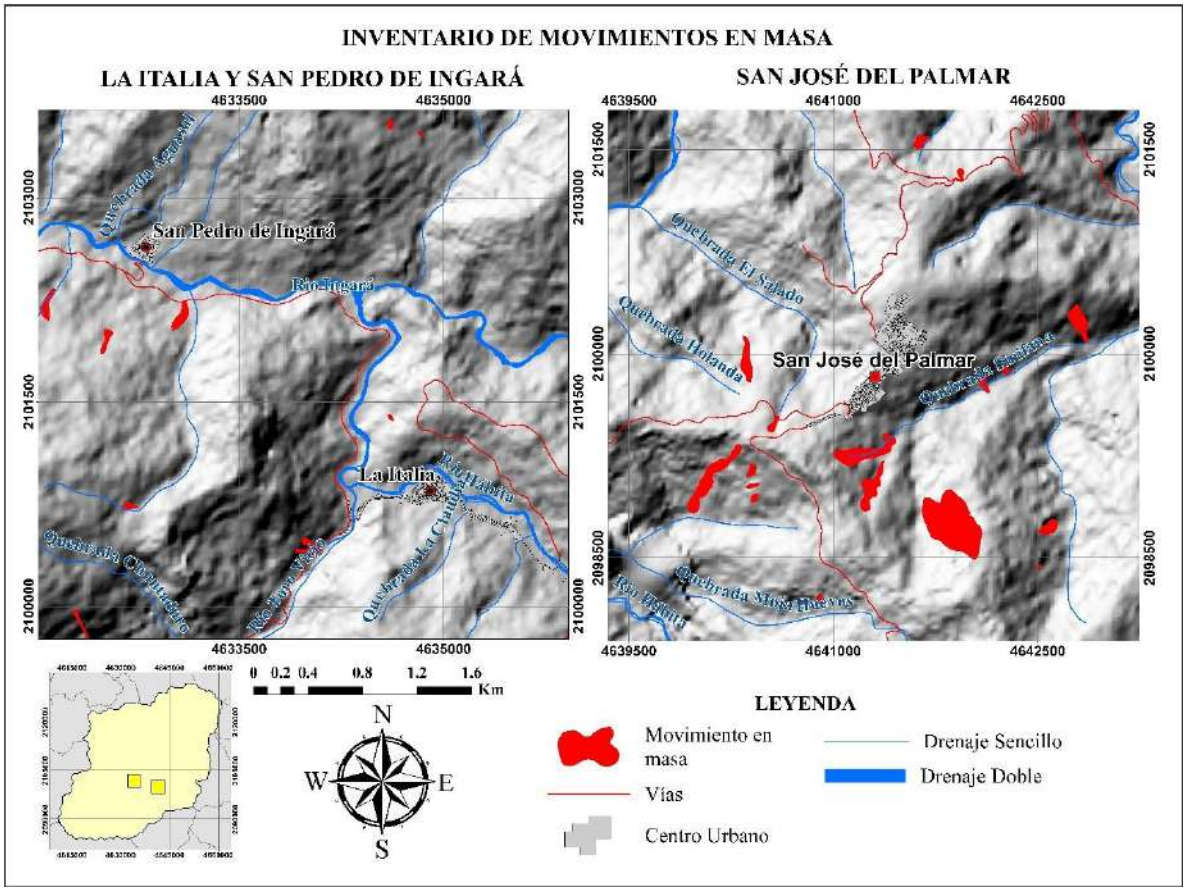
Fuente: presente estudio

*De los 307 eventos de movimientos en masa registrados en el municipio las tres cuartas partes corresponden a flujos, 44% a flujos de detritos y 31% a flujos de tierra (*Imagen 42*), mientras que el cuarto restante está caracterizado por deslizamientos y caídas de rocas y detritos. Entre los deslizamientos es más común la presencia de planares (14%), debido al dominio de estratos sedimentarios en el municipio favoreciendo en las zonas con buzamientos a favor de la dirección de la pendiente la formación de cuñas y planos de deslizamiento. Los deslizamientos rotacionales (*

Imagen 43), menos común que los anteriores (10%), tienden a formarse en zonas con suelo de gran espesor, y finalmente la caída de rocas y detritos representan un poco más del 1% de los eventos registrados.

INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA EN ÁREAS DE INTERÉS

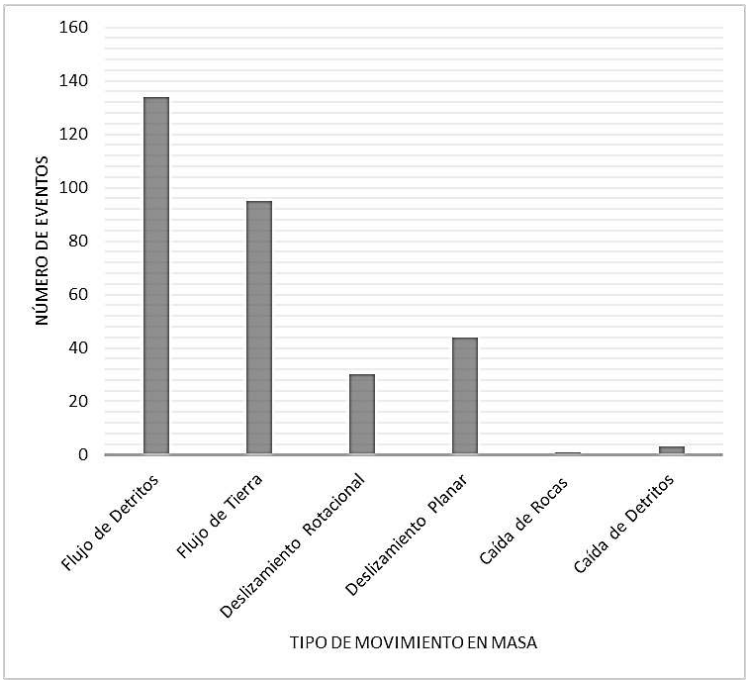
Mapa 50 Inventario de movimientos en masa en áreas de interés



Fuente: presente estudio

Cerca de los principales centros poblados se han registrado varios eventos de movimientos en masa, los cuales han provocado serios problemas de movilidad y seguridad a los pobladores. Debido a su ubicación, la cabecera municipal ha sido el centro poblado más propenso a tener movimientos en masa en sus alrededores (Imagen 44), varios de los cuales han permanecido activos durante varios años amenazando infraestructuras viales y de servicios públicos.

Figura 30 Distribución de los tipos de movimiento en masa



Fuente: presente estudio

Imagen 44 Movimiento en masa cerca a la cabecera municipal

Fuente: presente estudio

E. RELACIÓN ENTRE EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA Y ATRIBUTOS DE TERRENO:

Para una mayor comprensión de la forma en la que influyen factores geológicos, geomorfológicos, edafológicos, meteorológicos y de cobertura vegetal en la ocurrencia de movimientos en masa para para el área específica de San José del Palmar, se realizó un análisis comparativo que relaciona número y tipo de movimiento en masa con las características antes mencionadas.

RELACIÓN CON ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS

Respecto a los ambientes geomorfológicos el 95% de los eventos ocurren en ambientes estructurales, mientras que el 5% restante se desarrollan en ambientes denudacionales (Tabla 35).

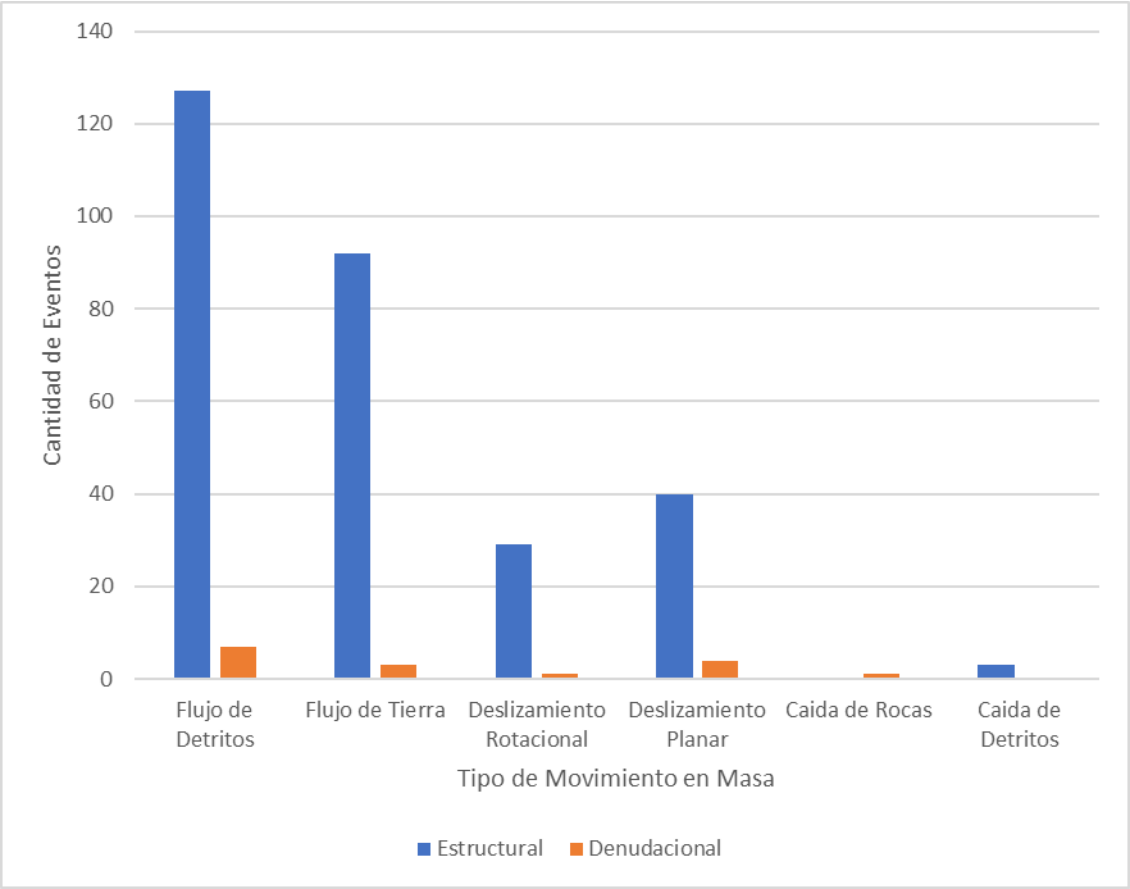
Tabla 35 Relación de movimientos en masa con ambientes geomorfológicos.

Tipo de Movimiento en Masa	Ambientes Geomorfológicos	
	Estructural	Denudacional
Flujo de Detritos	127	7
Flujo de Tierra	92	3
Deslizamiento Rotacional	29	1
Deslizamiento Planar	40	4
Caída de Rocas	0	1
Caída de Detritos	3	0

Fuente: presente estudio

Como se muestra en la Figura 31 esta proporción 95-5 es aproximadamente uniforme en todos los tipos de movimiento en masa con suficientes datos, de tal forma que no existe o no se puede definir con los datos recolectados una distribución preferencial de algún tipo de movimiento dentro de alguno de los ambientes geomorfológicos.

Figura 31 Distribución de movimientos en masa frente a los ambientes geomorfológicos



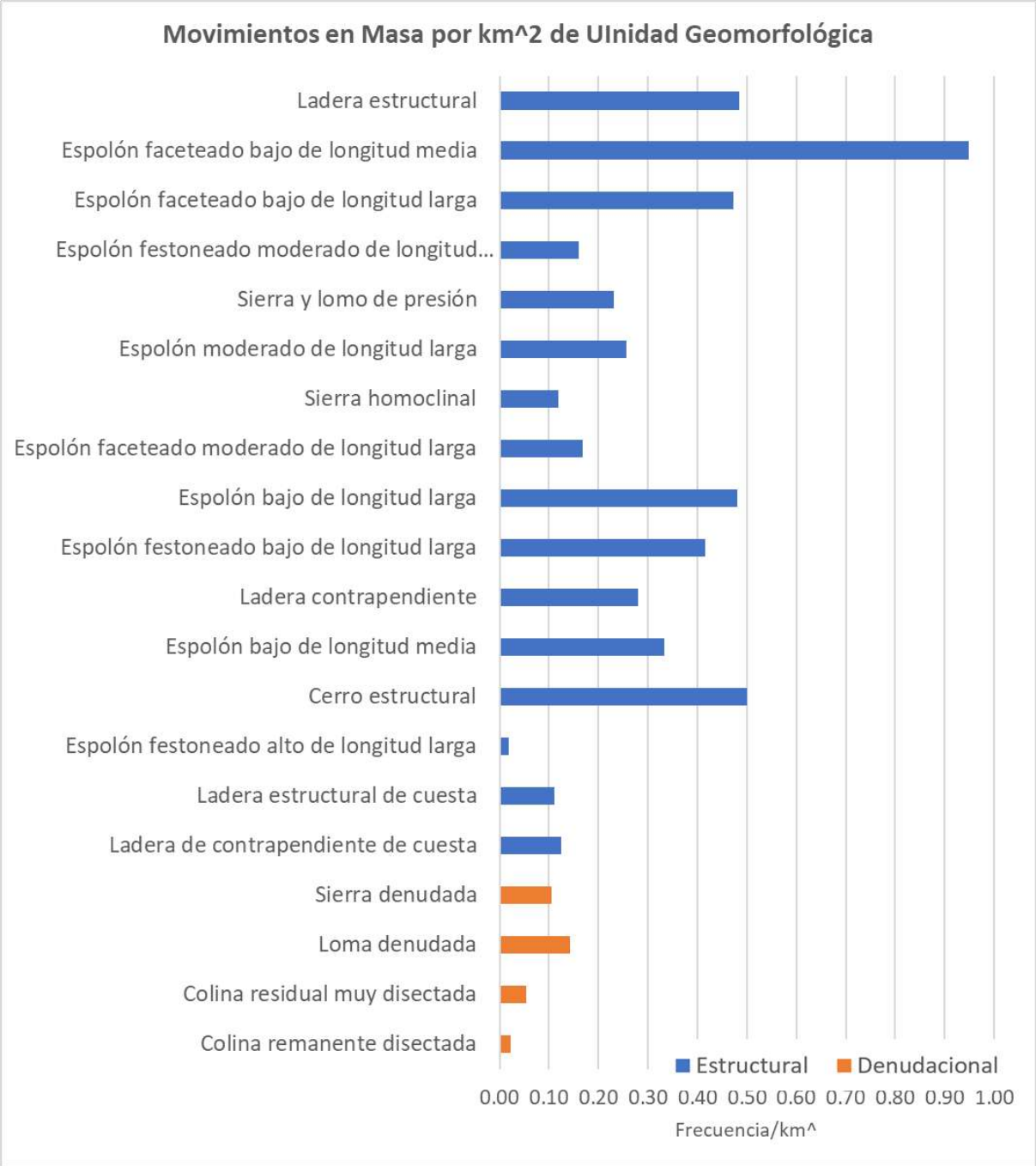
Fuente: presente estudio

La Figura 32 muestra la frecuencia de los eventos registrados en cada unidad geomorfológica en donde destaca el alto número de eventos (60) desarrollados en laderas estructurales, además de la gran cantidad presente en espolones faceteados y festoneados. Sin embargo, si se realiza la comparación respecto al área que ocupa cada unidad en el municipio se observa claramente en la Figura 33 una concentración de movimientos en masa en el espolón faceteado bajo de longitud media ubicado entre los límites con Sipí y El Cairo.

Figura 32 Frecuencia de eventos registrados en cada unidad geomorfológica.

Fuente: presente estudio

Figura 33 Movimientos en masa por kilómetro cuadrado de unidad geomorfológica



Fuente: presente estudio

RELACIÓN CON EL GRADO DE PENDIENTE

Al relacionar la frecuencia de los movimientos en masa con el grado de pendiente en donde se registraron, (Tabla 36), se observa un aumento progresivo del número de movimientos hasta aproximadamente los 40° donde se produce un notable descenso en su frecuencia (Figura 34). Se establece entonces una concentración de los movimientos en masa entre los 20° y 50° de inclinación.

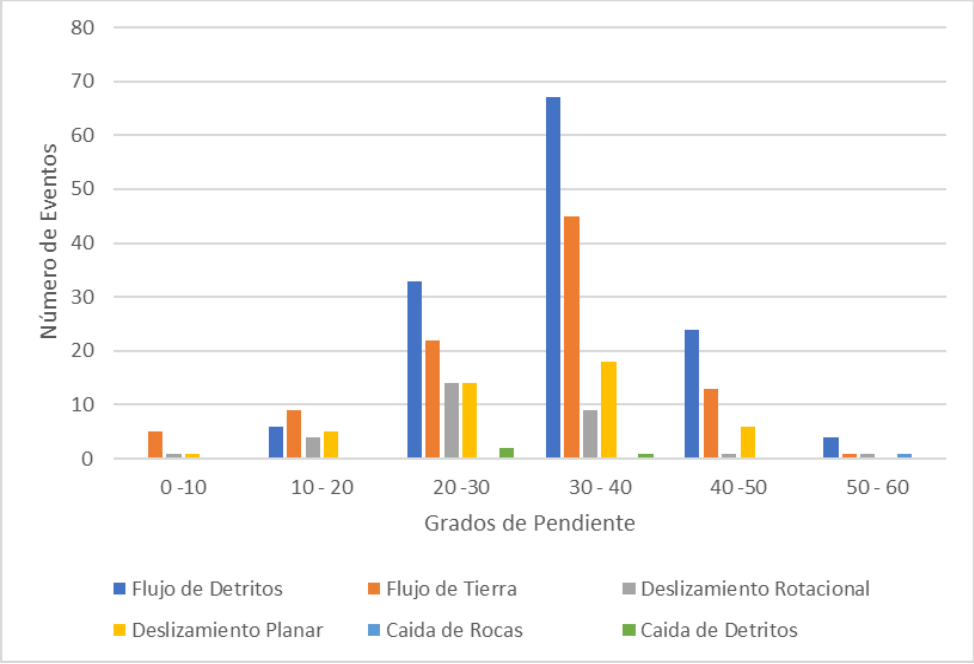
Se observa además que existe diferencia entre las proporciones de ocurrencia de los tipos de movimiento en masa en cada rango, apreciado mejor en el grafico x.

Tabla 36 Relación de movimientos en masa con grados de pendiente.

Tipo de Movimiento en masa	Pendiente (°)					
	0 -10	10 - 20	20 -30	30 - 40	40 -50	50 - 60
Flujo de Detritos	0	6	33	67	24	4
Flujo de Tierra	5	9	22	45	13	1
Deslizamiento Rotacional	1	4	14	9	1	1
Deslizamiento Planar	1	5	14	18	6	0
Caída de Rocas	0	0	0	0	0	1
Caída de Detritos	0	0	2	1	0	0

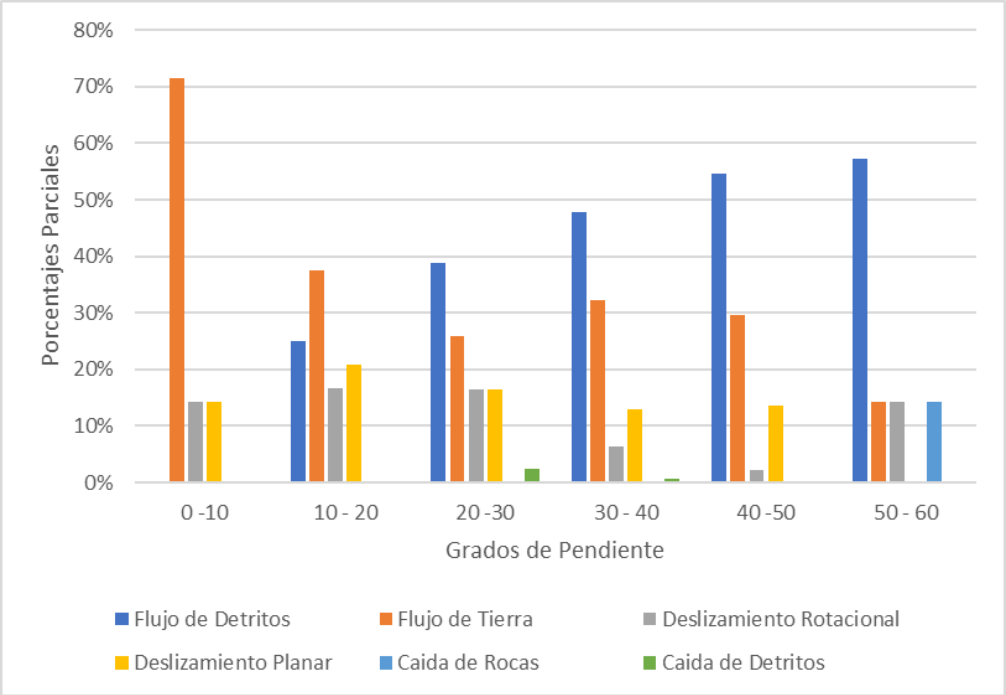
Fuente: presente estudio

Figura 34 Distribución de movimientos en masa en rangos de pendiente



Fuente: presente estudio

Figura 35 Porcentajes de participación de los tipos de movimiento en masa en los rangos de pendiente.



Fuente: presente estudio

El grafico anterior muestra para cada rango de pendiente el porcentaje de participación de cada tipo de evento respecto al total de los registrados en ellos. Para el rango entre 0 y 10 grados se observa que de la totalidad de los eventos registrados más del 70% corresponden a flujos de tierra, pero a medida que el grado de inclinación aumenta, su proporción se ve disminuida hasta llegar cerca del 15% de los registros el rango de 50 a 60 grados. En contraste la proporción de flujo de detritos aumenta a medida que lo hace la pendiente, superando el 50% en rangos superiores a los 40 grados.

En general los deslizamientos tanto planares como rotacionales se mantienen en proporciones del 10% al 20% en todos los rangos. Respecto a la caída de rocas y detritos que ocurren en zonas puntuales es imposible definirles una tendencia, pues el escaso número de eventos registrados lo impide.

RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN

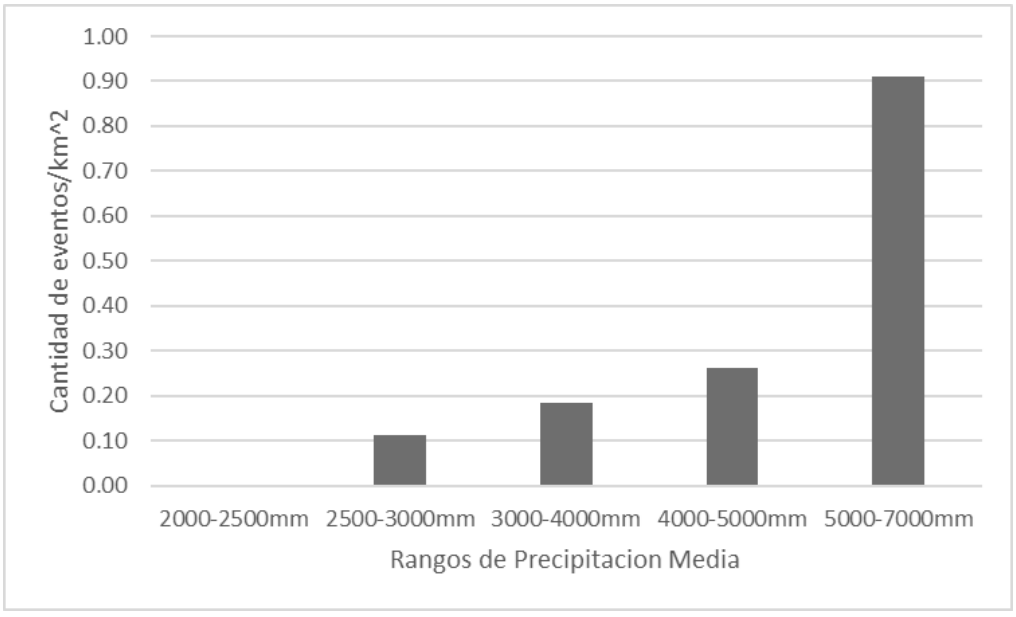
Para la relación entre la frecuencia de los movimientos en masa y la precipitación media anual se calculó el área ocupada por los rangos mostrados en la Tabla 37 dentro del municipio y así obtener la cantidad de movimientos en masa por kilómetro cuadrado en cada rango.

Tabla 37 Relación de eventos con rangos de precipitación

Rangos de precipitación	Cantidad de Eventos	Área de rangos (km^2)	Cantidad/km^2
2000-2500mm	0	84	0.00
2500-3000mm	29	257	0.11
3000-4000mm	145	789	0.18
4000-5000mm	113	430	0.26
5000-7000mm	20	22	0.91

Fuente: presente estudio

Figura 36 Distribución de movimientos en masa por kilometro cuadrado en rangos de precipitacion.



Fuente: presente estudio

En la Figura 36 se observa un incremento exponencial en la tasa de ocurrencia de movimientos en masa, llegando a cerca de un evento por kilómetro cuadrado en los rangos de 5000 a 7000 mm. Estas concentraciones de movimientos en masa en la zona de mayor precipitación media anual remarcan una relación directamente proporcional entre estos fenómenos.

RELACIÓN CON EL TIPO DE SUELO

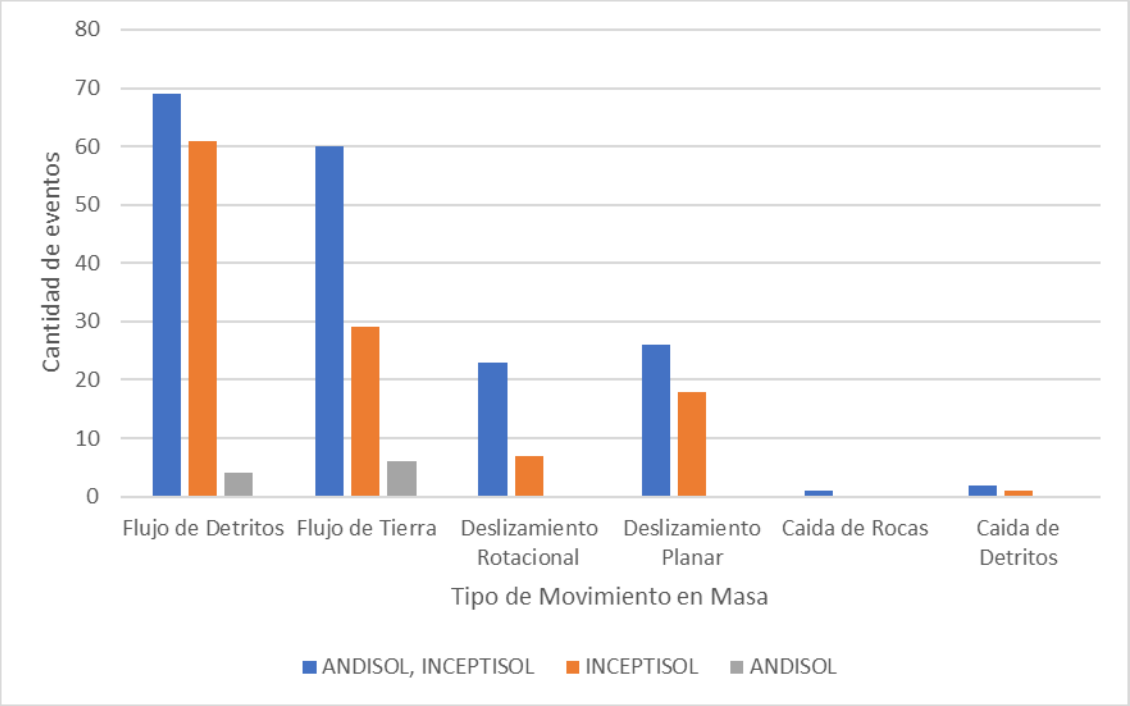
Los eventos de movimientos en masa registrados en el municipio se registraron sobre andisoles, inceptisoles y zonas indiferenciadas de andisoles e inceptisoles. Es notable que sobre los suelos clasificados únicamente como andisoles se desarrollan solo un poco más del 3% de los eventos totales, mientras que en los inceptisoles ocurren el 38%. El restante 59% ocurre en los suelos compuestos tanto por andisoles como por inceptisoles de forma indiferenciada, ambos con susceptibilidades altas a desarrollar movimientos en masa, aunque por la tendencia mostrada es probable que la mayoría de ellos se desarrollen sobre inceptisoles.

Tabla 38 Relación de movimientos en masa con taxonomía de suelos

Tipo de Movimiento en masa	Taxonomía		
	ANDISOL, INCEPTISOL	INCEPTISOL	ANDISOL
Flujo de Detritos	69	61	4
Flujo de Tierra	60	29	6
Deslizamiento Rotacional	23	7	0
Deslizamiento Planar	26	18	0
Caida de Rocas	1	0	0
Caida de Detritos	2	1	0

Fuente: presente estudio

Figura 37 Distribución de movimientos en masa frente a la taxonomía de los suelos.



Fuente: presente estudio

La Figura 37 muestra la relación entre el tipo de movimiento en masa y la taxonomía del suelo sobre el cual se desarrollan. En este se aprecia que para cada tipo de movimiento las proporciones de las taxonomías son aproximadamente iguales, es decir, que los tipos de movimiento en masa se desarrollan en las mismas proporciones sin importar la taxonomía.

RELACIÓN CON LA COBERTURA

Respecto a la frecuencia de los movimientos en masa se puede observar en la Tabla 39 y la

Figura 38 que la mayoría de ellos se desarrollan en bosques densos altos de tierra firme, aproximadamente el 49,2% equivalente a 151 eventos. El siguiente tipo de cobertura en número de movimientos en masa es el bosque de galería y ripario con el 24,8% de los eventos que corresponde a 76. Los bosques fragmentados con pastos y cultivos y los arbustales densos agrupan el 18,2% de los registros con un total de 56 eventos. Las demás coberturas (cultivos permanentes herbáceos, pastos arbolados, pastos enmalezados y pastos limpios) representan solo el 7,8% de los eventos registrados para un total de 24 movimientos en masa.

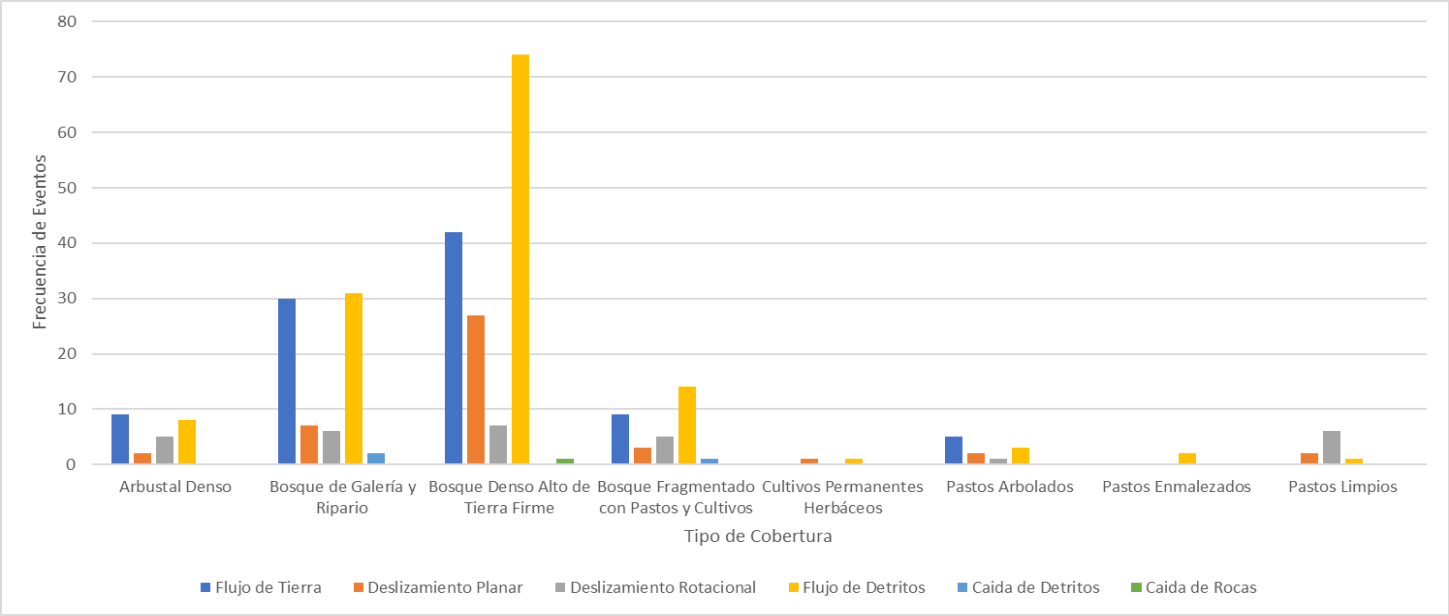
Estos últimos resultados parecen contraintuitivos en la medida que son estas coberturas las de mayor susceptibilidad a presentar movimientos en masa, sin embargo, en la anterior estadística no se tomó en cuenta el área que cada una de las coberturas ocupa en el municipio. Para esto se realizó la Fuente: *presente estudio*

Tabla 40 y la Figura 39 en donde se presenta el número de eventos por kilómetro cuadrado (eventos/km^2), ofreciendo así un mayor acercamiento a las probabilidades de ocurrencia de un movimiento en masa en determinada área de cobertura.

En las tablas antes mencionadas se pudo apreciar que la mayor concentración de movimientos en masa se da sobre el bosque de galería y ripario llegando a superar 1 evento (de cualquier tipo) por km^2. La explicación más probable a este fenómeno puede ser la relación que existe entre esta cobertura y los cauces naturales en donde se concentran las aguas de escorrentía propiciando la formación de movimientos en masa. Los arbustales densos y los pastos arbolados presentan concentraciones similares de 0,63 y 0,59 eventos/km^2 respectivamente y una distribución de tipos de movimiento en masa también parecida.

Es destacable la concentración de movimientos en masa en los pastos enmalezados y limpios. En los pastos enmalezados se presentaron 0,25 eventos/km^2 siendo exclusivamente flujos de detritos, mientras que en los pastos limpios se presentaron en total 0,18 eventos/km^2 destacando más que en cualquier otro tipo de cobertura los deslizamientos rotacionales.

Figura 38 Distribución de los tipos de movimiento en masa en las coberturas



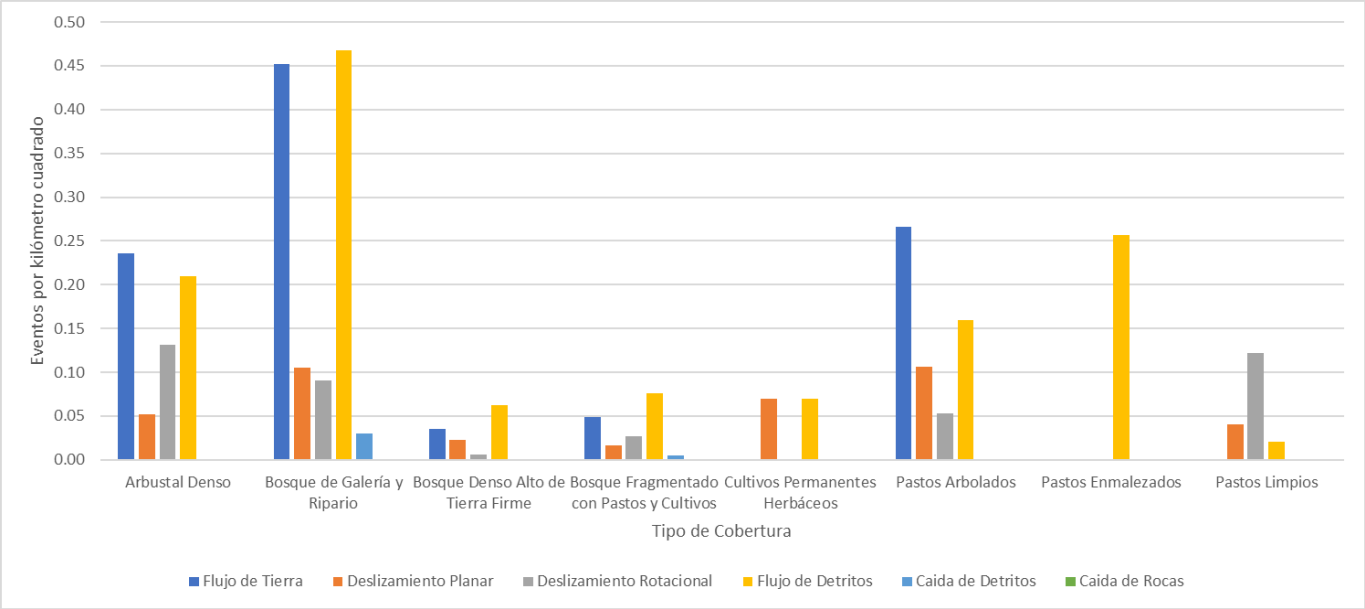
Fuente: presente estudio

Tabla 39 Relación de movimientos en masa con el tipo de cobertura

Tipo de Movimiento en masa	Tipo de cobertura							
	Arbustal Denso	Bosque de Galería y Ripario	Bosque Denso Alto de Tierra Firme	Bosque Fragmentado con Pastos y Cultivos	Cultivos Permanentes Herbáceos	Pastos Arbolados	Pastos Enmalezados	Pastos Limpios
Flujo de Tierra	9	30	42	9	0	5	0	0
Deslizamiento Planar	2	7	27	3	1	2	0	2
Deslizamiento Rotacional	5	6	7	5	0	1	0	6
Flujo de Detritos	8	31	74	14	1	3	2	1
Caida de Detritos	0	2	0	1	0	0	0	0
Caida de Rocas	0	0	1	0	0	0	0	0

Fuente: presente estudio

Figura 39 Cantidad de movimientos en masa por kilómetro cuadrado de cobertura



Fuente: presente estudio

Tabla 40 Relación de cantidad de movimientos en masa por kilómetro cuadrado con el tipo de cobertura

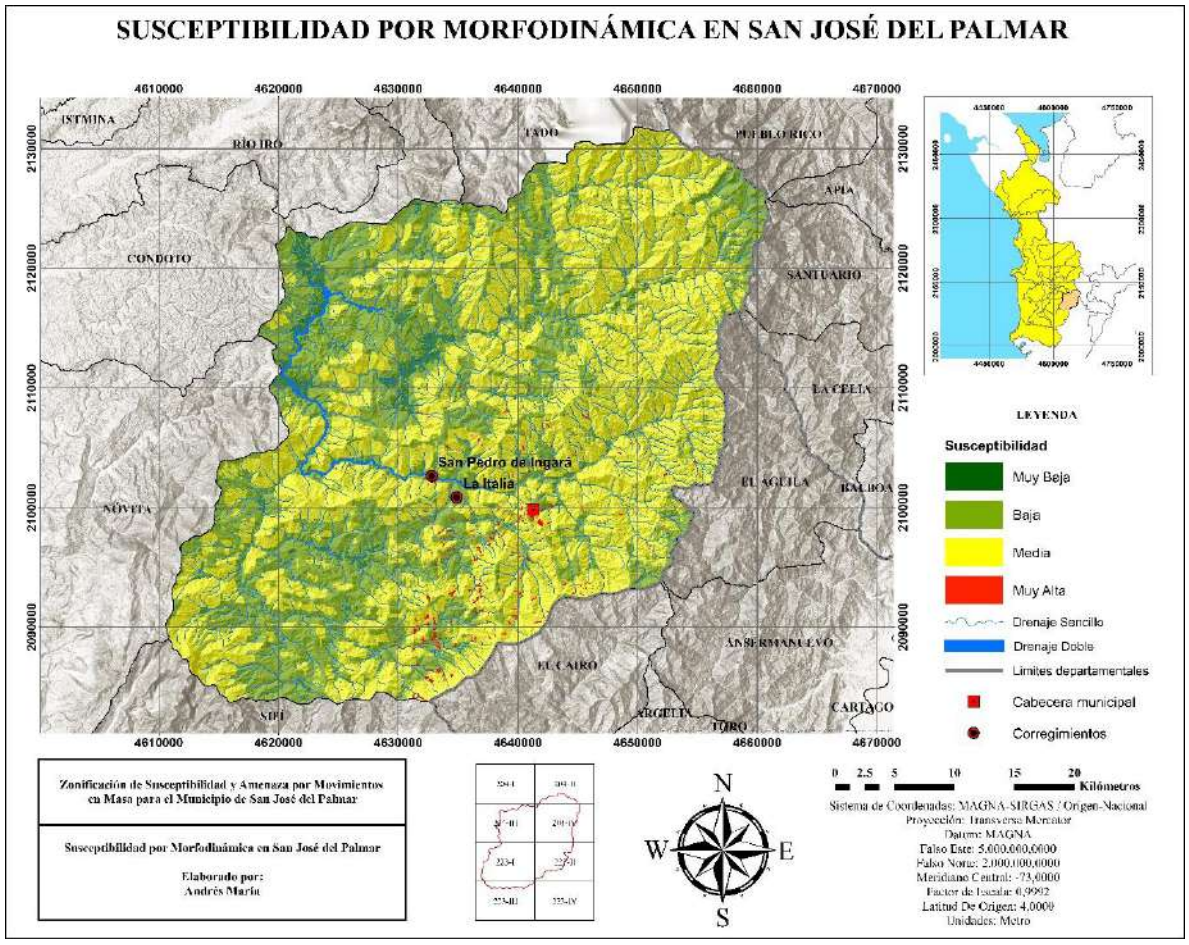
Tipo de Movimiento en masa	Tipo de cobertura							
	Arbustal Denso	Bosque de Galería y Ripario	Bosque Denso Alto de Tierra Firme	Bosque Fragmentado con Pastos y Cultivos	Cultivos Permanentes Herbáceos	Pastos Arbolados	Pastos Enmalezados	Pastos Limpios
Flujo de Tierra	0.24	0.45	0.04	0.05	0.00	0.27	0.00	0.00
Deslizamiento Planar	0.05	0.11	0.02	0.02	0.07	0.11	0.00	0.04
Deslizamiento Rotacional	0.13	0.09	0.01	0.03	0.00	0.05	0.00	0.12
Flujo de Detritos	0.21	0.47	0.06	0.08	0.07	0.16	0.26	0.02
Caida de Detritos	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Caida de Rocas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: presente estudio

F. SUSCEPTIBILIDAD POR MORFODINÁMICA

A los polígonos obtenidos en el mapa de eventos registrados se les asigna un nivel de susceptibilidad muy alto, los cuales se integran en el mapa de índice de relieve relativo e inclinación de ladera para finalmente obtener el mapa de susceptibilidad por morfodinámica mostrado a continuación.

Mapa 51 Susceptibilidad por morfodinámica



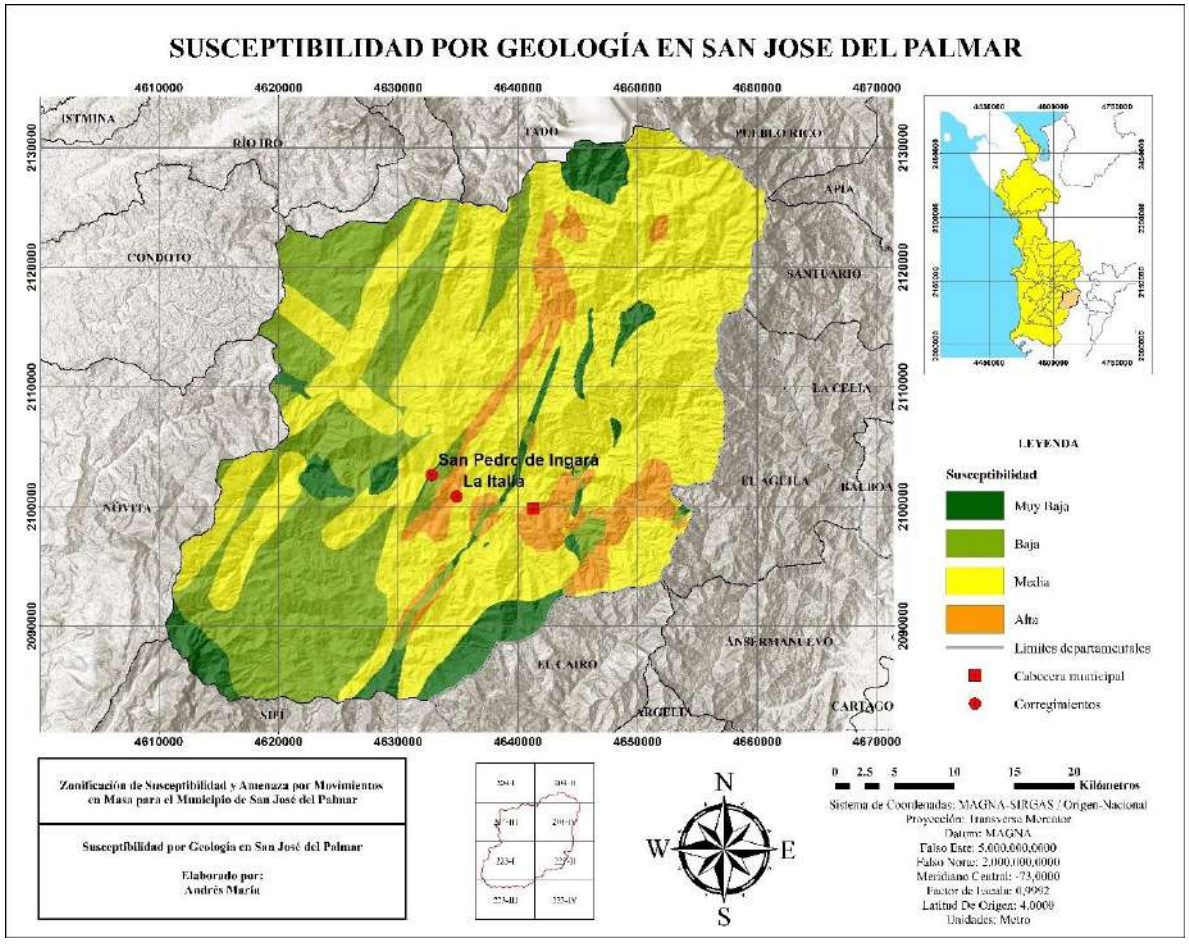
Fuente: presente estudio

5. RESULTADO DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, COBERTURAS Y SUELOS

5.1. SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA

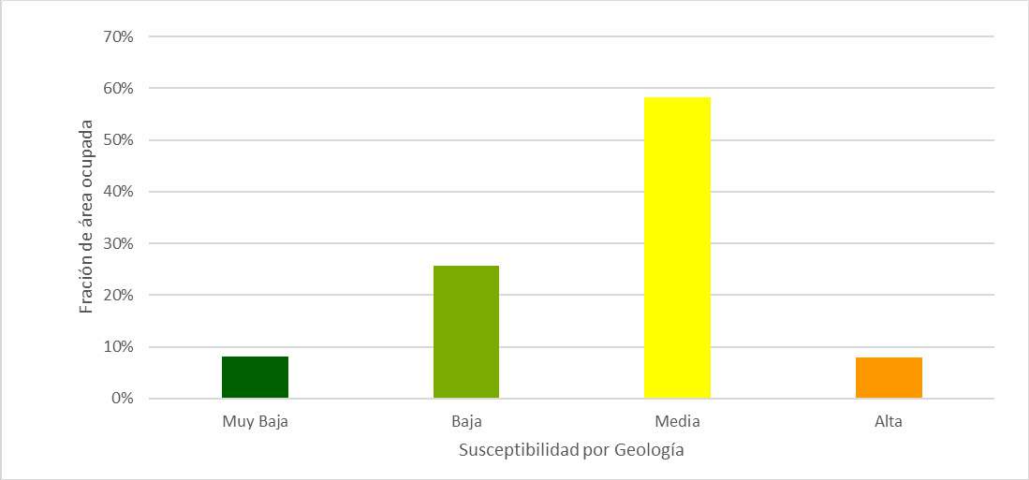
A partir de la integración de los mapas de susceptibilidad por densidad de fracturamiento, fábrica o estructura y resistencia mostrados en el numeral 4.1.3 y cuyas calificaciones se muestran en la Figura 6, se obtiene el mapa de susceptibilidad total por geología mostrado a continuación.

Mapa 52 Susceptibilidad por geología



Fuente: presente estudio

Figura 40 Distribución de susceptibilidad por geología



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad Alta: se encuentra distribuida exclusivamente al oriente de la falla de San Pedro de Ingará en donde la influencia estructural es mayor. Esta calificación está presente tanto en el Miembro Nutibara como en el Miembro Urrao de la Formación Penderisco y su calificación está controlada especialmente por el grado de fracturamiento litológico asociado a la densidad de fallas. Existen tres zonas bien diferenciadas con orientación SW-NE en donde la susceptibilidad alta predomina, la primera se encuentra en la cuenca alta de los ríos Corcovado y Cruces, la segunda se encuentra en cercanías a la cabecera municipal asociada a las fallas de la Quebrada Sinifaná, y la tercera se extiende desde la vereda Patios en el sur hasta el Rio El Pital en el norte estando asociada a las fallas de San Pedro de Ingará y Quebrada La Fiera. Este grado de susceptibilidad está presente en el 8% del territorio municipal equivalente a 126km^2.

Susceptibilidad Media: esta es la calificación de mayor presencia en el municipio y se distribuye principalmente al oriente del corregimiento de San Pedro de Ingará y de la falla del mismo nombre. Está aplicada principalmente al Miembro Urrao de la Formación Penderisco conformadas principalmente por rocas clásticas de baja dureza, sin embargo, también se encuentra aplicada a regiones del complejo Santa Cecilia – La Equis en donde la influencia de las fallas registradas en el

fracturamiento de las rocas incrementa en grado de susceptibilidad. Esta calificación se encuentra aplicada sobre el 58% del territorio municipal, que representa 921 km^2.

Susceptibilidad Baja: este grado de susceptibilidad se encuentra especialmente distribuido en el occidente del municipio sobre el complejo Santa Cecilia – La Equis conformada por rocas cristalinas y clásticas moderadamente duras, zona en la cual se presenta una baja afectación por las fallas registradas limitando su grado de fracturamiento. También se obtuvo esta susceptibilidad en rocas cristalinas duras de la Formación Barroso sobre la vereda Corcovado, Torito, La badea y La Albania cuya afectación por fallas es moderado-alto. Esta calificación se aplica sobre el 26% del municipio equivalente a 406 km^2.

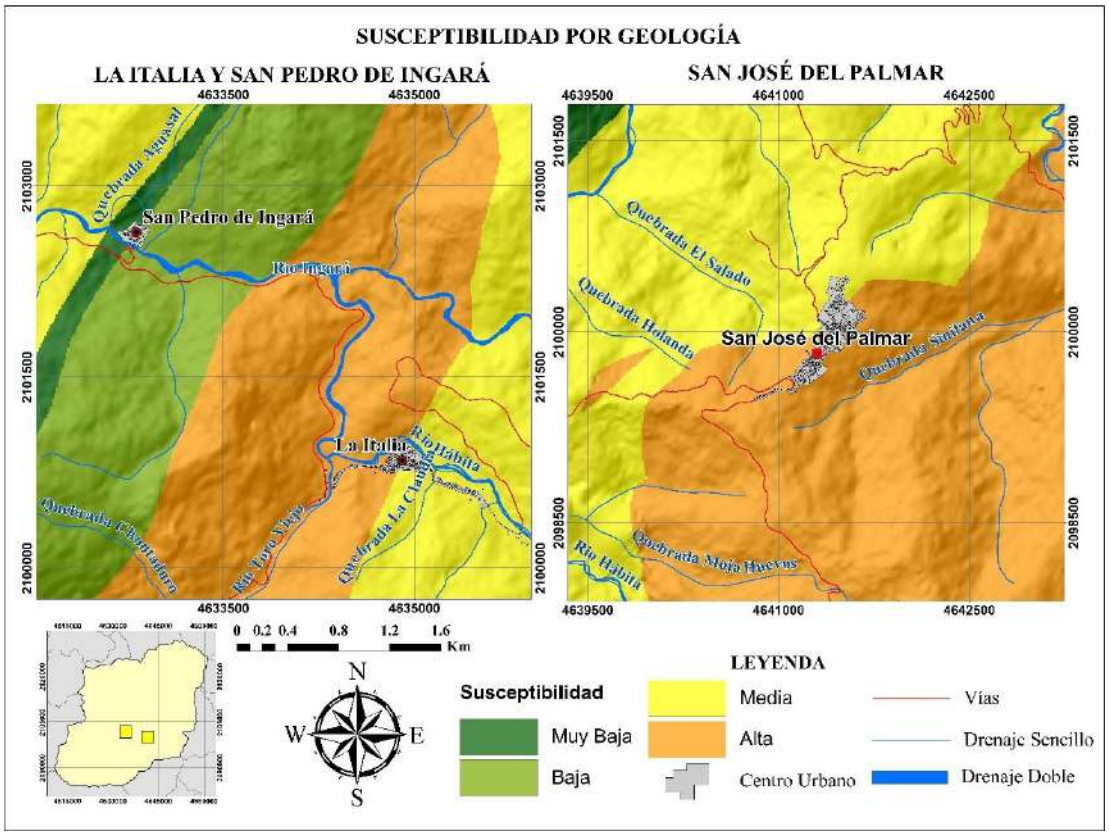
Susceptibilidad Muy Baja: el menor grado de susceptibilidad por geología se presentan principalmente en lugares cuya litología está conformada por rocas cristalinas y con alta dureza como la granodiorita del torra y sus apófisis, la Tonalita del Pital al norte del municipio, y algunos segmentos de la Formación Barroso que presentan una baja afectación por fracturamiento ubicados especialmente en el sureste del municipio en límites con El Cairo. En menor medida se presentan segmentos alargados con tendencia general N-S pertenecientes a la formación Barroso sobre la cuenca del rio Ingará y la cuenca alta del Rio Tamaná a los cuales también se les asigna este grado de susceptibilidad al presentar poca influencia en su fracturamiento de las fallas registradas. Esta calificación está presente en 129 km^2 que representa el 8% del área municipal.

SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA EN ÁREAS DE INTERÉS

Susceptibilidad Alta: se encuentra en ambas zonas estudiadas en proporciones importantes y está ligada a la Formación Penderisco. Cerca de la cabecera municipal está asociada al miembro Urrao afectado por las fallas de la Quebrada Sinifaná, ocupando el 55% del área delimitada. En las zonas aledañas a los corregimientos esta calificación ocupa el 47% del área enmarcada y fue aplicada sobre los miembros Nutibara y Urrao afectados por las fallas N-S.

Susceptibilidad Media: presente en ambas regiones de detalle, esta susceptibilidad está relacionada con litologías clásticas de baja a media dureza. En la región cercana a la cabecera municipal está asociada al Miembro Urrao de la Formación Penderisco en lugares con baja o nula afectación en el fracturamiento litológico por parte las estructuras registradas. En la zona de los corregimientos demás del miembro Urrao esta calificación se encuentre en el Complejo Santa Cecilia – La Equis al occidente de San Pedro de Ingará. Cerca a la cabecera municipal esta calificación representa el del área enmarcada, mientras que en las zonas aledañas a los corregimientos esta proporción es solo del 20%.

Mapa 53 Susceptibilidad por geología en áreas de interés



Fuente: presente estudio

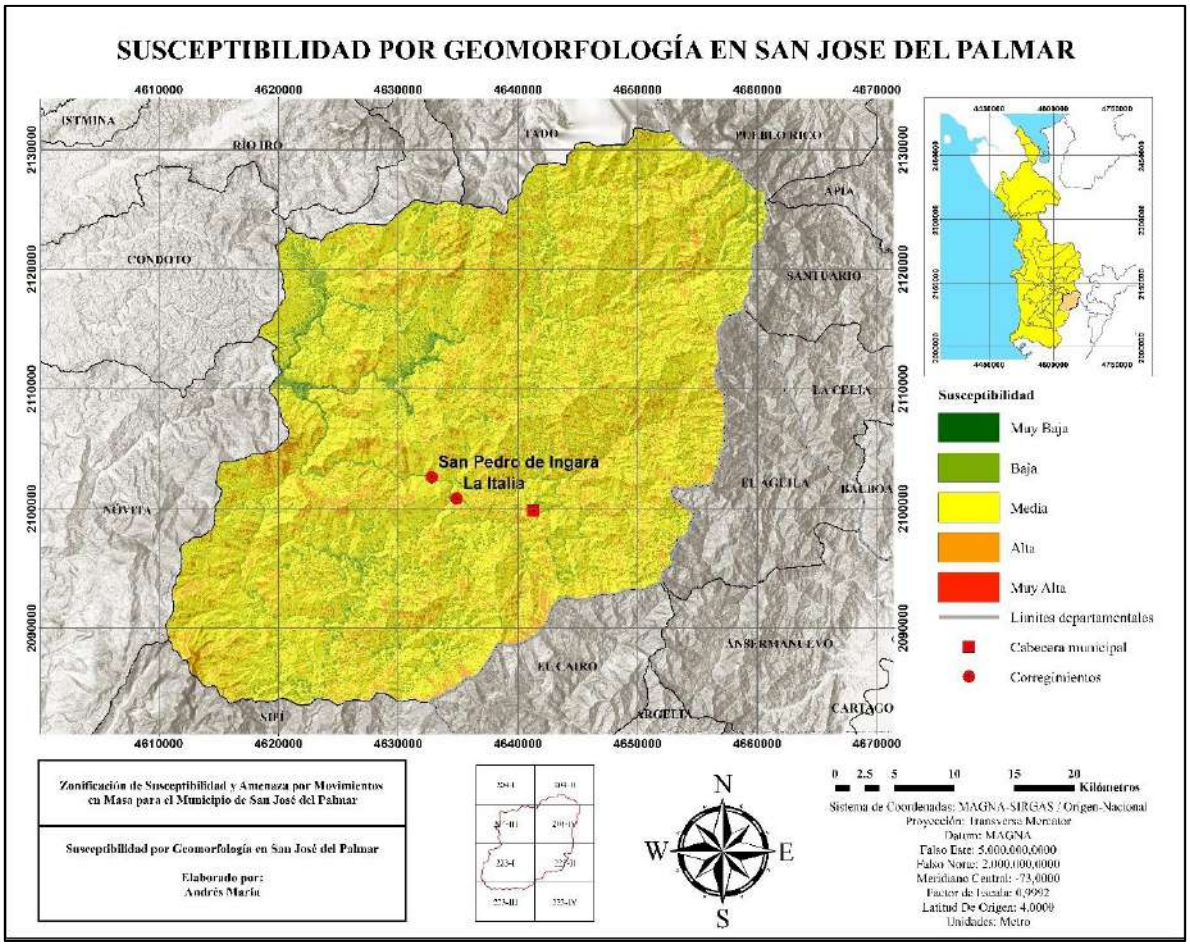
Susceptibilidad Baja: este grado de susceptibilidad presente en la región de los corregimientos está asociada a zonas de la Formación Barroso que han sido afectadas por la presencia de fallas. Dentro de esta región la baja susceptibilidad ocupa el 31%.

Susceptibilidad Muy Baja: esta es la calificación de menor presencial a en las áreas específicas de interés y se distribuye principalmente en el área de los corregimientos cerca a San Pedro de Ingará siguiendo la tendencia SW-NE, la cual está relacionada principalmente a la Formación Barroso en zonas donde la afectación por estructuras registradas es baja. En el área de los corregimientos la proporción de área que presenta esta calificación es del 3%.

5.2. SUSCEPTIBILIDAD POR GEOMORFOLOGÍA

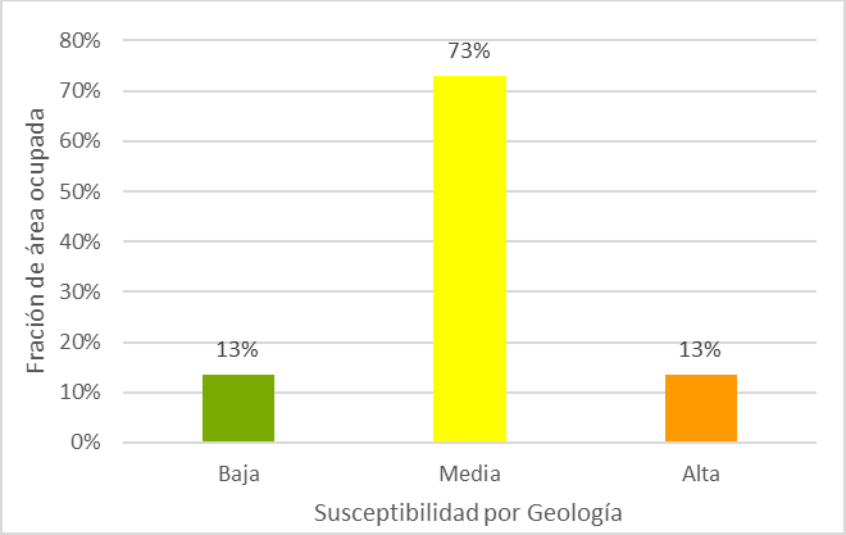
A partir de los mapas de morfometría, morfogenética y morfodinámica mostrados en el numeral 4.4.2 y de las calificaciones para cada uno de estos mapas descrito en la Figura 20, se obtiene por medio de la integración de estos el siguiente mapa de susceptibilidad por geomorfología.

Mapa 54 Susceptibilidad por geomorfología



Fuente: presente estudio

Figura 41 Distribución de susceptibilidad por geomorfología



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad Alta: esta se encuentra distribuida geográficamente de forma similar en todo en territorio con algunas agrupaciones ligadas especialmente al grado de pendiente. Generalmente esta calificación se agrupa en las laderas de las elevaciones topográficas más importantes como el cerro El Torra, La Cuchilla de San Pedro, la Cuchilla del Pozo, la Serranía de Los Paraguas y la mayor parte de

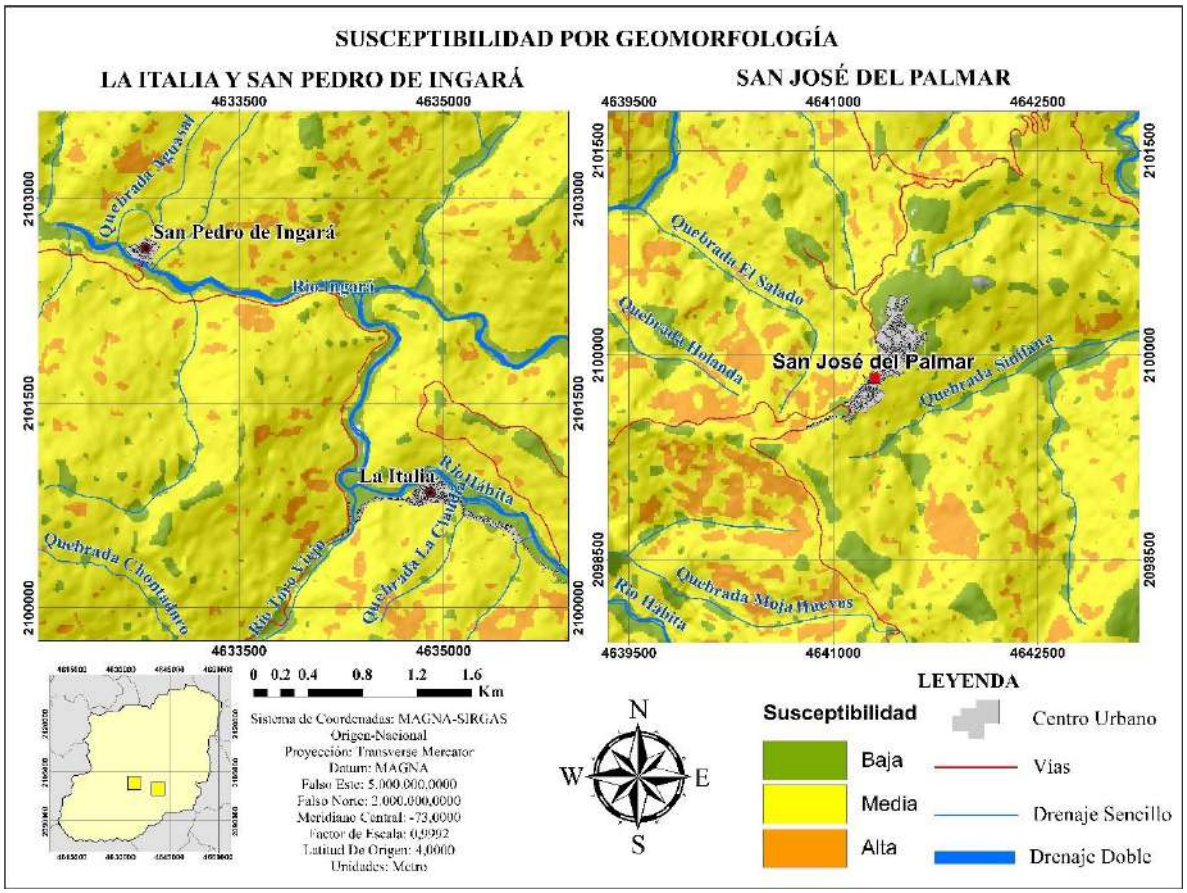
Susceptibilidad Media: esta corresponde a la calificación de mayor presencia en el territorio municipal y cuenta con una distribución geográfica uniforme. Se presenta en laderas de pendientes moderadas, las cuales tiene una amplia distribución en el municipio al ubicarse este principalmente en el costado oeste de la Cordillera Occidental. Este grado de susceptibilidad está distribuido en el 74% del municipio equivalente a 1146 km^2.

Susceptibilidad Baja: este grado de susceptibilidad se encuentra distribuido de forma similar en la mayoría del territorio municipal concentrándose en los valles cerca los principales afluentes y en las cimas que presentan geoformas estables. En las regiones llanas de la cuenca media de los ríos Tamaná e Irabubú, así como en la zona de Juntas, se presenta una concentración de área con esta calificación debido a sus características planas y estables. En total el municipio cuenta con 211 km^2 a los cuales se les aplica esta calificación equivalente al 13% de su territorio.

la cordillera occidental dentro del Parque Nacional Natural Tatamá. Este grado de susceptibilidad está asignado al 13% del territorio municipal equivalente a aproximadamente 211km^2.

SUSCEPTIBILIDAD POR GEOMORFOLOGÍA EN ÁREAS DE INTERÉS

Mapa 55 Susceptibilidad por geomorfología en áreas de interés



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad Alta: en estas regiones la susceptibilidad alta se concentra en las regiones de mayor pendiente generalmente cerca a cimas y drenajes. En el área de los corregimientos existen concentraciones importantes de esta calificación al sur del casco urbano de la Italia y alrededor de la Quebrada Aguasal y el rio Ingará cerca a San Pedro. En las zonas aledañas a la cabecera municipal la concentración de este grado de susceptibilidad se ubica entre las quebradas El Salado y Mojahuevos al oeste y al norte de la vía San José del Palmar - La Selva. Cerca a

los corregimientos este grado de susceptibilidad representa el 6 % del área enmarcada, mientras que alrededor de la cabecera municipal esta proporción asciende al 13%.

Susceptibilidad Media: se encuentra distribuida de forma homogénea en ambas zonas de detalle y abarca principalmente las bases de las laderas con pendientes moderadas. En ambas regiones esta calificación representa la mayor proporción de territorio con el 82% en el área de los corregimientos y con el 73% en la zona de la cabecera municipal.

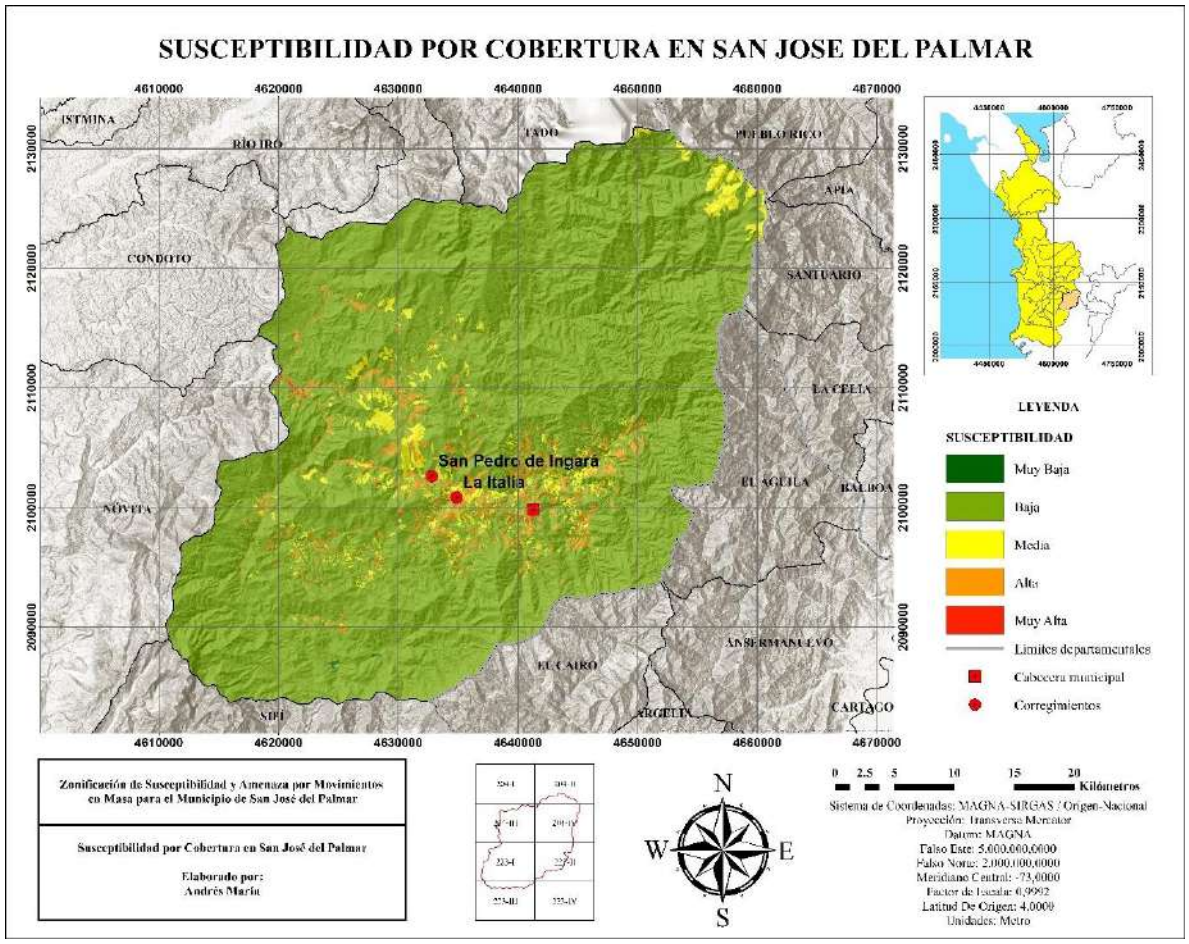
Susceptibilidad Baja: esta calificación se encuentra distribuida en toda el área enmarcada tanto para la cabecera municipal como para los corregimientos. se concentra especialmente en los valles cerca a los corregimientos contiguos a los ríos Ingará y Hábita y en algunas cimas, en esta región la susceptibilidad baja está presente en el 11% del área delimitada. Cerca a la cabecera municipal esta calificación representa el 14 del área de detalle y se concentra especialmente en las cimas amplias contiguas al casco urbano y en menor medida los valles de drenajes medianos como la quebrada Sinifaná.

5.3. SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURA DE LA TIERRA

Una vez realizado los mapas de susceptibilidad parámetros de cobertura profundidad radicular, drenaje profundo, evapotranspiración y numero de estratos, se unen según los pesos estipulados en la Figura 10 para obtener el

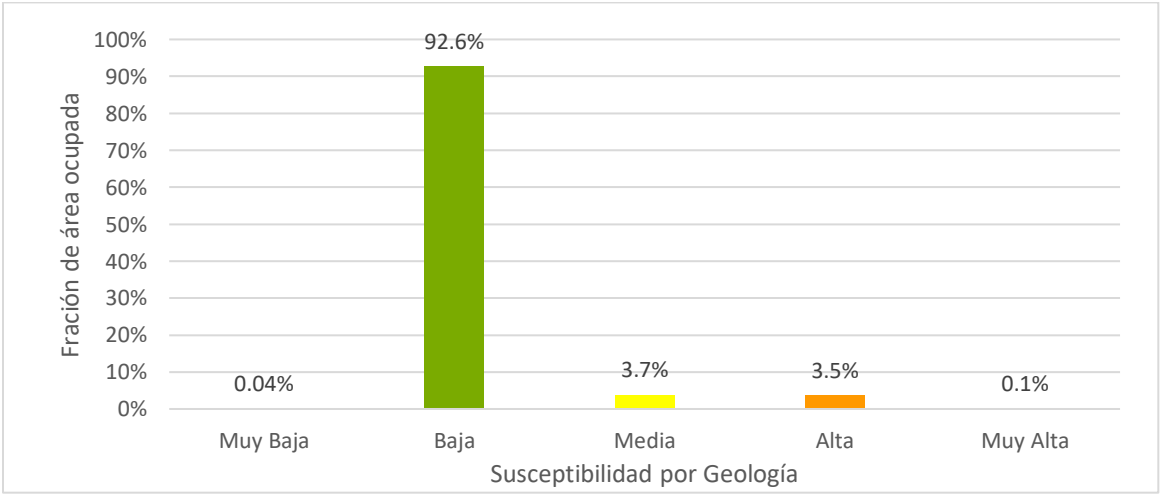
Mapa *54* de susceptibilidad por geomorfología.

Mapa 56 Susceptibilidad por cobertura



Fuente: presente estudio

Figura 42 Distribución de susceptibilidad por cobertura



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad Muy Alta: a pesar de estar aplicado sobre una baja proporción del territorio municipal son de gran importancia al estar relacionado con estructuras antropogénicas como los Tejidos Urbanos Discontinuos y la Red Vial y Terrenos Asociados, así como con Tierras Desnudas y Degradadas. Esta proporción representa apenas el 0.1% equivalente 2 km^2.

Susceptibilidad Alta: de forma similar a la susceptibilidad media esta se concentra en las regiones agrícolas contiguas a los ríos Ingará, Suramita y Tamaná. Esta calificación está presente en las zonas que poseen coberturas de superficies de agua (ríos) y especialmente de pastos limpios cuya extensión total es de aproximadamente 56 km^2 equivalente al 3.5% del área estudiada.

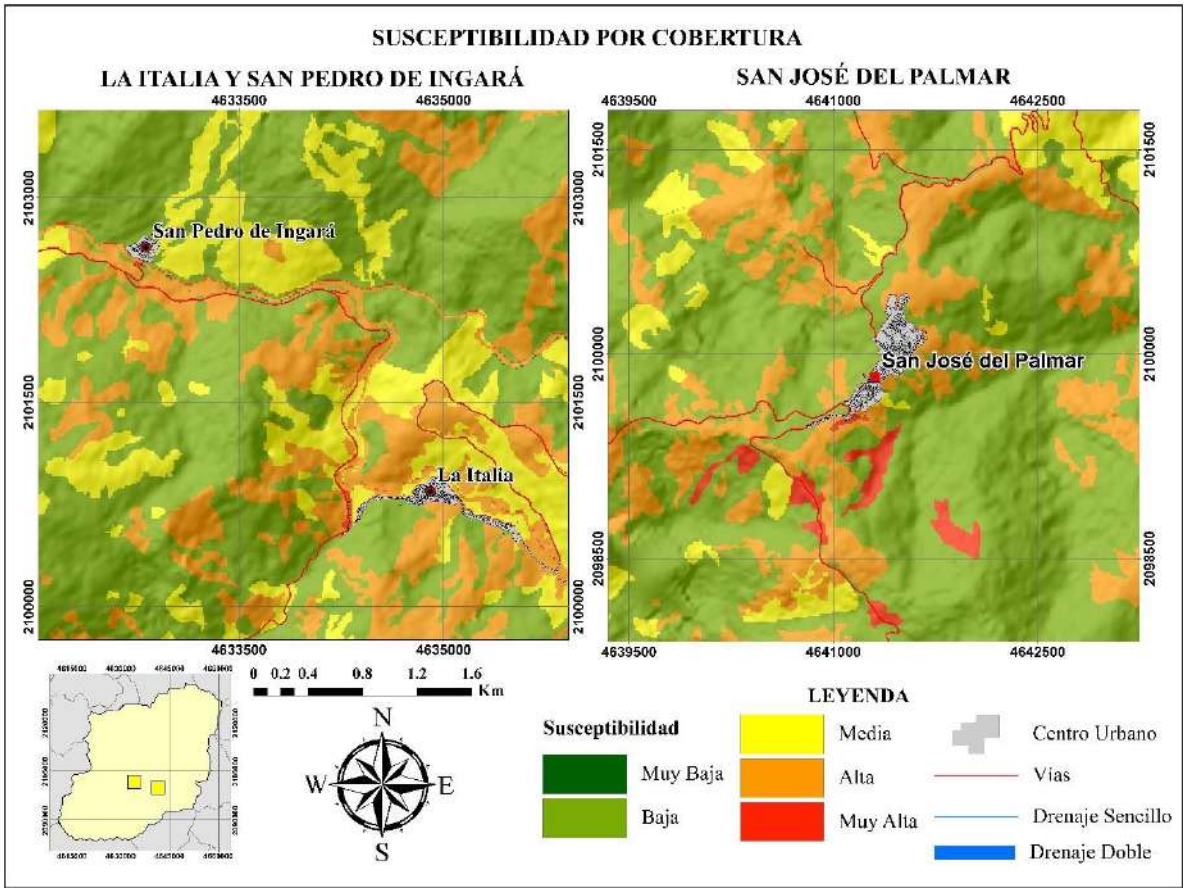
Susceptibilidad Media: este grado de susceptibilidad está concentrado especialmente dentro de la frontera agrícola del municipio y en las regiones más elevadas del Parque Nacional Natural Tatamá. En el Parque Nacional esta calificación está ligada a la presencia de arbustales abiertos, mientras que en las regiones agrícolas además de los arbustales abiertos está relacionado con cultivos permanentes arbóreos, cultivos permanentes herbáceos, pastos arbolados y pastos enmalezados. Estas regiones agrícolas están distribuidas las cuencas de los ríos Ingará, Suramita y parte del Tamaná. En total esta calificación está dada sobre el 3.7% del área municipal equivalente a 59 km^2.

Susceptibilidad Baja: en contraste esta calificación es la de mayor extensión en el municipio concentrándose especialmente en las zonas menos pobladas. Lo anterior está dado por su relación con la cobertura de bosque denso alto de tierra firme la cual es la más abundante en el municipio y por las coberturas de bosque fragmentado con pastos y cultivos, bosque de galería y ripario y arbustal denso que, aunque presente en menor proporción que el bosque denso representan una parte importante. Debido a que la mayor parte del municipio está conformado por zonas boscosas o arbustivas se presenta una gran extensión del territorio con esta calificación la cual asciende a 1465 km^2 que representa el 92.6% del área municipal.

Susceptibilidad Muy Baja: representa solo el 0.0.4% del territorio con apenas 1 km2 concentrado en la cuenca del rio Blanco cuya cobertura está compuesta por bosque denso alto de tierra firme.

SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURA EN ÁREAS DE INTERÉS

Mapa 57 Susceptibilidad por cobertura en áreas de interés



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad Muy Alta: dentro de las zonas delimitadas este grado de susceptibilidad cobra importancia al estar relacionado con áreas antrópicas como el tejido urbano y la red vial. En la región de los corregimientos la proporción de área con esta calificación es del 1.4% aplicada sobre los cascos urbanos de La Italia y San Pedro de Ingará y sus vías, mientras en la zona de la cabecera municipal esta proporción asciende al 4.2%, aplicada las zonas desnudas y degradadas cerca a la

vía San José del Palmar- Cartago, además de las zonas antrópicas antes mencionadas.

Susceptibilidad Alta: esta calificación se presenta en ambas zonas delimitadas en proporciones semejantes y ligada principalmente los pastos limpios que mayormente se ubican en los bordes de carreteras y centros poblados. En las zonas aledañas a los corregimientos la proporción del terreno que presenta esta calificación es del 24%, mientras que en la cercana al casco urbano municipal es del 22.8%.

Susceptibilidad Media: esta se concentra especialmente en el área delimitada para los corregimientos donde el 19.1% de esta tiene esta calificación, mientras cerca la cabecera municipal esta proporción llega al 6.1%. en ambas regiones esta calificación está directamente relacionada con los pastos arbolados y enmalezados y con los cultivos arbóreos y herbáceos que generalmente se ubican cerca de las vías.

Susceptibilidad Baja: esta se distribuye de manera uniforme en ambas zonas de detalle relacionado especialmente con las coberturas arbóreas naturales, la mayor parte de ellas ubicadas entre áreas de cultivo y pastos como los bosques riparios o fragmentados. En la región de los corregimientos esta calificación esta aplicada sobre el 55.4% del territorio delimitado, mientras que en las zonas cercanas a la cabecera municipal esta proporción asciende el 66.9%.

5.4. SUSCEPTIBILIDAD POR SUELOS

Definidas las variables y analizado el papel que cada una cumple en forma natural en torno a la susceptibilidad, se definió una función para obtener la calificación total de las unidades de suelos. La función es una suma de las calificaciones de las variables (calificadas de 1 a 5) multiplicadas por el peso que se dio a cada una, así:

$$C=0,30Te + 0,15Ta + 0,20 Pt + 0,20Ar + 0,15D$$

C= Calificación total dada a las unidades de suelos (1 a 5)

Te =Textura ponderada del perfil modal de suelos, asignada a cada unidad de suelos, con un peso en la función de 0,30

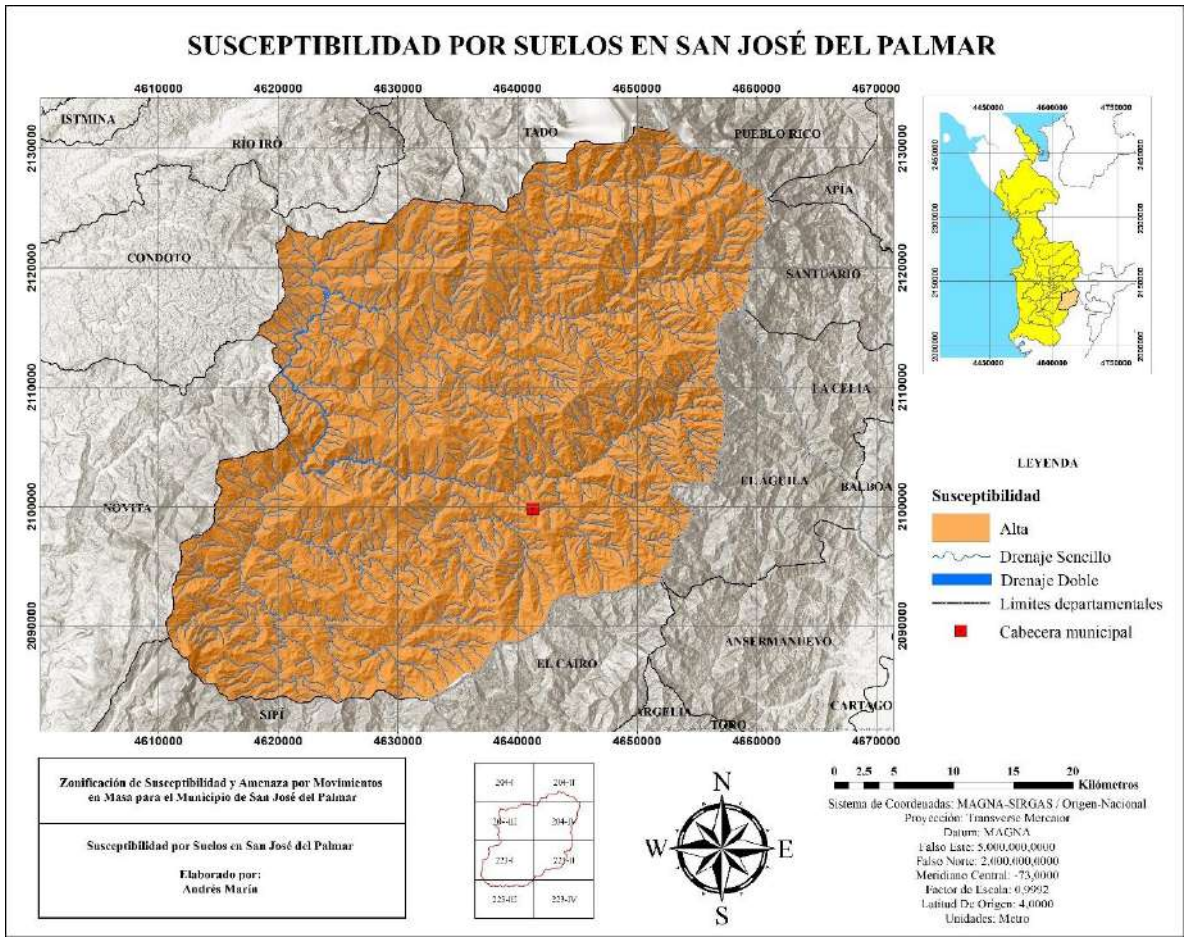
Ta= Calificación de la taxonomía a nivel de orden con un peso de 0,15

Pt= Profundidad total del suelo, peso de 0,20

Ar= Calificación del tipo de arcilla, peso 0,20

D=Drenaje natural, peso 0,15

Mapa 58 Susceptibilidad por suelos



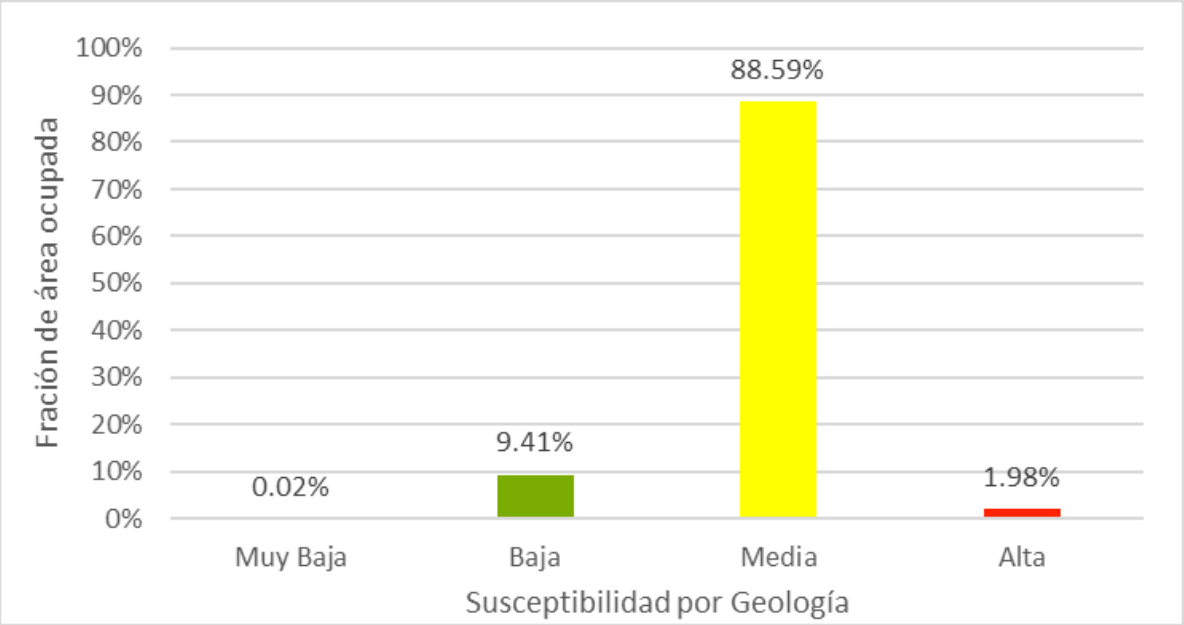
Fuente: presente estudio

El resultado se cruzar la información de las variables-atributos calificados origina un mapa que refleja la susceptibilidad de la zona dependiente del componente edáfico. Se observa que la totalidad del municipio presenta una susceptibilidad por suelos Alta.

6. SUSCEPTIBILIDAD TOTAL POR MOVIMIENTOS EN MASA

Siguiendo el esquema jerárquico propuesto por el SGC mostrado en la Figura 2 se obtiene el mapa de susceptibilidad total por movimientos en masa a partir de los mapas de susceptibilidad por geología, coberturas, suelos y geomorfología con los pesos que se muestran en el mismo esquema.

Figura 43 Distribución de susceptibilidad por movimientos en masa



Fuente: presente estudio

Susceptibilidad Alta: está aplicada sobre cerca del 2% del área municipal equivalente a 31 km^2 y se distribuye predominantemente al este de San Pedro de Ingará.

La principal concentración de este grado de susceptibilidad se da en la cuenca media y alta del rio Ingará y sus afluentes, la cual esta enmarcada en la frontera agrícola del municipio. La ocurrencia de la susceptibilidad alta en esta área está ligada a diversos factores siendo los principales: (1) la naturaleza de la cobertura, concentrándose especialmente en pastos, áreas desnudas o degradadas y en menor medida cultivos herbáceos; (2) la configuración geológica, ligada fuertemente a la densidad de fracturamiento por las fallas registradas en esta zona, y (3) la

geomorfología de la cuenca, manifestando laderas de pendientes altas, de alta rugosidad y con gran cantidad de eventos morfodinámicos.

Existen otras regiones de menor extensión con concentración de esta susceptibilidad ligado principalmente a factores geológicos como las zonas contiguas a las fallas de San Pedro de Ingará, Quebrada La Fiera y Rio Blanco; y a factores geomorfológicos como en la región alta del PNN Tatamá donde se presentan las laderas de mayor pendiente.

Susceptibilidad Media: este grado de susceptibilidad es el de mayor presencia en el territorio municipal, el cual esta aplicado en aproximadamente el 88.6% de este, equivalente a 1400 km^2. Este se encuentra distribuido de forma uniforme en toda el área municipal salvo algunas regiones bajas cercanas a las principales corrientes de agua.

La amplia distribución de la susceptibilidad media esta dada principalmente por el arreglo geomorfológico, de coberturas y de suelos con el que cuenta el terreno sobre el que se aplica. Esta susceptibilidad está ubicada principalmente sobre laderas de pendientes medias a altas y moderadamente rugosas, cubiertas por bosques altos y arbustales y sobre un suelo categorizado como de alta susceptibilidad

Susceptibilidad Baja: este grado de susceptibilidad se presenta en aproximadamente el 9,4% del territorio municipal equivalente a 148 km^2. Este se distribuye principalmente en la región occidental del municipio donde las pendientes son menores y el cambio topográfico es menos abrupto; existe una concentración importante en las cuencas media de los ríos Tamaná e Irabubú y en la zona de juntas del Tamaná.

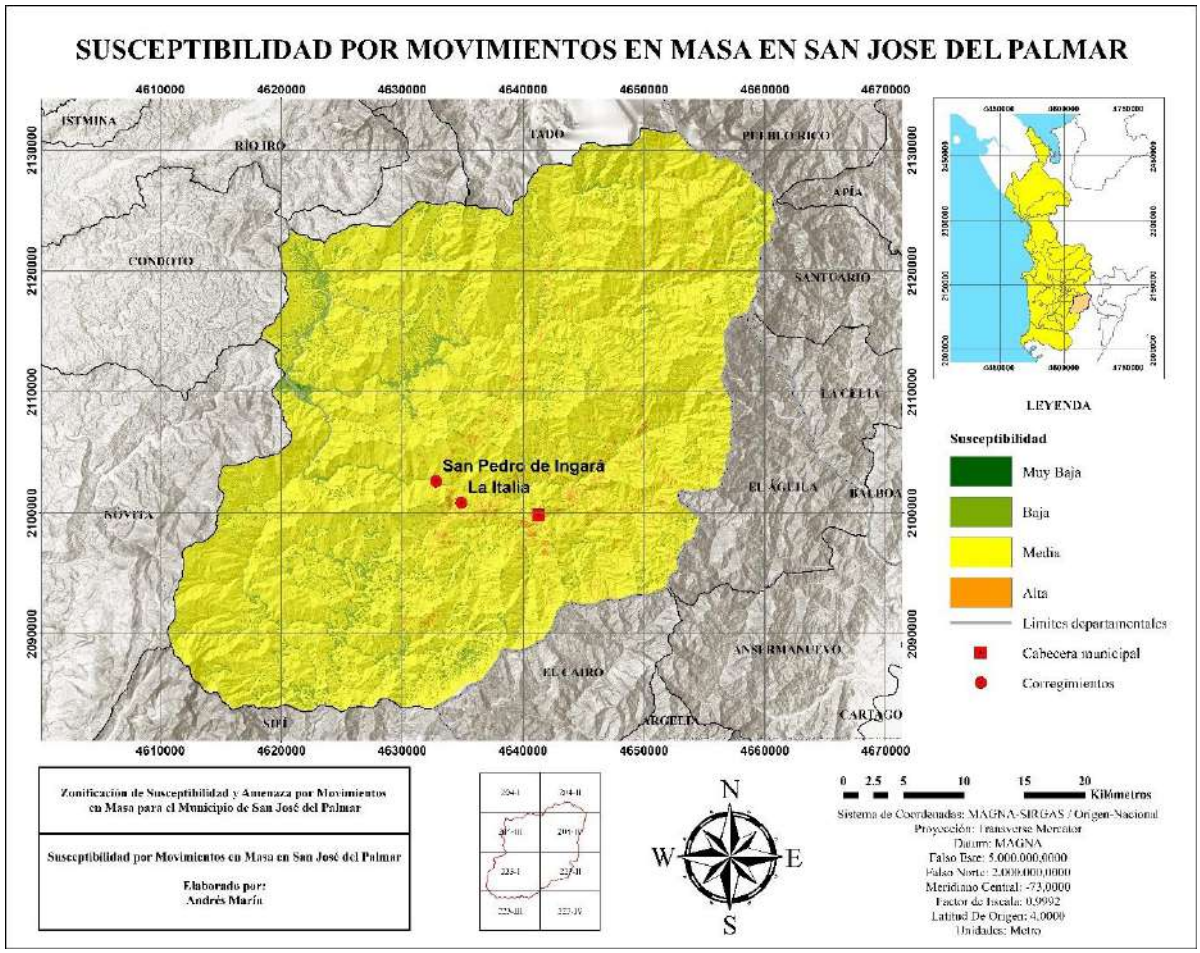
También existen concentraciones en la cuenca de los afluentes del rio Surama, como los ríos Suramita y El Brasil, especialmente en los valles de las principales corrientes de agua y en las cimas de los cerros que dividen estos causes, esta calificación se debe principalmente a la configuración geomorfológica de estas zonas específicas sumado a la baja susceptibilidad por geología y la cobertura dominada por bosque denso alto de tierra firme.

En la región oriental del municipio este grado de susceptibilidad está determinado principalmente por la configuración geomorfológica del terreno. En la parte alta del PNN Tatamá ocurre otra concentración notoria, aunque proporcionalmente pequeña, de zonas con esta calificación aplicado especialmente sobre valles amplios, mientras en la región oriental restante está aplicada mayormente sobre cimas.

Susceptibilidad Muy Baja: esta calificación esta aplicada sobre una pequeña área en la región de juntas del Tamaná caracterizada principalmente por su baja topografía y alta homogeneidad. Esta área corresponde únicamente a 31 hectáreas equivalente al 0.02% de la zona analizada.

.

Mapa 59 Susceptibilidad total por movimientos en masa



Fuente: presente estudio

7. ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS

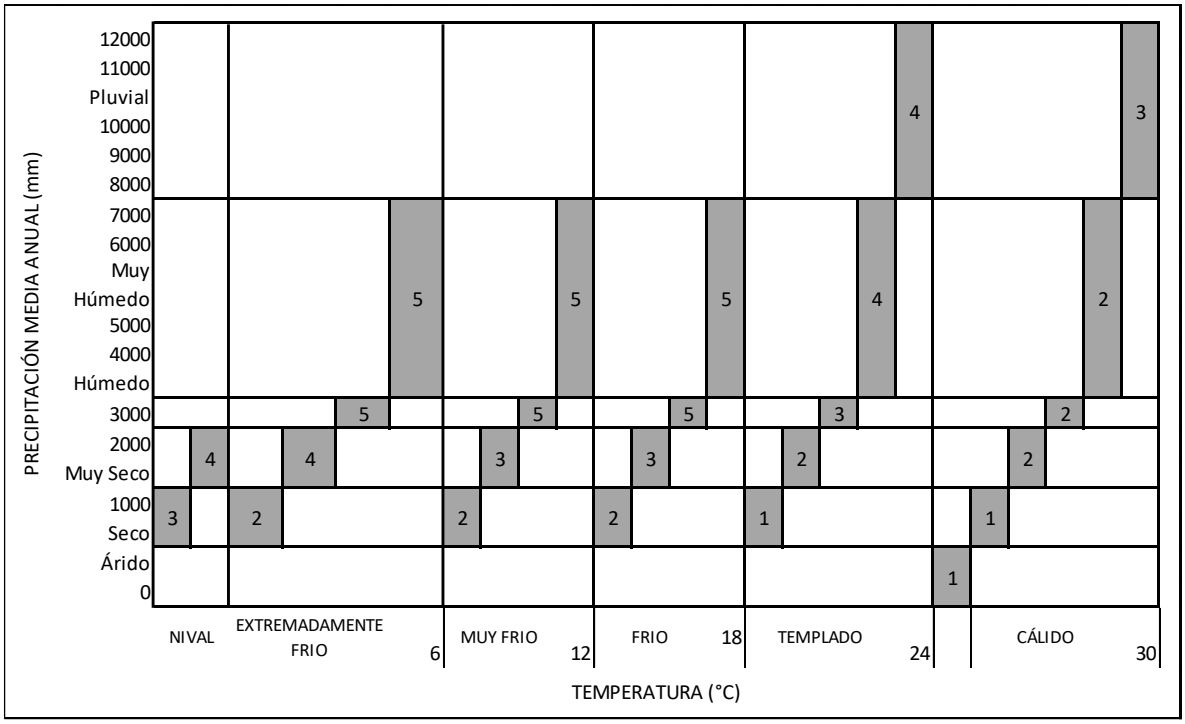
7.1. EVALUACIÓN DE DETONANTES

7.1.1. FACTOR CLIMA

7.1.1.1. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

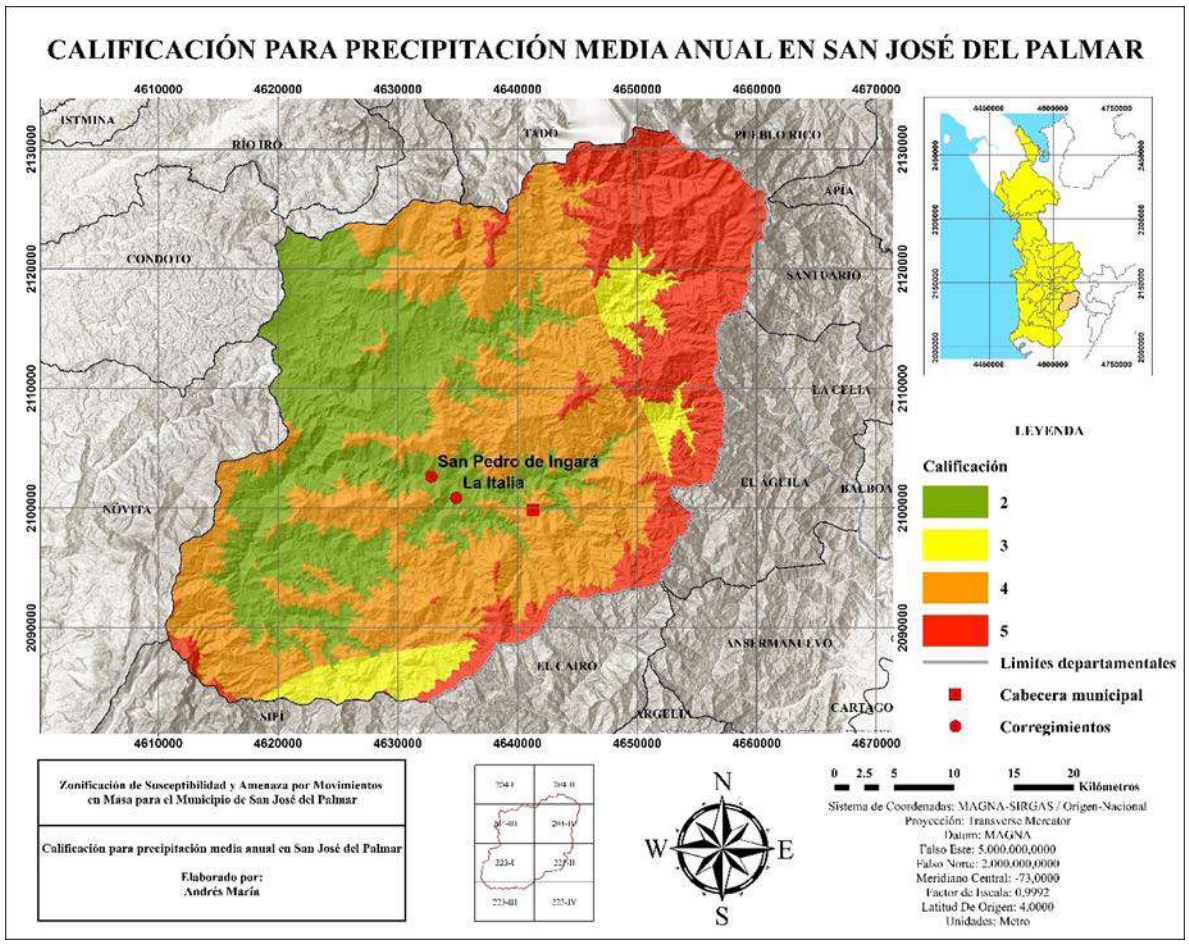
Con base en las variables Precipitación Media Anual y Temperatura Media Anual obtenidas del IDEAM, espacializadas para el territorio nacional “se obtiene un mapa de polígonos por intersección espacial calificado de 1 a 5, tal como se muestra en la Figura 44, el cual es el resultado de la relación entre un rango de precipitaciones con uno de temperaturas calificado, según su contribución a los movimientos en masa de acuerdo con las hipótesis antes descritas” (SGC, 2013).

Figura 44 Calificación de la zonación climática con base en su contribución a los movimientos en masa



Fuente: (SGC, 2013)

Mapa 60 Zonación climática con base en su contribución a los movimientos en masa



Fuente: presente estudio

Al analizar la precipitación media anual como como desencadenante de movimientos en masa se obtiene que la menor calificación (2) está distribuida especialmente en las regiones bajas del municipio al occidente, cercanas a los ríos Surama, Suramita, Ingará, Tamaná e Irabubú, pues a pesar de contar estas zonas con las mayores precipitaciones medias la temperatura es cálida, lo cual acelera el proceso de evapotranspiración disminuyendo el impacto de la precipitación en la formación de movimientos en masa.

La siguiente calificación (3) ocurre especialmente en lugares donde coincide temperaturas templadas y frías con precipitaciones moderadas y bajas

respectivamente. Estas se encuentran en la cuenca alta de los ríos Tamaná e Ingará y en el extremo sur del municipio en límites con Sipí.

La calificación (4) está distribuida en los lugares que poseen un clima húmedo y templado como el que se encuentra en la cabecera municipal. Estas zonas están ubicadas en alturas medias de la región cordillerana y cerros importantes como el de San Pedro.

La calificación más alta (5) se presenta en zonas cuya temperatura es fría o muy fría con precipitaciones moderadas o altas, lo cual reduce significativamente el grado de evapotranspiración, favorece la retención del agua y a su vez la formación de movimientos en masa. Estas regiones esta ubicadas especialmente en las zonas altas cordilleranas en la Serranía de los Paraguas, el PNN Tatamá y el cerro El Torrá.

7.1.1.2. PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA

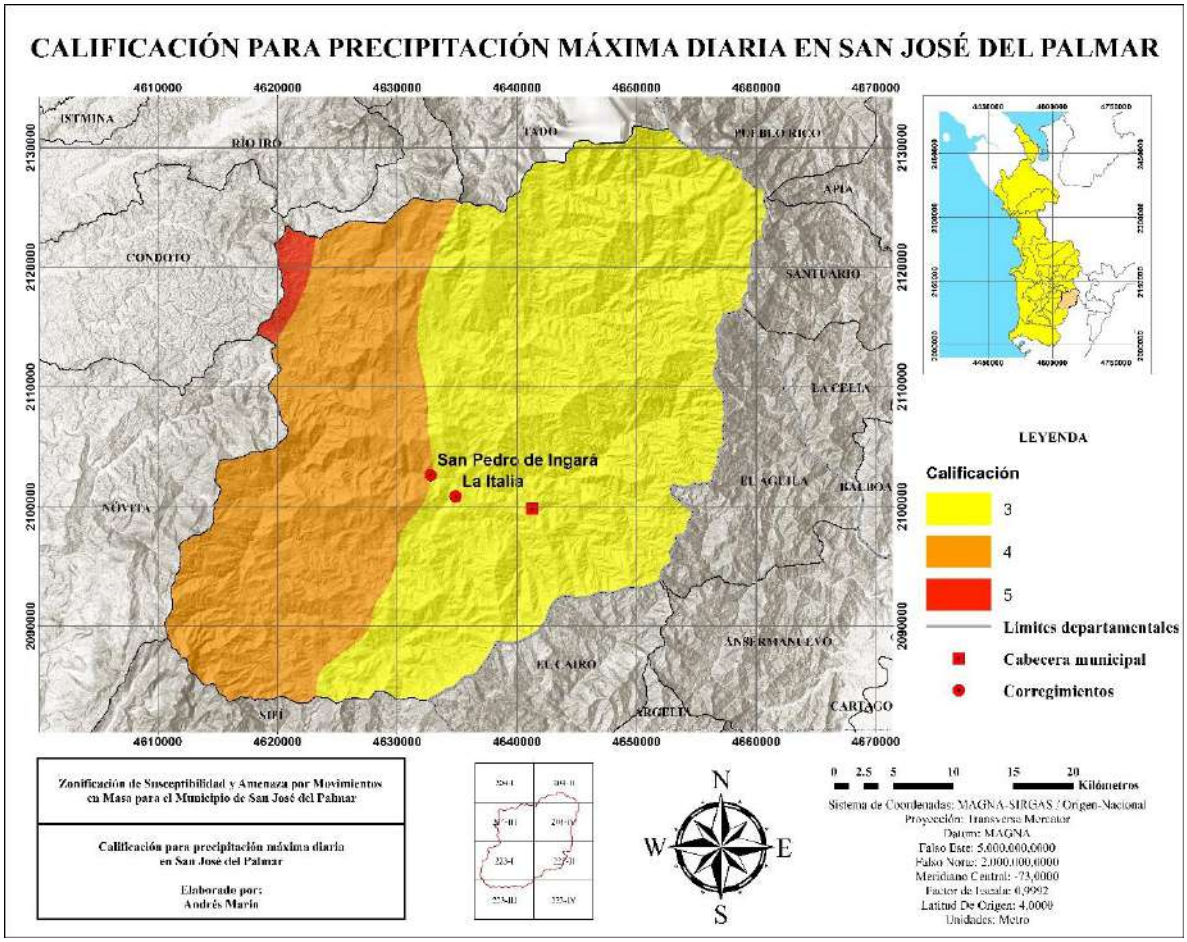
Este análisis se realizó a partir del mapa de precipitaciones máximas diarias obtenidas del IDEAM y clasificado según la Tabla 41 propuesta por la guía metodológica del SGC.

Tabla 41 Calificación de lluvia máxima diaria según su contribución a los movimientos en masa

Valores de lluvia máxima diaria (mm)	Calificación
0 - 50	1
50 - 100	2
100 - 150	3
150 - 220	4
>220	5

Fuente: (SGC, 2013)

Mapa 61 Distribución de la precipitación máxima diaria según su contribución a los movimientos en masa



Fuente: presente estudio

A los niveles de precipitación máxima diaria aumenta la hacia la región occidental del municipio. Al este de San Pedro de Ingará se observa una precipitación máxima diaria entre 100 y 150 mm, el restante del territorio presenta una precipitación de 150 a 220 mm salvo por la margen occidental del rio Irabubú. De esta forma se observa que en las tres correlaciones principales del municipio están ubicadas dentro de zonas con valores de lluvia máxima diaria moderados.

7.1.2. DETONANTE CLIMA

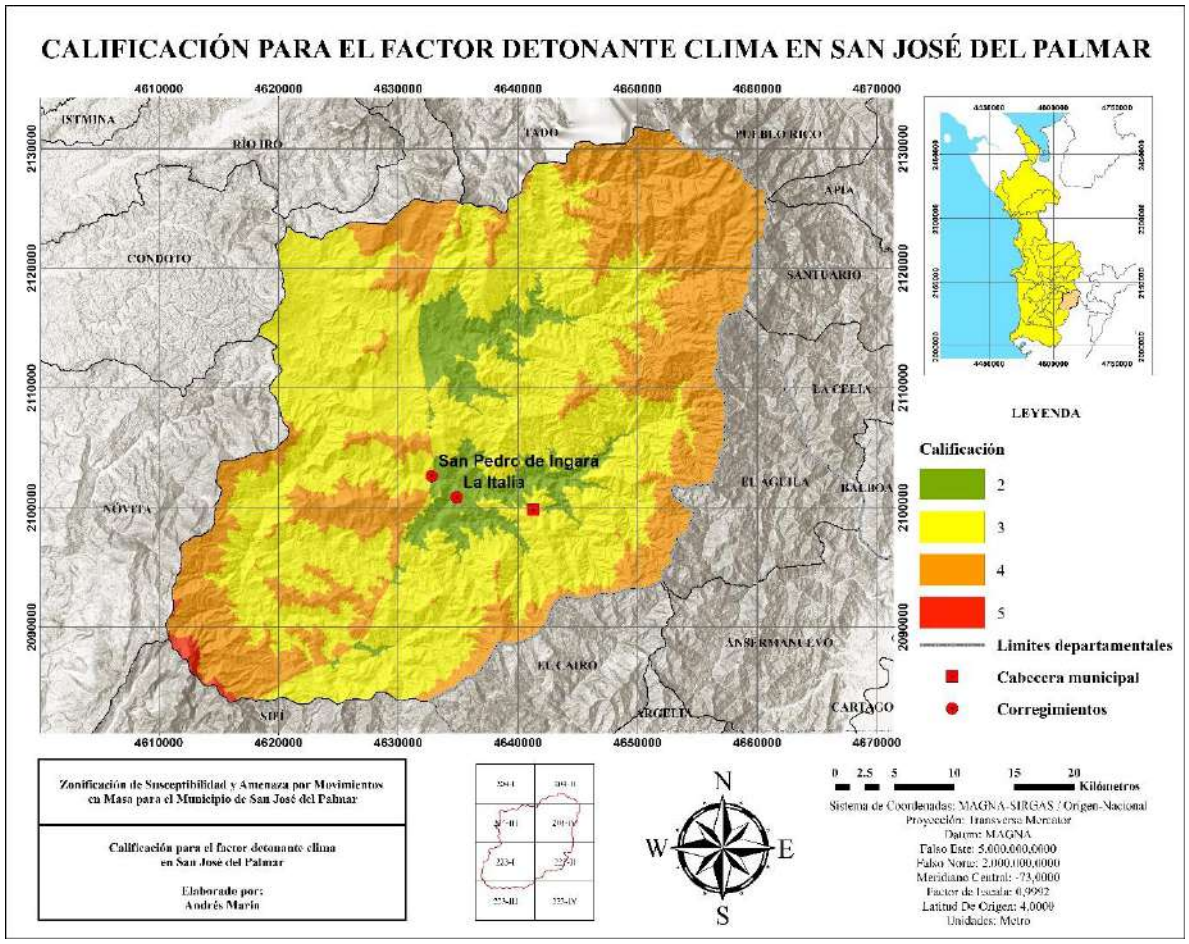
El mapa obtenido mediante la calificación de precipitación media anual y la temperatura media anual y el mapa de isoyetas de lluvias diarias se intersectaron y calificaron de 1 a 5 de acuerdo a su contribución a los movimientos en masa, tal como se presenta en la Tabla 42, dando lugar al mapa final del detonante por factores climáticos.

Tabla 42 Calificación del detonante por factores climáticos a partir de la zonificación climática nacional y de las lluvias máximas diarias, de acuerdo con su contribución a los movimientos en masa.

Zonificación Climática	Lluvias Máximas Diarias	Detonante por factores climáticos
1	1	1
1	2	1
1	3	2
1	4	3
1	5	3
2	1	2
2	2	2
2	3	3
2	4	3
2	5	4
3	1	1
3	2	1
3	3	2
3	4	3
3	5	4
4	1	5
4	2	4
4	3	4
4	4	5
4	5	5
5	1	5
5	2	4
5	3	5
5	4	5
5	5	5

Fuente: (SGC, 2013)

Mapa 62 Distribución del detonante por factores climáticos



Fuente: presente estudio

El nivel más bajo en la calificación del clima como detonante se encuentra en las cuencas medias de los ríos Ingará y Tamaná donde la precipitación media es baja y la máxima es moderada. en esta zona se encuentran los corregimientos de san pedro de Ingará y la Italia.

En nivel medio de calificación (3) está presente en la mayor parte del municipio y abarca principalmente las zonas en las que coincide altas precipitaciones medias y niveles de precipitación máxima moderada, o zonas de baja precipitación media y altas precipitaciones máximas. Esta zona se distribuye de manera relativamente uniforme en el municipio especialmente en la zona centro occidental y dentro de esta zona que se encuentra asentada la cabecera municipal.

La calificación alta (4) esta relegada principalmente a las zonas periféricas del norte, sur y oriente, las cuales se manifiestan en las elevaciones topográficas como la serranía de Los Paraguas y el PNN Tatamá en donde coinciden condiciones de precipitaciones medias moderadas, temperaturas muy frías y precipitaciones máximas diaria de 100 a 150 mm, o en los cerros occidentales como en Torra y el de San Pedro que presentan elevados niveles de precipitación máxima diaria.

La máxima calificación (5) para el clima como detonante de movimientos en masa esta asignada a la sección superior del cerro El Torrá en donde coincide el muy alto nivel de precipitación media y el alto nivel de precipitación máxima diaria.

7.1.3. FACTOR SISMO

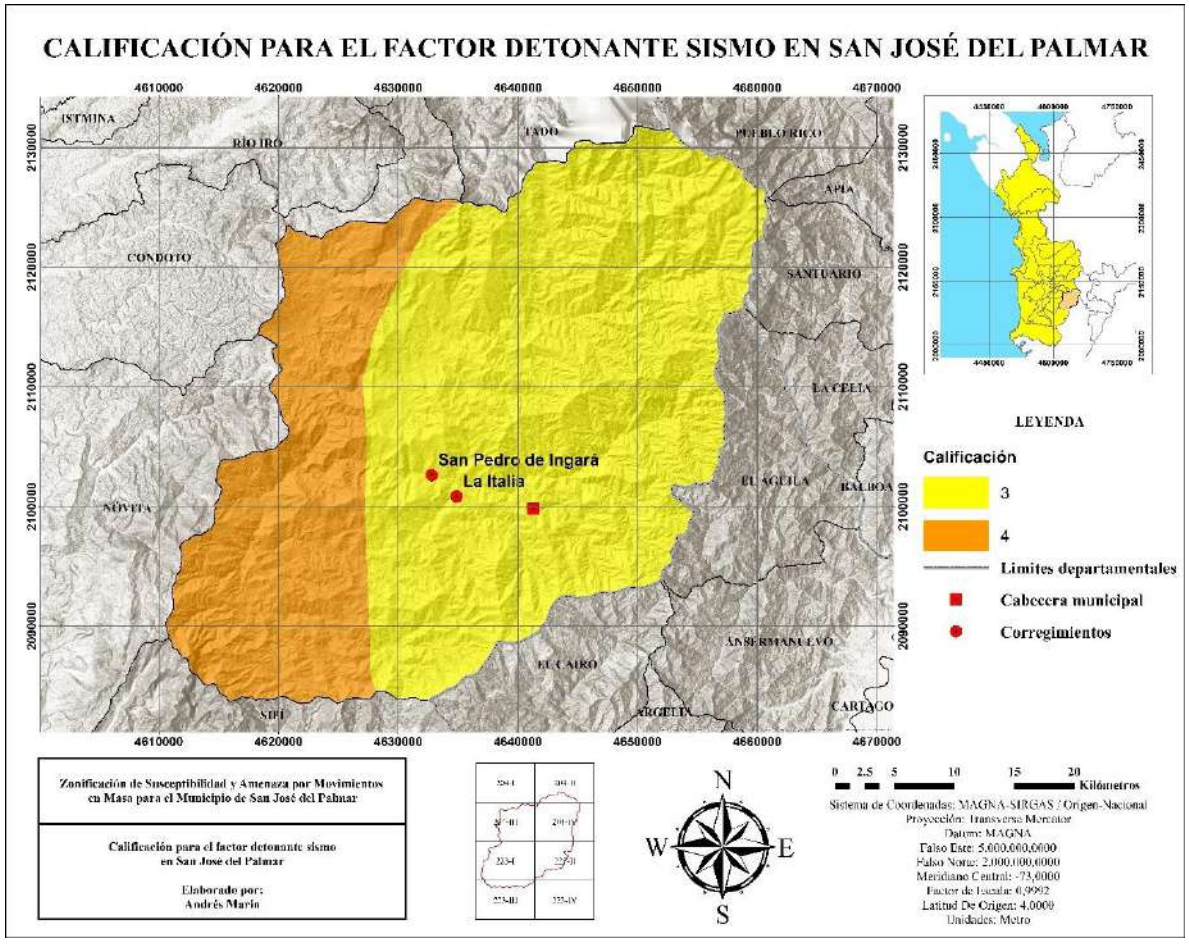
"El cálculo del detonante sismo se generó a partir de los datos de PGA (cm/seg²) correspondientes a un periodo de retorno de 475 años, los cuales fueron rasterizados y categorizados cada 50 gales, permitiendo de esta forma calificar, de forma cualitativa, el grado de contribución del sismo a la ocurrencia de movimientos en masa" (SGC, 2013).

Tabla 43 Calificación del detonante sismo según su contribución a los movimientos en masa.

Valores de PGA (cm/s^2)	Calificación
10 - 100	1
100 - 150	2
150 - 200	3
200 - 300	4
>300	5

Fuente: (SGC, 2013)

Mapa 63 Distribución del detonante sismo según su contribución a los movimientos en masa.



Fuente: presente estudio

En el municipio el sismo como factor detonante está dividido en dos zonas de calificación según el SGC, la oriental y la occidental. La zona oriental presenta valores PGA de 150 a 200 cm/s^2 y abarca las cuencas de los ríos Tamaná e Ingará, en donde está ubicado los principales centros poblados del municipio. En la región occidental los valores del PGA están entre 200 y 300 cm/s^2 y ocupan espacialmente la cuenca de los ríos Surama e Irabubú.

7.1.4. ESCENARIOS DE AMENAZA RELATIVA

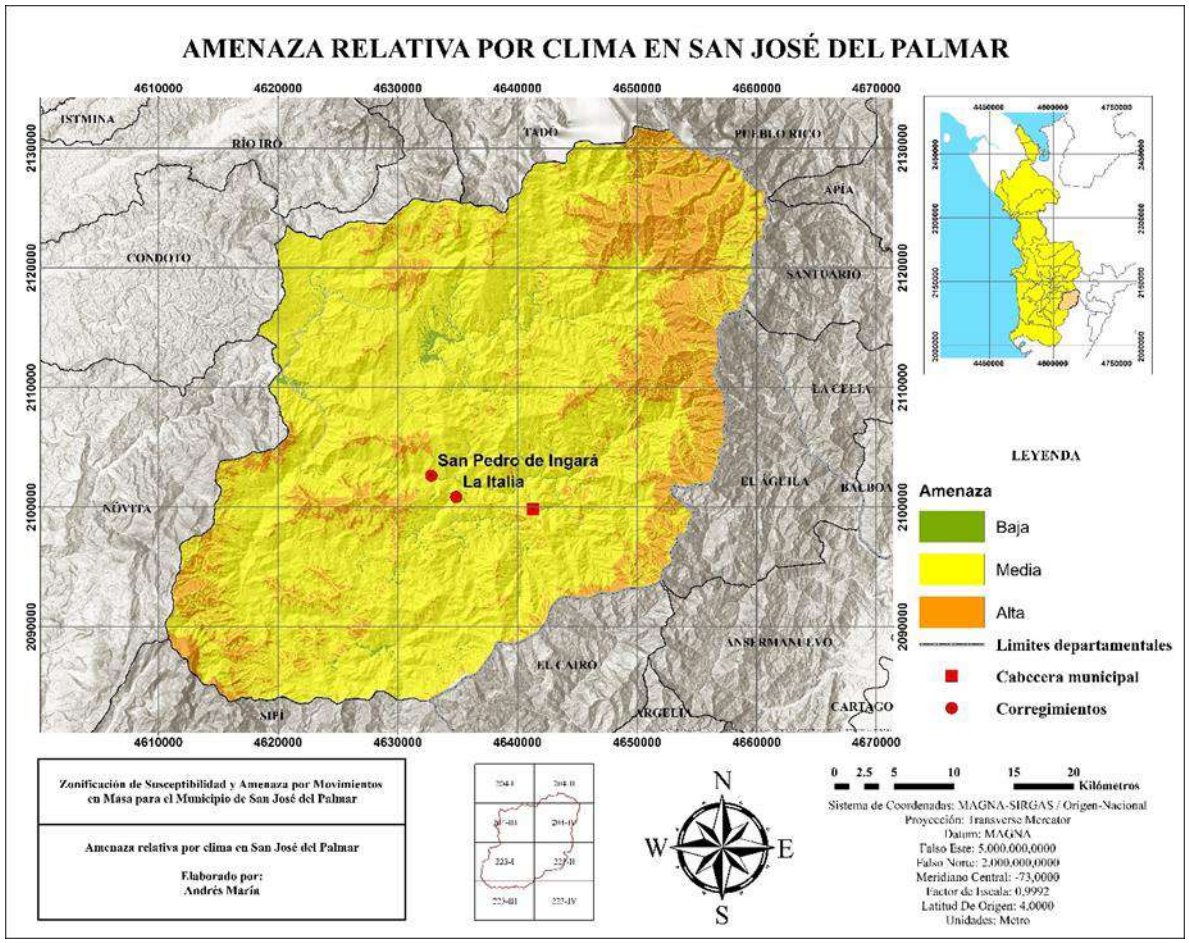
“De acuerdo a la metodología descrita en el numeral 3.2, se obtienen dos escenarios de amenaza. El primero corresponde a la zonificación de amenaza por movimientos en masa detonados debido a la incidencia del clima y el segundo debido a los

sismos, aplicando las ecuaciones 1 y 2. Estos escenarios muestran la contribución que cada uno de los detonantes tiene sobre las zonas susceptibles a los movimientos en masa, involucrando además indicadores, obtenidos de la observación, datos de campo e información secundaria, en cuanto a los tipos de procesos y daños que se pueden originar, así como de otras causas contribuyentes a las condiciones de inestabilidad.” (SGC, 2013).

La zonificación de amenaza total se obtiene a partir de la Ecuación 3 del numeral 3.2 y se califica de acuerdo con la Figura 3.

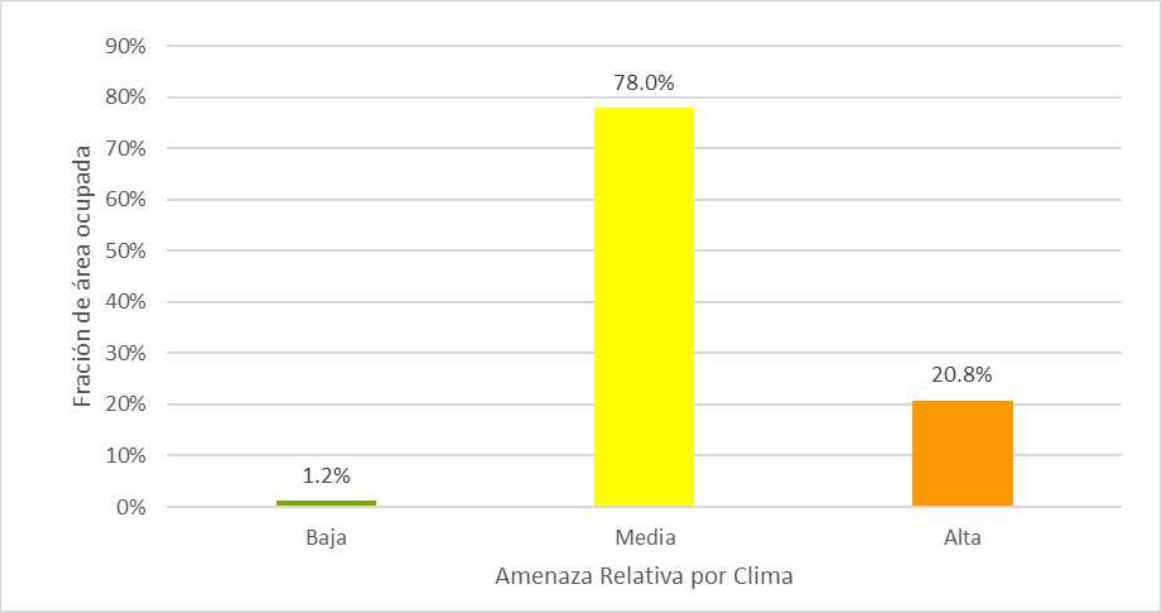
7.1.4.1. AMENAZA RELATIVA POR CLIMA

Mapa 64 Amenaza relativa por clima



Fuente: presente estudio

Figura 45 Distribución de amenaza relativa por clima



Fuente: presente estudio

Amenaza alta: esta se encuentra distribuida especialmente en el oriente en las zonas altas de la cordillera occidental y cerros importante al interior del municipio. En el oriente esta amenaza se encuentra en la mayor parte del PNN Tatamá y en la serranía de Los Paraguas en límites con los departamentos de Risaralda y Valle del Cauca, al sur en límites con Sipí sobre parte importante del cerro El Torrá y elevaciones topográficas menores en la cuenca del rio Surama, en el centro destacan las cuestas más elevadas de los cerros de San Pedro y del Pozo divididos por el rio Ingará, y en el norte en límites con Condoto destacan algunos cerros en la cuenca alta del rio Irabubú.

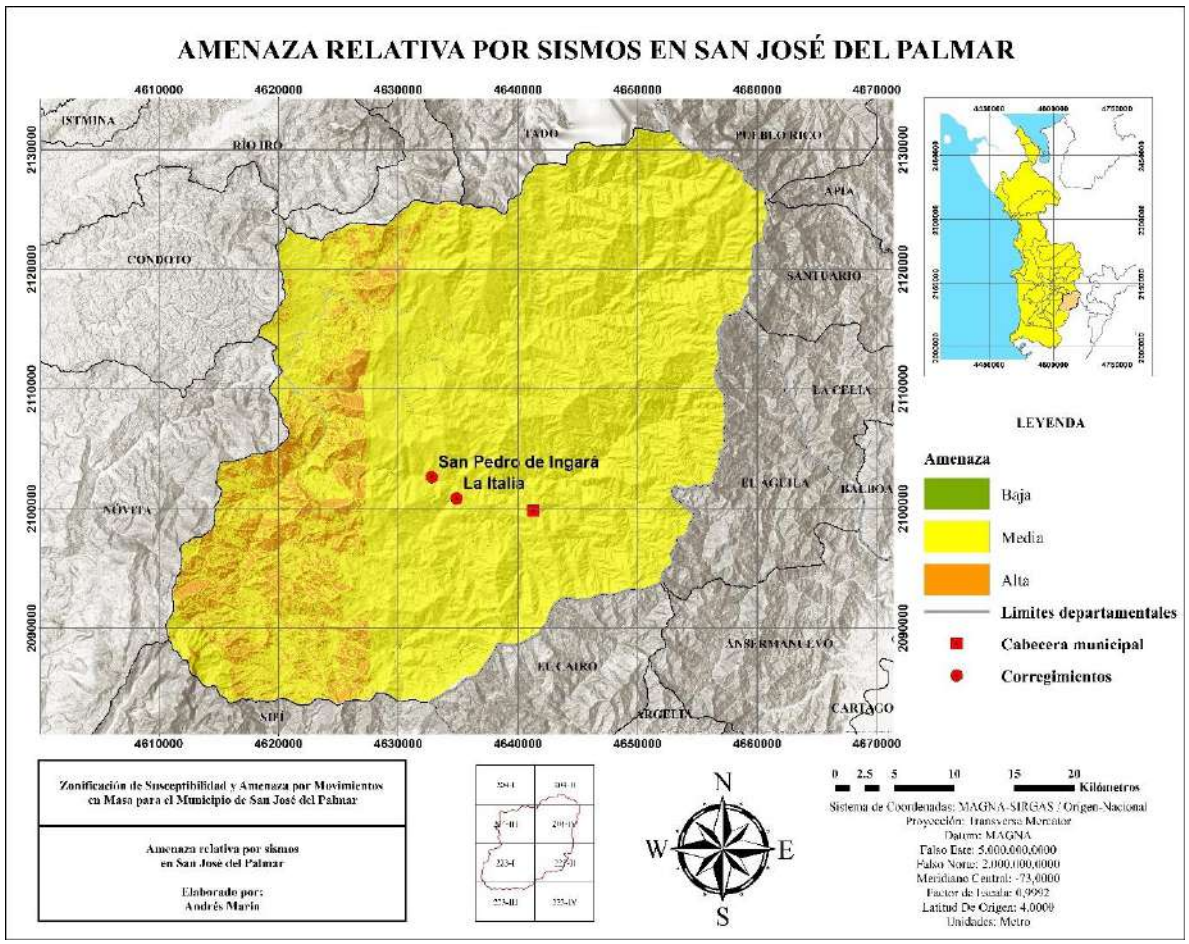
Amenaza media: este nivel de amenaza es el de mayor distribución en el municipio especialmente en la región centro occidental, salvo algunos cerros prominentes y áreas cercanas a los principales ríos. Este grado de amenaza abarca el 78 % del área analizada equivalente a 1222 km^2.

Amenaza baja: este grado de amenaza está distribuido principalmente en las zonas cercanas a los ríos más importantes del municipio. El área de concentración más

importante está cerca al rio Tamaná entre las desembocaduras del rio Cocotea y la quebrada Rumbazón; otras zonas importantes se ubican en la unión de los ríos Tamaná, Ingará e Irabubú y en la cuenca media del rio el Brasil. La baja amenaza relativa por clima ocupa aproximadamente 19 km^2 del área municipal equivalente al 1.2% de esta.

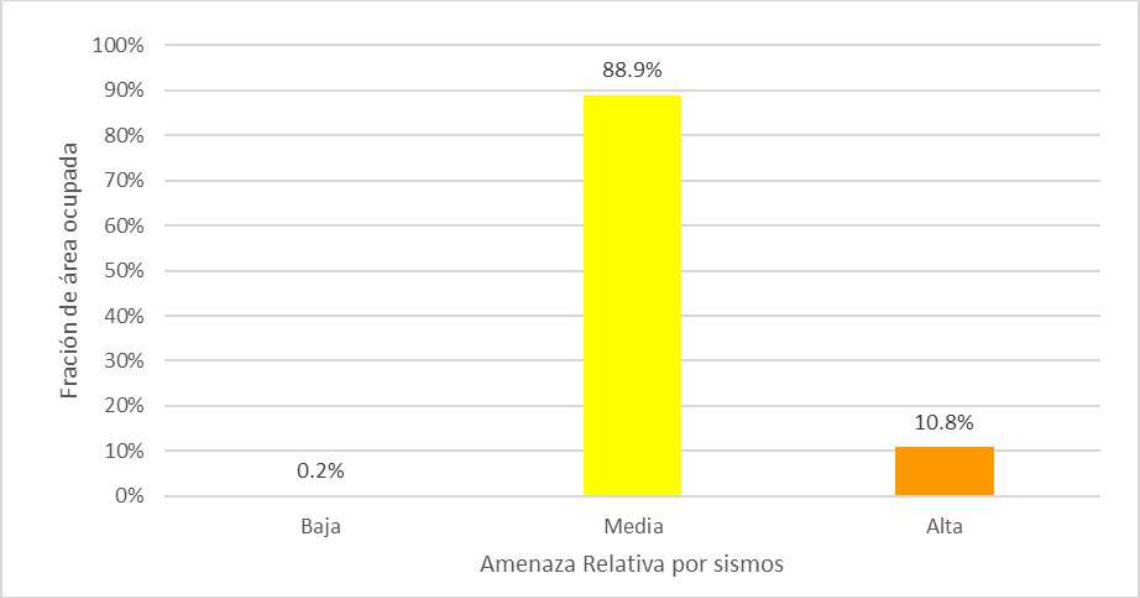
7.1.4.2. *AMENAZA RELATIVA POR SISMOS*

Mapa 65 Amenaza relativa por sismos



Fuente: presente estudio

Figura 46 Distribución de amenaza relativa por sismos



Fuente: presente estudio

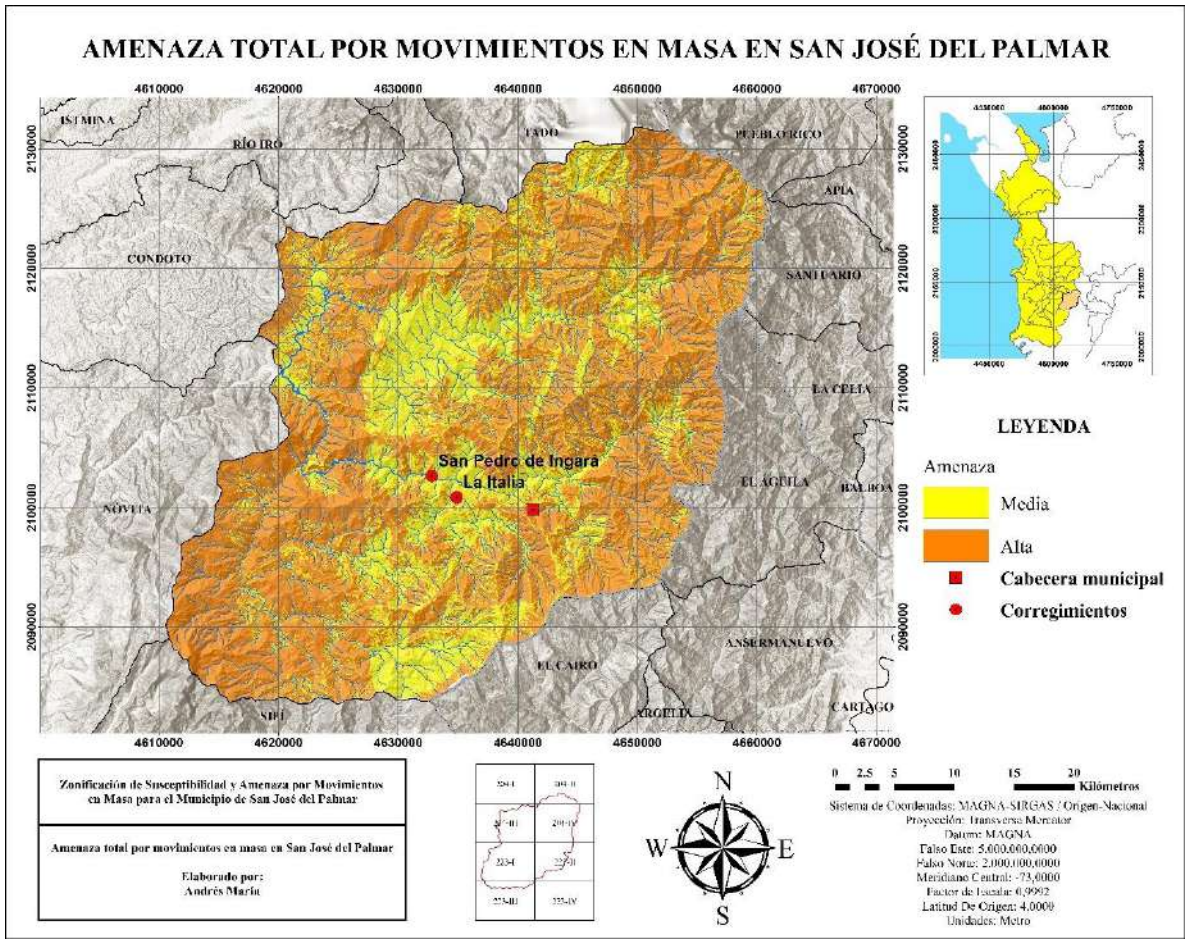
Amenaza alta: está presente exclusivamente en la región occidental del municipio en zonas geomorfológicamente más susceptibles. Este nivel de amenaza esta aplicado al 10.8% del territorio correspondiente a 170 km^2.

Amenaza media: corresponde al nivel de amenaza por sismos con mayor presencia y distribución en el municipio. En la región oriental se presenta en todas las variaciones topográficas existentes, mientras que en la región occidental este grado de amenaza está en las cimas y en laderas de pendientes medias y bajas. Este nivel de amenaza se presenta en cerca del 89% del territorio municipal equivalente a 1393 km^2.

Amenaza baja: este nivel de amenaza tiene presencia muy reducida en el municipio y se ubican en algunos bordes de causes y cimas. Estas zonas de amenaza se encuentran dispersados y únicamente en la región oriental del municipio que presenta menos susceptibilidad por sismos. Esta amenaza está en apenas el 0.2% del territorio municipal equivalente a 4 km^2.

7.1.4.3. AMENAZA TOTAL

Mapa 66 Amenaza total por movimientos en masa

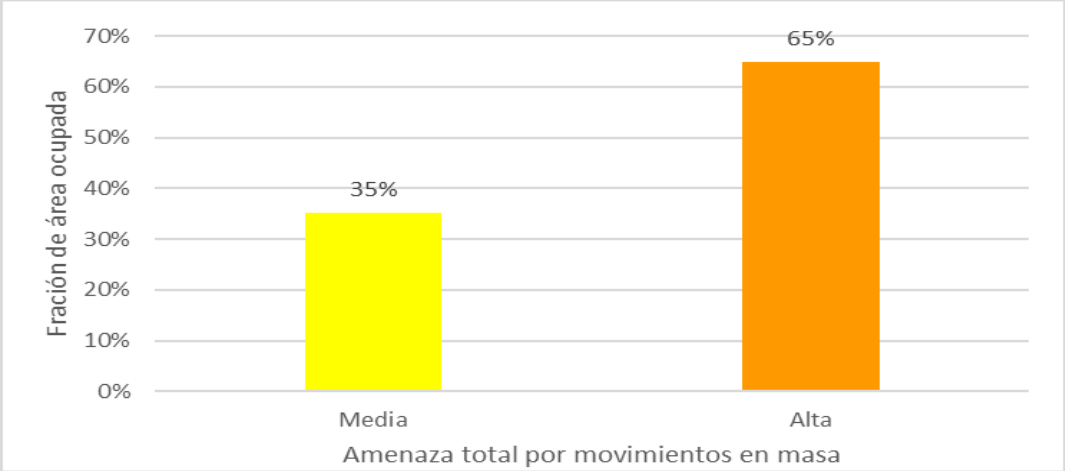


Fuente: presente estudio

Teniendo en cuenta los resultados anteriores el municipio se categoriza como uno de alta amenaza por movimientos en masa, teniendo los dos niveles de amenaza presentados la siguiente distribución.

Amenaza alta: se encuentra distribuida al occidente del municipio en la mayor parte de la cuenca del rio Surama, al oriente en la zona alta de la cordillera occidental en la mayor parte del PNN Tatamá y al norte en límites con Condoto y Tadó. Este grado de amenaza cubre 1026 km^2 equivalente al 65% del territorio municipal.

Figura 47 Distribución de amenaza total por movimientos en masa



Fuente: presente estudio

Al occidente de San Pedro de Ingará la configuración geológica es importante en la presencia de este nivel de amenaza, especialmente ligado a la formación Penderisco y a la densidad de fallas en esta región, mientras que al oeste de Curundó la alta calificación asignada a los sismos como detonante explica la elevada distribución de este nivel de amenaza en las cuencas de los ríos Surama e Irabubú.

Geomorfológicamente la amenaza alta por movimientos en masa se presenta principalmente en zonas de alta pendiente y rugosidad, manifestada esta relación en la zona alta de la cordillera occidental al oriente de la falla de la Quebrada La Fiera y sobre el cerro El Torrá.

Aproximadamente 815 hectáreas de cultivos arbóreos y herbáceos presentan alta amenaza por movimientos en masa localizados principalmente en las veredas Cruces, La Selva, Corcovado, Habita Alto, Torito y Suramita; los pastos limpios, enmalezados y arbolados presentan amenaza alta en 3845 hectáreas de las 7500 que se cartografiaron presentes principalmente en las veredas Playa Rica, Damasco y La Badea, además de las veredas anteriormente mencionadas.

La mayor parte del territorio que presenta este grado de amenaza se encuentre por encima de los 800 m.s.n.m. donde la temperatura disminuye de templada a muy fría

y las precipitaciones oscilan entre 2000 y 7000 mm por año, propiciando la infiltración del agua en el suelo al disminuir la evapotranspiración.

Amenaza media: se encuentra principalmente en el centro y sur del municipio, en las cuencas altas de los ríos Ingará y Tamaná ocupando un área aproximada de 556 km^2, equivalente al 35% del área municipal.

En su distribución es importante la influencia de las rocas cristalinas por su fábrica y resistencia, reduciendo el grado de susceptibilidad total, especialmente sobre la formación barroso distribuida en bandas paralelas a las fallas de Rio Blanco, desde el rio el Brasil en el sur hasta el rio Tamaná en el norte y en la cuenca media del rio Corcovado; la tonalita del Pital en el norte y apófisis de la granodiorita del Torrá cerca del Rio Ingará en la cuchilla de San Pedro.

Este nivel de amenaza está relacionado también a zonas de baja pendiente como las cercanas a los principales corrientes de agua especialmente en el rio Surama y sus afluentes, el rio Ingará, el Tamaná y el rio Irabubú. La mayor parte de las cimas en las elevaciones topográficas presentan este grado de amenaza manifestado principalmente al oriente de la cabecera municipal.

Aproximadamente el 60% de los cultivos (arbóreos o herbáceos) y el 49 % de los pastizales en el municipio se encuentran en áreas con este nivel de amenaza distribuidos principalmente en la cuenca media del rio Tamaná y en la cuenca del rio Ingará al este de Curundó en alturas menores a los 800 m.s.n.m.

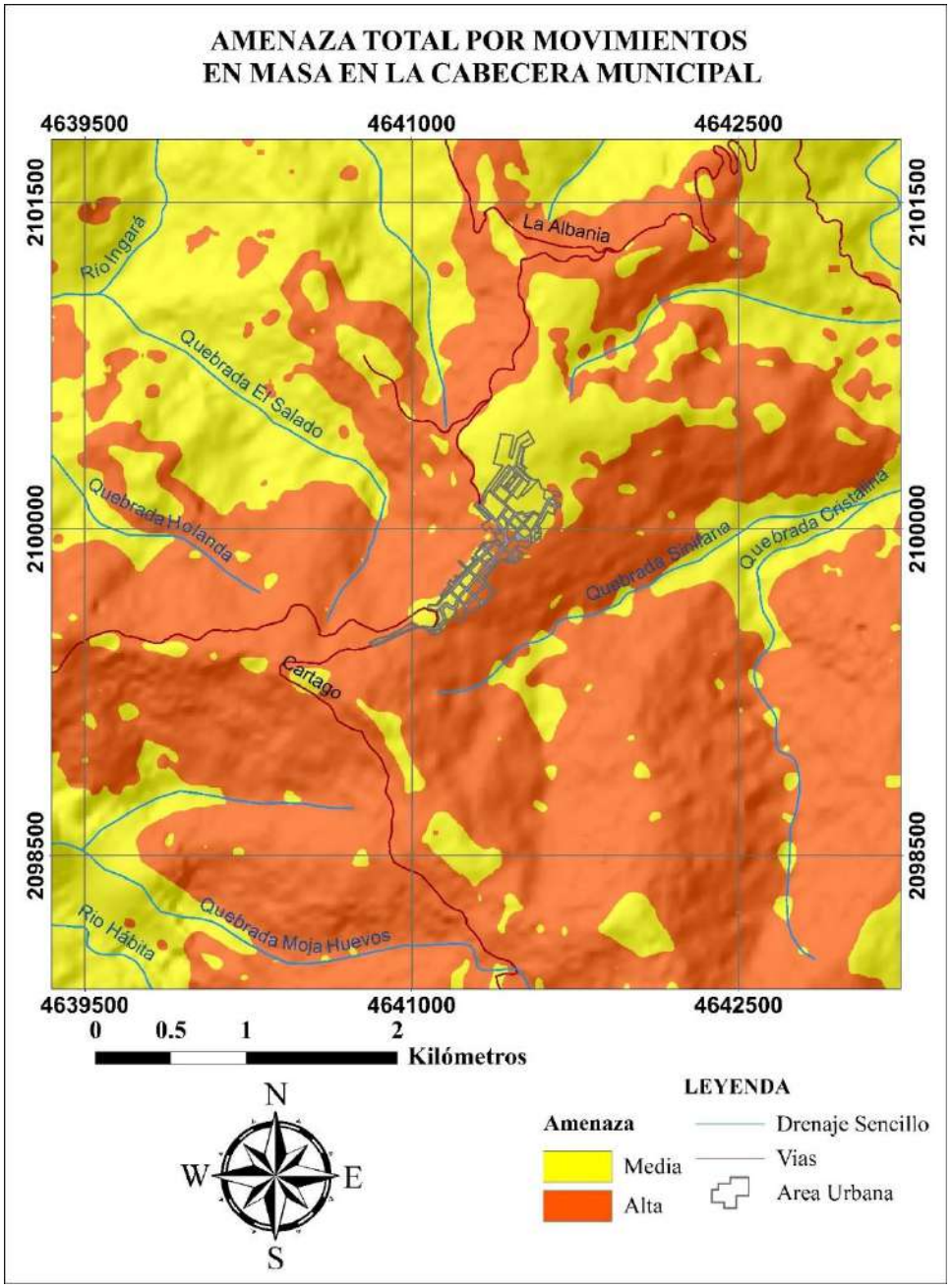
La calificación media de amenaza en las cuencas de los ríos Ingará y Tamaná para alturas inferiores a los 800 m.s.n.m. se debe principalmente a la baja calificación del clima como detonante en estas zonas, pues, aunque las precipitaciones medias en estas zonas son superiores a los 3000mm por año y las máximas diarias llegan hasta los 175mm, presentan temperaturas cálidas que favorecen la evapotranspiración.

la calificación media para los sismos como detonante que presenta el municipio al este de Curundó permite la presencia de una menor amenaza en la región oriental,

siendo allí donde se presentan las principales concentraciones de áreas con este nivel de amenaza.

ÁREA DE INTERÉS EXPUESTAS

Mapa 67 Amenaza total por movimientos en masa en la cabecera municipal



Fuente: presente estudio

Aproximadamente 33 km de la red vial cartografiada en el municipio se encuentran en zona de amenaza alta por movimientos en masa. En la vía San José del Palmar-Cartago el 90% de la extensión dentro del municipio presenta este nivel de amenaza, que sumado a la intervención antrópica y al análisis de los buzamientos en estratos sedimentarios realizados en el numeral 2, convierte a esta vía en una zona de alto potencial de ocurrencia de movimientos en masa y de interés para estudios posteriores. En la vía Palmar – La Italia esta amenaza se extiende desde la cabecera municipal hasta el límite de las veredas la Badea y La Libertad; y en la vía a la vereda La Selva la amenaza alta se presenta entre el casco urbano y el paraje de Casa Azul de la vereda Corcovado y en los 4 km finales de esta. Otros segmentos importantes que presentan este grado de amenaza están en las vías a Corcovado, a La Albania y en la vía ubicada al occidente de Curundó.

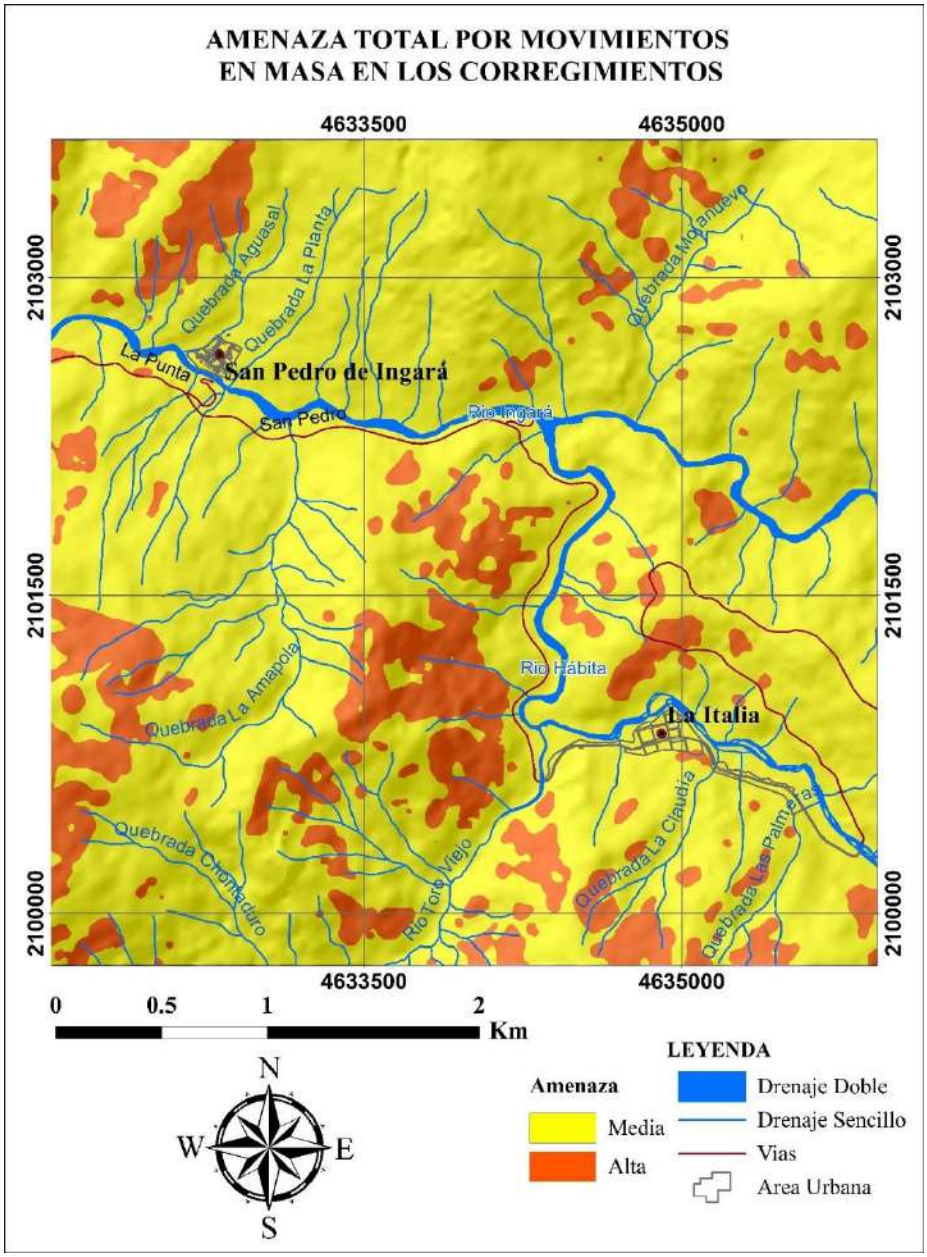
El 32% de la cabecera municipal presenta amenaza alta por movimientos en masa especialmente en las regiones periféricas destacando los barrios Avenida Villegas y San José Alto. En los alrededores de la cabecera la amenaza media ocupa el 35% del territorio, mientras que la amenaza alta ocupa el 65% concentrándose principalmente en las cuencas altas de las quebradas Sinifaná, La Cristalina, Mojahuevos, La Holanda y El Salado afectando potencialmente al sistema de acueducto actualmente instalado y a las vías de entrada y salida del municipio hacia la vereda La Selva, al corregimiento de La Italia, y al departamento del Valle del Cauca.

El área delimitada para los corregimientos (Mapa 68)se categoriza de forma general como de amenaza media por movimientos en masa, pues el 84% del área presenta esta calificación.

La amenaza alta está distribuida especialmente en las laderas del rio Toro Viejo y la quebrada Mojahuevos, sin embargo, las zonas de mayor interés se encuentran en el origen de la quebrada Aguasal en San Pedro de Ingará y de las quebradas La Claudia y Las Palmeras en La Italia, pues es posible la ocurrencia de flujos a través de estas canalizaciones afectando ambos centros poblados. Registros de eventos similares han ocurrido en el corregimiento de La Italia como las avenidas

torrenciales del 2014 y 2018 en el barrio La Invasión afectando vías y viviendas ((Bejarano, 2020)).

Mapa 68 Amenaza total por movimientos en masa en los corregimientos



Fuente: presente estudio

El área urbana de San Pedro de Ingará tiene en su totalidad un nivel medio de amenaza, mientras que en La Italia la amenaza alta solo asciende al 2% con alrededor de 1300m^2. De igual manera las vías presentes en el área están

mayormente asentadas sobre zona de amenaza media, destacando solo pequeños tramos cercanos al corregimiento de La Italia en la vía que conduce de este a la cabecera municipal.

8. CONCLUSIONES

- San José del palmar se cataloga como un municipio de alta amenaza por movimientos en masa con el 65% de su territorio exhibiendo esta calificación, distribuida de forma preferencial en las regiones más elevadas del municipio. Este nivel de amenaza afecta principalmente a la cabecera municipal, sus áreas vecinas y las principales vías del municipio.
- Los niveles de precipitación media anual y máxima diaria en el municipio son altos, lo cual sumado a temperaturas templadas, frías y muy frías crean condiciones ideales para la ocurrencia de movimientos en masa. Por su parte, el factor sismo como detonante tiene una influencia significativa al occidente del municipio en la cuenca de los ríos Surama e Irabubú.
- La ubicación del municipio sobre la margen occidental de la cordillera occidental ocasiona que la mayor parte de su territorio este conformado por laderas de pendientes medias y altas, razón por la cual tres cuartas partes del municipio presentan susceptibilidades altas o muy altas por esta variable. De igual forma es importante la alta rugosidad y acumulación de cuenca que presentan estas laderas, pues esto aumenta el grado de susceptibilidad morfométrico especialmente en la región centro y noroccidental, en las cuencas medias y bajas de los ríos Ingará, Tamaná e Irabubú.
- Históricamente se han registrado gran cantidad de movimientos en masa en el municipio concentrándose principalmente en la cuenca del rio Ingará donde se encuentran los principales centros poblados y territorios agrícolas. La mayoría de estos movimientos en masa curren en laderas con pendientes superiores a 30° donde aumentan proporcionalmente los flujos de detritos y disminuyen los flujos de tierra.
- Los registros de movimientos en masa en el municipio muestran una relación directa y exponencial entre los rangos de precipitación media y el número de

eventos, evidenciando la estrecha relación que existe entre la precipitación y la ocurrencia de movimientos en masa en el municipio.

- Existen importantes concentraciones de fallas especialmente cerca de la cabecera municipal y de los corregimientos La Italia y San Pedro de Ingará, lo cual favorece el fracturamiento de las unidades rocosas y en consecuencia la formación de movimientos en masa cerca de las áreas urbanas y de las principales vías.
- La presencia de niveles medios y bajos de resistencia litológica es un factor determinante en la ocurrencia de movimientos en masa, lo cual puede observarse en los bajos grados de susceptibilidad y registro de movimientos en masa en las zonas que poseen rocas de alta resistencia.
- El municipio está conformado principalmente por rocas sedimentarias de baja resistencia que tienden a formar deslizamientos planares en lugares en donde el buzamiento de los estratos es similar o menor que la pendiente de las laderas, afectando principalmente las vías terrestres.
- Los bosques riparios concentran la mayor cantidad de movimientos en masa en proporción al área que ocupan en el municipio seguido de arbustales densos y pastos de cualquier tipo, resaltando la incidencia de la intervención antrópica en el desencadenamiento de estos eventos.

- La mayor parte del área municipal está cubierta por bosque y áreas seminaturales que reducen la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, sin embargo, las zonas con poca o nula cobertura vegetal que se encuentran cerca de los principales centros poblados y carreteras favorecen la aparición de este fenómeno. Esta distribución está ligada la intervención de los suelos para uso agrícola principalmente en las cuencas de los ríos Ingará y Suramita en donde se encuentran grandes extensiones de pastos y cultivos herbáceos cuyo bajo nivel de profundidad radicular, drenaje y numero de estratos aceleran los procesos erosivos.

9. RECOMENDACIONES

- Mejorar el registro cartográfico temático de San José del Palmar con el objetivo de mejorar la precisión de los estudios que, como este, se realicen en el municipio.
- Realizar estudios puntuales en los principales centros poblados y especialmente en los lugares donde la infraestructura municipal este ubicada sobre áreas de alta amenaza por movimientos en masa.
- Informar a la población sobre las amenazas por movimientos en masa presentadas en el municipio, recomendar acciones que ayuden a disminuir el imparto de este fenómeno especialmente en las zonas rurales y advertir sobre la importancia de acatar las recomendaciones.
- Implementar una base de datos digital de la cartográfica municipal, que esté en constante actualización y mejoramiento, a partir de la información temática que se recolecte a través de los años con el fin de facilitar la realización de actividades técnicas posteriores que requieran esta información.

10. REFERENCIAS

Alcaldía Municipal de San José del Palmar. (2001). *Esquema de Ordenamiento Territorial.*

Bejarano, J. S. (2020). *Plan de desarrollo municipal 2020 - 2023.* San José del Palmar.

Carvajal, J. H. (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia.* Bogotá.

Fernández, P. (2020). *Universidad Complutense de Madrid.* Recuperado el 6 de octubre de 2021, de https://eprints.ucm.es/id/eprint/26066/1/GRAVITACIONAL2.pdf

IGAC. (2007). *Manual de suelos de la subdirección de agrología.*

INGEOMINAS. (2004). *Desarrollo Metodológico y Estándares de la Zonificación Geomecánica teniendo en cuenta la Variable Edáfica.*

INGEOMINAS. (2009). *Anteproyecto Mapas nacionales de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa.* Bogotá.

SGC. (1984). *Reseña explicativa del mapa geológico preliminar de la plancha 223 El Cairo.* Bogotá.

SGC. (2001). *Memoria explicativa de la geología y geoquímica de la plancha 204 Pueblo Rico.* Bogotá.

SGC. (2013). *Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa, escala 1:100.000.* Bogotá.

SGC, Universidad EAFIT. (2014). *Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa plancha 204 Pueblo Rico.* Medellín.

SGC, Universidad EAFIT. (2014). *Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa plancha 223 El Cairo.* Medellín.

Union Temporal San Juan. (2009). *Cartografía geológica y muestreo geoquímico en la parte norte de la cordillera occidental, planchas 204 y 223.* Bogotá.

San José del Palmar, Chocó, 24 de enero de 2022
Oficio No. 006

Doctor
Juan Fernando Arango Betancur
Juez
Juzgado Tercero Administrativo del Circuito de Cartago Valle del Cauca
E.S.D

Medio de Control: Protección de los derechos e intereses colectivos **-** Acción Popular

Accionante: Jorge Enrique Perea Cossio – Personero Municipal de San José del Palmar - Chocó

Accionados: Departamento del Valle del Cauca – Departamento del Chocó

Vinculado: Gobierno Nacional - Ministerio de Transporte

Asunto: Adición de la demanda, relación de nueva prueba documental

Jorge Enrique Perea Cossio, identificado con la cedula de ciudadanía No. 1.088.342.736 de Pereira, en mi calidad de personero municipal de San José del Palmar, Chocó, la que se encuentra debidamente acreditada conforme lo establecido en el acta de posesión del 8 de enero de 2020, expedida por el H. Concejo Municipal de San José del Palmar, Chocó –que hubiere sido allegada junto con el escrito de demanda fundamentado en el art. 173 de la Ley 1437 de 2011, me permito presentar la subsecuente adición a la demanda, que fuere repartida en su despacho conforme acta de reparto que se anexa, en aras de que sea tenida en cuenta en el marco de la valoración probatoria y en el marco de verificar la idoneidad de decretar medidas cautelares.

Adiciónese el aparte de pruebas (V) el cual quedará así:

"Documentales: Allego al despacho las subsecuentes pruebas

19. Zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa para el municipio de San José del Palmar Chocó". Año de publicación y socialización 2022.

El presente estudio y/o trabajo de grado realizado por estudiante en ingeniería geológica, aprobado por el Secretario de Planeación de en virtud de convenio convenio de prácticas suscrito con la Universidad Nacional de Colombia y la Alcaldía del municipio de San José del Palmar, muestra las zonas susceptibles de deslizamiento en masa de tierras y la susceptibilidad que existe en el municipio respecto a la posibilidad de que se generen los mentados deslizamientos, indicando lo subsecuente:

"**Aproximadamente 33 km de la red vial cartografiada en el municipio se encuentran en zona de amenaza alta por movimientos en masa. En la vía San José del Palmar-Cartago el 90% de la extensión dentro del municipio presenta**

NIT 900948464-8
Dirección: calle 9 N° 3-44 Piso 1 - Palacio Municipal
No. Celular: 3126901614
Correo institucional: personeria@sanjosedelpalmar-choco.gov.co

este nivel de amenaza, que sumado a la intervención antrópica y al análisis de los buzamientos en estratos sedimentarios realizados en el numeral 2, convierte a esta vía en una zona de alto potencial de ocurrencia de movimientos en masa y de interés para estudios posteriores. En la vía Palmar – La Italia esta amenaza se extiende desde la cabecera municipal hasta el límite de las veredas la Badea y La Libertad; y en la vía a la vereda La Selva la amenaza alta se presenta entre el casco urbano y el paraje de Casa Azul de la vereda Corcovado y en los 4 km finales de esta. Otros segmentos importantes que presentan este grado de amenaza están en las vías a Corcovado, a La Albania y en la vía ubicada al occidente de Curundó."[1]

Asimismo, se resalta que uno de los puntos críticos que se constata en el archivo videográfico - Punto crítico 1 Jurisdicción de San José del Palmar: Tramo que le pertenece al Departamento del Chocó-, en el sector del tabor, es concebido como una falla en el estudio en mención; allí, se manifestó lo subsiguiente:

"Falla del Tabor: corresponde a una falla de cabalgamiento de orientación aproximada N57-77E con buzamiento al NW, la cual pone en contacto a alas unidades de chert y calizas con la unidad de lodolitas y arenitas delgadas. **En la vía San José del Palmar- Cartago provoca constantes afectaciones en el lugar de su cruce por deslizamientos que obstaculizan la carretera**."[2]

Aunado a lo anterior, se establecieron las subsecuentes conclusiones:

"**San José del palmar se cataloga como un municipio de alta amenaza por movimientos en masa con el 65% de su territorio exhibiendo esta calificación, distribuida de forma preferencial en las regiones más elevadas del municipio. Este nivel de amenaza afecta principalmente a la cabecera municipal, sus áreas vecinas y las principales vías del municipio.**

Los niveles de precipitación media anual y máxima diaria en el municipio son altos, lo cual sumado a temperaturas templadas, frías y muy frías crean condiciones ideales para la ocurrencia de movimientos en masa. Por su parte, el factor sismo como detonante tiene una influencia significativa al occidente del municipio en la cuenca de los ríos Surama e Irabubú.

La ubicación del municipio sobre la margen occidental de la cordillera occidental ocasiona que la mayor parte de su territorio este conformado por laderas de pendientes medias y altas, razón por la cual tres cuartas partes del municipio presentan susceptibilidades altas o muy altas por esta variable. De igual forma es importante la alta rugosidad y acumulación de cuenca que presentan estas laderas, pues esto aumenta el grado de susceptibilidad morfométrico especialmente en la región centro y noroccidental, en las cuencas medias y bajas de los ríos Ingará, Tamaná e Irabubú.

Históricamente se han registrado gran cantidad de movimientos en masa en el municipio concentrándose principalmente en la cuenca del rio Ingará donde se encuentran los principales centros poblados y territorios agrícolas. La mayoría de estos movimientos en masa curren en laderas con pendientes superiores a 30° donde aumentan proporcionalmente los flujos de detritos y disminuyen los flujos de tierra.

[1] Andrés Marín Flórez, Est. De Ingeniería Geológica, tutor, Ingeniero Jhon Stevens Bejarano Copete, Secretario de Planeación y Obras Públicas del Municipio de San José del Palmar, Alcaldía de San José del Palmar: Zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa para el municipio de San José del Palmar Chocó. Año 2022 Pág. 225.
[2] Ibidem, Pág. 50.

Existen importantes concentraciones de fallas especialmente cerca de la cabecera municipal y de los corregimientos La Italia y San Pedro de Ingará, lo cual favorece el fracturamiento de las unidades rocosas y en consecuencia la formación de movimientos en masa cerca de las áreas urbanas y de las principales vías.

El municipio está conformado principalmente por rocas sedimentarias de baja resistencia que tienden a formar deslizamientos planares en lugares en donde el buzamiento de los estratos es similar o menor que la pendiente de las laderas, afectando principalmente las vías terrestres."[3]

Lo anterior, se cita, en aras de que sea valorado en la decisión de decretar las medidas cautelares solicitada y también en el marco del proceso de valoración probatoria; dado que la presente es una prueba adicional que permite identificar la inminencia y/o actualidad de los daños ocurridos respecto de los derechos colectivos invocados.

Para efectos de lo anterior, el suscrito accionante, se permite anexar el subsiguiente documento:

- Alcaldía de San José del Palmar, Zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa para el municipio de San José del Palmar Chocó": año de publicación y socialización 2022, contentivo de 230 páginas.

En constancia firma,

Jorge Enrique Perea Cossio

Firmado digitalmente por Jorge Enrique Perea Cossio
Fecha: 2022.01.24 14:53:04 -05'00'

Jorge Enrique Perea Cossio
Personero Municipal
Municipio de San José del Palmar

[3] Ibidem, Pág. 227.

Rama Judicial
Consejo Superior de la Judicatura
República de Colombia

JUZGADO TERCERO ADMINISTRATIVO DEL CIRCUITO DE CARTAGO

Cartago, Valle del Cauca, dos de marzo de dos mil veintidós

Proceso	Acción Popular
Accionante	Personería Municipal - San José del Palmar (Chocó)
Accionados	Departamento del Valle del Cauca Departamento del Chocó
Radicado	76147-33-33-003-2022-00011-00
Asunto	Resuelve medida cautelar

Procede el Despacho a decidir sobre la medida cautelar solicitada por el actor popular en el escrito de demanda (fs. 14 y 15 archivo "02.Acción Popular Personería Municipal de San José del Palmar vs Departamento del Valle del Cauca, Departamento del Chocó y Ministerio de Transporte" del expediente electrónico).

I. ANTECEDENTES

La persona de la referencia, actuando en calidad de personero municipal de San José del Palmar, presentó acción popular contra el Departamento del Valle del Cauca y el Departamento del Chocó, por la presunta vulneración de los derechos colectivos (i) al goce del espacio público y la utilización y defensa de los bienes de uso público, (ii) el derecho a la seguridad y prevención de desastres previsibles técnicamente, (iii) la realización de las construcciones, edificaciones y desarrollos urbanos respetando las disposiciones jurídicas, de manera ordenada, y dando prevalencia al beneficio de la calidad de vida de los habitantes, (iv) defensa del patrimonio público y (v) a la infraestructura pública vial o de transporte terrestre en condiciones de seguridad.

El actor popular solicitó el decreto de medidas cautelares tendientes a: ***(i)*** que el Departamento del Valle del Cauca inicie de inmediato las labores de mantenimiento y rehabilitación de la vía que conduce desde el sector El Cruce del municipio de El Cairo Valle del Cauca, hasta el sector Alto Galápagos -límites San José del Palmar- identificados en el material videográfico y demás tramos que discrecionalmente se determinen en el marco de las visitas, informando mensualmente al Despacho sobre las labores efectuadas; ***ii)*** que el Departamento del Chocó inicie de inmediato las labores de mantenimiento y rehabilitación de la vía que conduce desde Alto Galápagos hacia San José del Palmar cabecera municipal y posteriormente hacia

el corregimiento de Curundó del municipio de Novita en sus pasos críticos - identificados en el material videográfico y demás tramos que discrecionalmente se determinen en las visitas, informando mensualmente al Despacho sobre las labores efectuadas; **iii)** Que mientras se surten estas medidas, se ordene con cargo al Fondo para la Defensa de los Derechos e Intereses Colectivos, los estudios necesarios para establecer la naturaleza de los daños y afectaciones causadas en la vía Cairo - San José del Palmar - Novita, en aras de determinar la naturaleza del daño y tomar medidas urgentes e idóneas para poder mitigarlo.

Considera el actor, que la vía que del municipio de El Cairo, Valle del Cauca, conduce a los municipios de San José del Palmar y Nóvita, Chocó, se encuentra en mal estado, lo que impide el tránsito de la población y de la producción agrícola del sector, y que se presentan puntos críticos en la vía por taludes de tierra y la quebrada “charco azul” que requieren intervención inmediata, toda vez que por la fuertes precipitaciones pueden impedir el tránsito de vehículos o personas.

Refiere que el mal estado de la vía que ha puesto en situación de vulnerabilidad a dicha población, se viene presentando desde el año 2018 y se ha ratificado en el mes de diciembre de 2021.

Igualmente, por memorial contenido en archivo “08.Oficio No. 004 - Adición y modificación de la demanda – relación de nueva prueba documental”, expone que mediante Decreto 105 del 01 de diciembre de 2021 expedido por el Alcalde del Municipio de San José del Palmar, Chocó, se declaró urgencia manifiesta como consecuencia del taponamiento de las principales vías de acceso a dicho Municipio debido a las fuertes lluvias.

II. PRONUNCIAMIENTO DE LOS DEMANDADOS

De la solicitud de dicha medida, el despacho mediante providencia del 27 de enero de 2022, en los términos del artículo 233 de la Ley 1437 de 2011, corrió traslado por cinco (5) días a los demandados (archivo “01.2022-011 AP-TRASLADO MEDIDA LZ” del expediente electrónico).

De conformidad con la constancia secretarial (archivo “01.ConstanciaCorreTrasladoMedida” C. MEDIDAS CAUTELARES), dentro del término concedido, se intervino así:

2.1. El Departamento del Valle del Cauca, a través de apoderado judicial, se refirió a la naturaleza y finalidad de las medidas cautelares y citó los artículos 229 a 241 del CPACA.

Señala que son las autoridades locales las que inicialmente deben dar respuesta a las problemáticas que afectan la convivencia y seguridad de los ciudadanos en su localidad, no a las autoridades departamentales o nacionales, haciendo alusión a las competencias de los Municipios previstas en la ley 715 de 2001.

Concluye que no es posible dar inicio inmediato a labores de mantenimiento y rehabilitación de la vía que conduce desde el sector El Cruce del municipio de El Cairo Valle del Cauca, hasta el sector Alto Galápagos -limites San José del Palmar, dado que toda inversión que involucre dineros públicos debe someterse a los lineamientos de la Ley 80 de 1993, 1150 de 2007, el decreto 1510 de 2013 y demás normas concordantes, que no pueden desconocerse so pena de la comisión de un hecho punible. (archivo "01.PronunciamientoMedidaCautelar.2022-011/ C. MEDIDAS CAUTELARES").

2.2. El Departamento del Chocó guardó silencio.

III. CONSIDERACIONES

El artículo 2 inciso segundo de la Ley 472 de 1998, en desarrollo del artículo 88 de la Constitución Política, dispone que las acciones populares se ejercen para evitar el daño contingente, hacer cesar el peligro, la amenaza, la vulneración o agravio sobre los derechos e intereses colectivos, o restituir las cosas a su estado anterior cuando fuere posible. Se trata, según lo dispuesto por esta Ley, de medios procesales de carácter preventivo, reparativo, correctivo o restitutorio, que proceden contra toda acción u omisión de las autoridades públicas o de particulares que hayan violado o amenacen violar los derechos e intereses colectivos amparados por el ordenamiento jurídico[1]. Su objeto, entonces, no es otro que la tutela de aquellos derechos que la Constitución y la Ley han reconocido de manera indivisible y global a la comunidad en cuanto cuerpo social titular de unos intereses merecedores de protección, en tanto que presupuestos o condiciones

[1] Artículos 2 y 9 de la Ley 472 de 1998.

determinantes para el buen funcionamiento de la sociedad y la realización del orden jurídico, político, económico y social justo que aspira implantar la norma fundamental frente a situaciones capaces de originar daños actuales o contingentes en los bienes jurídicos colectivos.

Con miras a cumplir la finalidad de la acción popular, la Ley 472 de 1998 estableció medidas previas o cautelares para su ejercicio, disponiendo en el inciso tercero del artículo 17 lo siguiente:

> *"En desarrollo del principio de prevalencia del derecho sustancial sobre el procesal, el juez competente que reciba la acción popular tendrá la facultad de tomar las medidas cautelares necesarias para impedir perjuicios irremediables e irreparables o suspender los hechos generadores de la amenaza a los derechos e intereses colectivos."*

Por su parte, el artículo 25 ibídem consagra:

> ***"ARTICULO 25. MEDIDAS CAUTELARES.*** *Antes de ser notificada la demanda y en cualquier estado del proceso podrá el juez, de oficio o a petición de parte, decretar, debidamente motivadas, las medidas previas que estime pertinentes para prevenir un daño inminente o para hacer cesar el que se hubiere causado. En particular, podrá decretar las siguientes:*
>
> *a) Ordenar la inmediata cesación de las actividades que puedan originar el daño, que lo hayan causado o lo sigan ocasionando;*
>
> *b) Ordenar que se ejecuten los actos necesarios, cuando la conducta potencialmente perjudicial o dañina sea consecuencia de la omisión del demandado;*
>
> *c) Obligar al demandado a prestar caución para garantizar el cumplimiento de cualquiera de las anteriores medidas previas;*
>
> *d) Ordenar con cargo al Fondo para la Defensa de los Derechos e Intereses Colectivos los estudios necesarios para establecer la naturaleza del daño y las medias urgentes a tomar para mitigarlo.*
>
> ***PARAGRAFO 1o.*** *El decreto y práctica de las medidas previas no suspenderá el curso del proceso.*
>
> ***PARAGRAFO 2o.*** *Cuando se trate de una amenaza por razón de una omisión atribuida a una autoridad o persona particular, el juez deberá ordenar el cumplimiento inmediato de la acción que fuere necesaria, para lo cual otorgará un término perentorio. Si el peligro es inminente podrá ordenar que el acto, la obra o la acción la ejecute el actor o la comunidad amenazada, a costa del demandado."*

De lo anterior se colige que la medida cautelar puede decretarse en cualquier estado del proceso, de oficio o a petición de parte, siempre que se pruebe: a) la vulneración actual o inminente de un derecho colectivo y b) que en esa vulneración esté comprometido, por acción u omisión, el demandado.

Sobre el alcance de las medidas cautelares, se dispone lo siguiente en el CPACA:

> "***Artículo 229.*** *Procedencia de medidas cautelares. En todos los procesos declarativos que se adelanten ante esta jurisdicción, antes de ser notificado el auto admisorio de la demanda o en cualquier estado del proceso, a petición de parte debidamente sustentada,* ***podrá el Juez*** *o Magistrado Ponente* ***decretar****, en providencia motivada,* ***las medidas cautelares que considere necesarias para proteger y garantizar, provisionalmente, el objeto del proceso y la efectividad de la sentencia****, de acuerdo con lo regulado en el presente capítulo. La decisión sobre la medida cautelar no implica prejuzgamiento.*
> *Parágrafo. Las medidas cautelares en los procesos que tengan por finalidad la defensa y protección de los derechos e intereses colectivos ~~y en los procesos de tutela~~ del conocimiento de la Jurisdicción de lo Contencioso Administrativo se regirán por lo dispuesto en este capítulo y podrán ser decretadas de oficio"*[2]*.*
> (Negrillas del Despacho)

Además, se advierte que el legislador señaló unas precisas causales[3] con fundamento en las cuales el interesado puede oponerse a las medidas previas, que se refieren a los efectos que ha de producir la misma respecto de los derechos colectivos invocados, del interés público y de la situación del demandado.

Sobre el particular, el Consejo de Estado ha señalado que el decreto de una medida previa en un juicio de acción popular está sujeto a los siguientes presupuestos de procedencia:

> *"a) Que esté debidamente demostrado en el proceso la inminencia de un daño a los derechos colectivos o que el mismo se haya producido, esto con el fin de justificar la imposición de la medida cautelar, el cual es prevenir aquel daño que está por producirse o a hacer cesar aquel que ya se consumó;*
> *b) Que la decisión del juez al decretar la medida cautelar esté plenamente motivada; y*
> *c) Que para adoptar esa decisión, el juez tenga en cuenta los argumentos contenidos en la petición que eleve el demandante, para que se decrete tal medida, lo cual, lógicamente, no obsta para que el juez oficiosamente, con arreglo a los elementos de juicio que militen en la actuación, llegue al convencimiento de la necesidad de decretar una medida cautelar y proceda en tal sentido"*[4]

Igualmente, ha precisado dicha Corporación que *"(…) las medidas cautelares en los procesos judiciales están instituidas para evitar que la sentencia mediante la cual se decidan, resulte nugatoria por cuenta de las modificaciones que se puedan producir en la situación inicial como consecuencia del tiempo que se requiere para la tramitación del proceso, pues entre el momento en que el mismo se inicia y aquel en el que se puede materializar la sentencia, pueden suceder eventos que dificulten o imposibiliten, incluso, los efectos prácticos de la decisión. Es por ello que se*

---

[2] Aparte tachado inexequible
[3] Artículo 26 de la Ley 472 de 1998
[4] Consejo de Estado, Sala de lo Contencioso Administrativo, Sección Primera, auto del 6 de febrero de 2014. Rad. 2013-00941. C.P. María Claudia Rojas Lasso.

conciben como "(…) precauciones inequívocamente diseñadas para garantizar que la solución que se adopte como resultado del proceso judicial podrá ser materializada"[5]*, brindándole a quien acude a la jurisdicción, la certeza de que el trámite del proceso en sí mismo, no va a obrar en contra de sus intereses y que los mismos serán protegidos aún antes de la decisión definitiva (…)"*[6]*.*

Así, teniendo en cuenta la naturaleza de la acción popular, las medidas cautelares constituyen un mecanismo previo que tiene por objeto impedir perjuicios irremediables e irreparables, o suspender los hechos generadores de la amenaza a los derechos e intereses colectivos.

En el presente asunto, el actor popular ha señalado como fundamento de las medidas cautelares solicitadas, que *"(…) actualmente los habitantes del municipio de San José del Palmar, no se encuentran en posibilidades de llevar a cabo actividades como exportar cultivos de Chontaduro, Cacao, del mismo modo se generan problemas para efectos de que se realicen traslados de pacientes hacia el centro de salud ubicado en la cabecera municipal de manera oportuna; habida vez que en varios de los tramos de la vía se torna complejo el tránsito de vehículos",* agregando que en la vía que del municipio de El Cairo, Valle del Cauca, conduce a los municipios de San José del Palmar y Nóvita, Chocó, se presentan puntos críticos por taludes de tierra y cuerpos de agua que generan riesgo con el incremento de precipitaciones.

Se refiere en la demanda que el 11 de diciembre de 2020, la Personería Municipal de San José del Palmar comunicó al Gobernador del Chocó el contenido de la Acción Preventiva No. 002 de 2020, en relación con el mal estado en el que se encontraba el tramo que conecta a la cabecera municipal de San José del Palmar, con los corregimientos de La Italia, San Pedro de Ingará -del municipio de San José del Palmar- y el corregimiento de Curundó; e igualmente, que el 5 de abril de 2021 se elevó ante el Departamento del Valle del Cauca, reclamación para la protección de derechos colectivos por el estado de la vía el Cairo – límites de San José del Palmar – Red vial Departamental del Valle del Cauca". Y se anexan 47 videos (carpetas prueba 13 y 14 del expediente electrónico) y pruebas documentales y

[5] Rojas Gómez, Miguel Enrique, *"La Teoría del Proceso",* Universidad Externado de Colombia, 1ª ed., 2002, p. 219.
[6] Consejo de Estado, Sala de lo Contencioso Administrativo, Sección Tercera – Subsección B, auto del 16 de marzo de 2016, Radicación 11001-03-26-000-2013-00129-00(48517), C.P. Danilo Rojas Betancourth.

fotografías (archivo “10.PruebasDocuemntalesEscritasy Fotograficas”), al parecer de múltiples puntos de la vía El Cairo-San José del Palmar- Nóvita.

El decreto de medidas cautelares debe obedecer a serios motivos que razonablemente apunten a una presunta vulneración de un derecho colectivo, o bien para prevenir un daño inminente, o bien para hacer cesar el daño que se hubiere causado y que, de no adoptarse la medida, exista la posibilidad de causar un perjuicio mayor.

Considera el Juzgado que en este momento procesal no se advierte una amenaza o riesgo de daño con la connotación de inminente, que amerite la intervención del juez constitucional a través de una medida cautelar, y para determinarlo se requiere agotar un debate probatorio que no se ha surtido, del que se establezcan además las obligaciones y responsabilidades de las entidades demandadas, en relación con el mantenimiento de la vía que del municipio de El Cairo, Valle del Cauca, conduce a los municipios de San José del Palmar y Nóvita, Chocó, por lo que no resulta procedente decretar la medida solicitada frente a los Departamentos del Valle del Cauca y del Chocó.

Del mismo modo, se negará la solicitud tendiente a que se ordene al Fondo para la Defensa de los Derechos e Intereses Colectivos, realizar *“los estudios necesarios para establecer la naturaleza de los daños y afectaciones causadas en la vía Cairo - San José del Palmar - Novita, en aras de determinar la naturaleza del daño y tomar medidas urgentes e idóneas para poder mitigarlo”*, toda vez que la amenaza a los derechos colectivos se ha expuesto generalizada sobre todo un tramo de la vía, y si bien se aportan videos, documentos y fotografías, no es posible determinar en este punto el valor probatorio de los mismos, y se tornarían interminables e imprecisos los estudios solicitados.

El Despacho exhorta a las entidades demandadas, que el mantenimiento vial es una obligación de orden legal, por lo tanto, no se puede judicializar la función administrativa y el cumplimiento de los fines del Estado, por lo tanto, y sin la necesidad de una orden judicial, las entidades encargadas del mantenimiento vial, están en la obligación legal de velar por el adecuado estado de la vía, omisión que de continuar puede generar responsabilidad administrativas y personales para los funcionarios que en sus competencias, deben vigilar y realizar las labores de mantenimiento vial.

Por lo expuesto se,

RESUELVE

1. Negar la medida cautelar solicitada por el actor popular, por las razones expuestas en la parte motiva de esta providencia.

2. Se reconoce personería al abogado Álvaro Carrillo, identificado con cédula de ciudadanía No. 16.217.248 y T.P. No. 106.869 del C.S. de la J., como apoderado judicial del Departamento del Valle del Cauca, conforme al poder obrante en archivo "01.PronunciamientoMedidaCautelar.2022-011/ C. MEDIDAS CAUTELARES" del expediente electrónico.

NOTIFÍQUESE

JUAN FERNANDO ARANGO BETANCUR
JUEZ

Firmado Por:

Juan Fernando Arango Betancur
Juez
Juzgado Administrativo
003
Cartago - Valle Del Cauca

Este documento fue generado con firma electrónica y cuenta con plena validez jurídica, conforme a lo dispuesto en la Ley 527/99 y el decreto reglamentario 2364/12

Código de verificación: **625016370371d542438069423d2af6c37f185d14dafabd9c2bd5b62010d0a5ac**
Documento generado en 02/03/2022 11:05:18 AM

Descargue el archivo y valide éste documento electrónico en la siguiente URL:
https://procesojudicial.ramajudicial.gov.co/FirmaElectronica