

S^{to} DOMINGO

Plan Regulador

Índice de Fragilidad Ambiental (IFA)

Elaborado por:

Programa de Investigación en
Desarrollo Urbano Sostenible
(ProDUS) Universidad de Costa Rica (UCR).
Por medio de Fundación de la Universidad
de Costa Rica (Fundación UCR)

Elaborado para

Municipalidad de Santo Domingo

Información adicional:

produs@ucr.ac.cr
www.produs.ucr.ac.cr
25112777



CRÉDITOS

Dirección, redacción y edición:

Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D.

Consultores:

IFA Geoaptitud (factor litopetrofísico y amenazas naturales)- Geol. José Daniel López Oviedo

IFA Geoaptitud (factor hidrogeológico)- M.Sc. Erick Orozco Orozco y Geol. Paola Alvarado Piedra

IFA Bioaptitud M.Sc. Marco Retana López

IFA Edafoaptitud M.Sc. Mario Villatoro

IFA Antropoaptitud Ph.D. Jonathan Agüero Valverde

Aspectos jurídicos:

Lic. María Fernanda Murillo Mesén

Arqueología:

Lic. Gustavo Adolfo Gómez Quesada

Paisajismo:

Ph.D. Jonathan Agüero Valverde

Asistentes:

Daniel Navarro Campos

Axell Soto Martínez



Índices de Fragilidad Ambiental (IFAs) para el cantón de Santo Domingo

Componente Geoaptitud

Contenido

Introducción	1
1. IFA Geoaptitud	7
1.1. Factor litopetrofísico	7
1.2. Factor geodinámica externa	51
1.3. Factor hidrogeológico	64
1.4. Factor estabilidad de laderas (deslizamientos)	81
1.5. Factor amenazas naturales	90
1.6. IFA Geoaptitud integrado.....	111
2. IFA Bioaptitud	114
2.1 Cuerpos de agua y biotopos sensibles	115
2.2 Zonas de Vida	115
2.3 Áreas sujetas a pagos por servicios ambientales	117
2.4 Tipos de cobertura o usos del suelo desde el punto de vista biológico	117
2.5 IFA bioaptitud integrado.....	122
3. IFA Edafoaptitud	131
3.1 Categorías de uso de la tierra.....	133
3.2 Potencial agrícola por fertilidad del suelo.....	134
3.3 IFA Integrado Edafoaptitud	139
4. IFA Antropoaptitud.....	147
4.1 IFA uso antrópico.....	147
4.2 Paisajismo	209
4.3 IFA Antropoaptitud integrado	218
5. IFA Integrado.....	220



Índice de Tablas

Tabla 1-1. Parámetros a evaluar para el factor Litopetrofísico.	30
Tabla 1-2. Parámetros estándar para la clasificación de la resistencia compresión simple de suelos arcillosos y categorías asignadas para cada unidad Litopetrofísica definida. (Tomado y Modificado de Gonzales, 2002).	31
Tabla 1-3. Criterios cualitativos para la clasificación del grado de meteorización de un macizo rocoso (Tomado y modificado de González, 2002).	32
Tabla 1-4. Ponderación de los criterios de evaluación para el factor litopetrofísico, para el cantón de Santo Domingo.	34
Tabla 1-5. Definición de los rangos de clasificación del factor litopetrofísico	35
Tabla 1-6. Tabla de limitantes y Potencialidades Técnicas	37
Tabla 1-7. Criterio y peso de los valores del Factor Litopetrofísico	38
Tabla 1-8. Valor y rango del subfactor de pendiente	52
Tabla 1-9. Valor y rango del subfactor de relieve relativo.....	52
Tabla 1-10. Valor y rango del subfactor de densidad de drenaje	53
Tabla 1-11. Clasificación para criterio valor IFA sedimentación	54
Tabla 1-12. Clasificación para criterio valor IFA erosión.....	54
Tabla 1-13. Categorías de reclasificación de la sumatoria para el cálculo del factor geodinámica externa.....	55
Tabla 1-14. Limitaciones y potencialidades técnicas del factor geodinámica externa	56
Tabla 1-15. Certidumbres técnicas del factor geodinámica externa.....	56
Tabla 1-17. Categorías del índice de perfil hidrogeológico, según Decreto N° 32967	69
Tabla 1-18. Clasificación de la precipitación media anual	70
Tabla 1-19. Resumen de índices GOD utilizados	71
Tabla 1-20. Sumatoria de reclasificación de la sumatoria para el cálculo del factor hidrogeológico.	73
Tabla 1-21. Limitaciones y potencialidades técnicas del factor hidrogeológico.	73
Tabla 1-22. Certidumbres técnicas del factor hidrogeológico.....	74
Tabla 1-23. Variables descritas en otras secciones.....	82
Tabla 1-24. Clasificación de la condición de precipitación de los tres meses más lluviosos para el cálculo del factor deslizamientos.....	84
Tabla 1-25. Categorías de reclasificación de la sumatoria para el cálculo del factor estabilidad de laderas o deslizamientos.....	85
Tabla 1-26. Limitaciones y potencialidades técnicas del factor estabilidad de laderas.....	86
Tabla 1-27. Certidumbres técnicas del factor estabilidad de laderas	86
Tabla 1-28. Clasificación del potencial sísmico Regional para la zona de estudio.	92
Tabla 1-29. Criterio de clasificación IFA Potencial sísmico Local. Fuente decreto 32967 (Anexo 2).	94
Tabla 1-30. Susceptibilidad a la licuefacción de las unidades geomorfológicas.	95
Tabla 1-31. Criterios de potencial de licuefacción para el área de estudio en función de la geomorfología.....	95
Tabla 1-32. Criterio de clasificación para el factor amenaza por licuefacción.	96
Tabla 1-33. Valor y rango de afectación del subfactor potencial de fractura en superficie por falla geológica activa.....	96
Tabla 1-34. Valor y rango de afectación del subfactor de amenaza volcánica.	97
Tabla 1-35. Categorías de reclasificación de la sumatoria para el cálculo factor amenazas naturales	98
Tabla 1-36. Limitaciones y potencialidades técnicas del factor amenazas naturales	98
Tabla 1-37. Certidumbres técnicas del factor amenazas naturales.....	99
Tabla 1-38. Categorías de reclasificación de la sumatoria para el cálculo del IFA geoaptitud integrado.....	111
Tabla 1-39. Limitaciones y potencialidades técnicas para el IFA geoaptitud	112
Tabla 2-2. Categorías de reclasificación de la sumatoria para el cálculo del IFA bioaptitud	122
Tabla 2-3. Limitaciones y potencialidades técnicas para el IFA bioaptitud	123



Tabla 3-1. Distribución por áreas según el uso de suelo en el cantón de Santo Domingo, Heredia. 2022.....	133
Tabla 3-2. Distribución porcentual de áreas según Fragilidad Ambiental Categorías de uso de la Tierra.	134
Tabla 3-3. Categorías y parámetros de fertilidad requeridos de acuerdo con la metodología “Determinación de la capacidad de uso de las tierras Agroecológicas de Costa Rica” (Decreto Ejecutivo N° 41960-MAG-MINAE del 18 de julio de 2019, publicado en La Gaceta N° 251	135
Tabla 3-4. Resultados químicos y físicos (textura) de muestras de suelo provenientes del cantón de Santo Domingo, Costa Rica. KCl-Olsen modificado como solución extractora. Metodología Bouyucos para textura. Muestreo: febrero 2023.....	138
Tabla 3-5. Índices IFA Edafoaptitud para el cantón de Santo Domingo, limitantes y potencialidades técnicas vinculadas.	140
Tabla 3-6. Índices IFA Edafoaptitud para el cantón de Santo Domingo, usos no recomendados y usos recomendados.	142
Tabla 4-1. Categorización de la variable uso del suelo del IFA antropoaptitud.....	148
Tabla 4-2. Inventario: sitios arqueológicos registrados en Santo Domingo, Heredia.	155
Tabla 4-3. Temporalidad y funcionalidad: sitios arqueológicos registrados en Santo Domingo, Heredia.	156
Tabla 4-4. Contexto ambiental, área estimada, método de datación, estado de conservación y material excavado para los sitios arqueológicos registrados en Santo Domingo, Heredia	158
Tabla 4-5. Sitios arqueológicos en la margen izquierda río Virilla (cantón Tibás).....	163
Tabla 4-6. Zona de Fragilidad Arqueológica asociada a sitios arqueológicos de Santo Domingo de Heredia	184
Tabla 4-7 Inmuebles declarados Patrimonio Histórico Arquitectónico en el cantón de Santo Domingo	197
Tabla 4-8. Limitaciones y potencialidades técnicas del IFA antropoaptitud- uso del suelo Antrópico.	202
Tabla 4-9. Tipologías del paisaje identificadas en el cantón	212
Tabla 4-10. Métodos de valoración de la calidad visual	213
Tabla 4-11. Resultados de la ponderación de tipologías de paisaje	214
Tabla 4-12. Limitaciones y potencialidades técnicas del IFA antropoaptitud- paisajismo	214
Tabla 4-12. Categorías de reclasificación de la sumatoria para el cálculo del IFA antropoaptitud	218
Tabla 4-13. Limitaciones y potencialidades técnicas para el IFA antropoaptitud	218
Tabla 5-1. Categorías de IFA integrado	220
Tabla 5-2. Limitaciones y potencialidades técnicas para el IFA Integrado	221

Índice de Figuras

Figura 1-1. Secuencia de rocas de la Fm. Tiribí, en superficie se encuentra una capa de suelo de 1 metro, luego una capa de 10 mts de ignimbrita soldada, posteriormente se observa una capa de unos 15 metros de ignimbritas fracturadas. Coordenadas Crtm05 1102189 N / 490539 E.	11
Figura 1-2. Ignimbrita Soldada fracturada de la formación Tiribí. Coordenadas Crtm05 1102189 N / 490539 E.	11
Figura 1-3. Depósito asociado a la Fm. Barva. Localizada en las coordenadas crtm05 1106036 N / 494912 E	13
Figura 1-4. Depósitos Aluviales en cauce río Virilla. Coordenadas Crtm05 1104960 N / 496353 E.	14
Figura 1-5. Perfil geológico A-B para el cantón de Santo Domingo.	16
Figura 1-6. Perfil geológico C-D para el cantón de Santo Domingo	17
Figura 1-7. Vista de la topografía plana generada por efectos de la depositación de flujos ignimbriticos sobre el cantón de Santo Domingo. Coordenadas Crtm05 1104960 N / 496353 E....	21
Figura 1-8. Vista desde la zona de alta pendiente localizada al este del cantón.	23
Figura 1-9. Laderas Denudacionales de Moderada pendiente cercanas al cauce del Río Virilla. ...	25
Figura 1-10. Vista desde el Puente sobre el río Virilla, sector cercano al límite con la Uruca coordenadas Crtm05 1101484 N /487949 E.....	27
Figura 1-11. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del factor geodinámica externa.....	51
Figura 1-12. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del factor hidrogeológico.	65
Figura 1-13. Ubicación de perfiles hidrogeológicos	68
Figura 1-14. Perfiles hidrogeológicos.....	68
Figura 1-15. Resumen de los índices de la metodología GOD. Modificado de (Foster et al., 2002).	72
Figura 1-16. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del factor estabilidad de ladera o deslizamientos.....	83
Figura 1-17. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del factor amenazas naturales.....	90
Figura 2-1. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del IFA bioaptitud.	114
Figura 2-2. Charrales con árboles pioneros en altas pendientes o zonas de protección en ríos... ..	118
Figura 2-3. Algunos sectores con remanentes de bosque secundario.....	120
Figura 2-4. Zonas de cultivos en el cantón Santo Domingo, café, tomate, cebolla, pastos.	121
Figura 3-1. Porcentaje de área de estudio según fragilidad ambiental por el factor de Categorías de uso potencial de la Tierra. Santo Domingo.	134
Figura 3-2. Paisajes de los suelos muestreados en los puntos 1 y 2, Santo Domingo de Heredia.	136
Figura 3-3. Paisajes de los suelos muestreados en los puntos 3 y 4, Santo Domingo de Heredia.	136
Figura 3-4. Paisajes de los suelos muestreados en los puntos 5 y 6, Santo Domingo de Heredia.	137
Figura 3-5. Paisajes de los suelos muestreados en el punto 7, Santo Domingo de Heredia.....	137
Figura 4-1. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del IFA antropaptitud.....	147
Figura 4-2. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del IFA antropaptitud uso del suelo	201
Figura 5-1. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del IFA integrado.....	220



Índice de Mapas

Mapa 1.1-1 Geología del cantón de Santo Domingo	41
Mapa 1.1-2 Geomorfología del cantón de Santo Domingo.....	42
Mapa 1.1-3 Dureza.....	43
Mapa 1.1-4 Grado de cohesión.....	44
Mapa 1.1-5 Factor de lineación.....	45
Mapa 1.1-6 Grado de meteorización.....	46
Mapa 1.1-7 Espesor de la capa de suelo.....	47
Mapa 1.1-8 Contenido de arcilla	48
Mapa 1.1-9 Permeabilidad	49
Mapa 1.1-10 Factor litopetrofísico integrado.....	50
Mapa 1.2-1 Pendientes en el cantón de Santo Domingo	58
Mapa 1.2-2 Relieve relativo en el cantón de Santo Domingo.....	59
Mapa 1.2-3 Densidad de drenaje.....	60
Mapa 1.2-4 Erosión	61
Mapa 1.2-5 Sedimentación	62
Mapa 1.2-6 Factor geodinámica externa integrado	63
Mapa 1.3-1 Hidrogeología del cantón de Santo Domingo	75
Mapa 1.3-2 Índice del perfil hidrogeológico	76
Mapa 1.3-3 Potencial de infiltración	77
Mapa 1.3-4 Precipitación.....	78
Mapa 1.3-5 Índice GOD	79
Mapa 1.3-6 Factor hidrogeológico integrado	80
Mapa 1.4-1 IFA tres meses más lluviosos	87
Mapa 1.4-2 Dirección de talud	88
Mapa 1.4-3 Factor estabilidad de laderas o deslizamientos integrado.....	89
Mapa 1.5-1 Sismicidad regional.....	102
Mapa 1.5-2 Sismicidad local	103
Mapa 1.5-3 Fallas activas	104
Mapa 1.5-4 Amenaza volcánica	105
Mapa 1.5-5 Inundaciones.....	106
Mapa 1.5-6 Potencial de licuefacción	107
Mapa 1.5-7 Tsunami	108
Mapa 1.5-8 Factor amenazas naturales integrado	109
Mapa 1.5-9 Amenazas Naturales CNE	110
Mapa 1.6-1 IFA Geoaptitud Integrado.....	113
Mapa 2.1. Biotopos sensibles	124
Mapa 2.2. Cuerpos de agua.....	125
Mapa 2.3. Zonas de vida.....	126
Mapa 2.4. Categorías de manejo.....	127
Mapa 2.5. Tipo de Cobertura biótica	128
Mapa 2.6 IFA Corredores Biológicos	129
Mapa 2.7 Bioaptitud Integrada	130
Mapa 3.1 Tipo de Suelo	144
Mapa 3.2 Capacidad de Uso del Suelo.....	145
Mapa 3.3 IFA Edafoaptitud.....	146
Mapa 4.1 Áreas de Desarrollo Futuro	203
Mapa 4.2 Red vial	204
Mapa 4.3 Áreas silvestres protegidas	205
Mapa 4.4 Uso del suelo antrópico.....	206
Mapa 4.5. Patrimonio arquitectónico y sitios arqueológicos	207
Mapa 4.6. IFA Uso antrópico.....	208
Mapa 4.6 IFA Paisajismo	217
Mapa 4.7 IFA Antropoaptitud Integrado	219



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



Mapa 5.1 IFA integrado 222

Introducción

El deber de valorar el aspecto ambiental en el proceso de elaboración de un plan regulador es fundamental para garantizar el desarrollo de los cantones en armonía con el ambiente. Ante esta premisa, y como consecuencia de un mandato de la Sala Constitucional, la integración de la variable ambiental en los planes reguladores se materializó mediante el Decreto N°32967, Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (Manual de EIA)-Parte III; en el que se establece el concepto, metodología y aplicación de los Índices de Fragilidad Ambiental.

El Decreto N°32967 establece además el procedimiento técnico a seguir para que una propuesta de planificación territorial adquiera la viabilidad ambiental y, una vez obtenida la aprobación por parte de SETENA (ente con competencia legal para emitirla), pueda continuar con los trámites correspondientes ante el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU) y el Concejo Municipal respectivo, para que pueda entrar en vigencia.

Con el fin de cumplir con la normativa indicada, el estudio para obtener la viabilidad ambiental se compone de los siguientes tres elementos:

- Índices de Fragilidad Ambiental (IFA): diagnóstico de la condición ambiental de la zona regulada a partir del cual se genera un mapa de fragilidad ambiental.
- Análisis de Alcances Ambientales (AAA): contraste del diagnóstico ambiental con la propuesta de plan regulador.
- Reglamento de Desarrollo Sostenible (RDS): medidas presentes en los reglamentos del plan regulador para evitar o minimizar los efectos negativos que puedan tener los desarrollos en zonas ambientalmente frágiles, los cuales están altamente restringidos.

Estos documentos se confeccionan en diferentes etapas del procedimiento de elaboración del plan regulador, siendo que los IFA se elaboran en paralelo a los primeros elementos del Plan Regulador, o sea, diagnóstico y propuestas. Posteriormente, los resultados del IFA se integran en los distintos reglamentos del plan regulador, principalmente en los considerandos, en donde se hace mención expresa a los criterios ambientales utilizados, los cuales se ven reflejados en el articulado.

El Análisis de Alcances Ambientales y el Reglamento de Desarrollo Sostenible se elaboran una vez que la Municipalidad ha aceptado preliminarmente la propuesta de zonificación del plan regulador, la cual ya integró los criterios ambientales del IFA. Debido a esta integración es que no se elabora un Reglamento de Desarrollo Sostenible con normativa adicional en materia ambiental, sino que en un solo documento se sintetizan los criterios ambientales que fueron incorporados en los diferentes reglamentos del plan.



Con esta introducción general al estudio de incorporación de la variable ambiental en el Plan Regulador del cantón de Santo Domingo, se procede a realizar ciertas aclaraciones preliminares propiamente del IFA y el contexto jurídico de este estudio.

La metodología IFA permite conocer a grandes rasgos las condiciones ambientales de una zona, integrando los factores de: geaptitud, que incluye rasgos geológicos, geotécnicos, de estabilidad de taludes, hidrogeológicos, geodinámicos externos y de susceptibilidad a amenazas naturales; bioaptitud, que incorpora información de la biología de la zona como cobertura, áreas protegidas, potenciales corredores biológicos, biotopos y zonas de vida; edafoaptitud, que se refiere al uso de suelo y capacidad de uso agrícola; y antroaptitud, que contempla aspectos de uso del suelo, sitios de interés cultural, áreas de desarrollo futuro y paisaje.

Todos estos factores se clasifican en una escala de 1 a 5, donde 1 es un valor de IFA muy alto y 5 es un valor muy bajo. El valor de IFA muy alto implica una mayor cantidad de limitantes técnicas. Las limitantes técnicas serán esos aspectos que afecten la fragilidad de un lugar, por ejemplo, los deslizamientos, amenazas naturales, áreas protegidas, aptitud para uso agrícola, patrimonio, calidad paisajística, entre otros.

Para cada factor se suman los indicadores y parámetros como corresponde según la metodología que se detalla más adelante, en donde el resultado se promedia de acuerdo con el número de subfactores o variables que se utilicen.

Sobre la metodología y el proceso de cálculo

Conceptualmente, el IFA corresponde a un método de cálculo sumativo, donde diversas variables son evaluadas como capas de información geográfica y clasificadas según los rangos señalados en el Decreto N°32967 (5 categorías con valoración entre 1 y 5, de muy alto a muy bajo respectivamente). El cálculo o creación de cada capa de información que conforma la variable se desprende del contenido del Decreto.

Así, la metodología IFA como tal refiere a la concepción de la fragilidad y la aptitud, y a su determinación a través de cuatro ejes fundamentales que reúnen variables consideradas pertinentes para la realidad nacional, el desarrollo sostenible y la protección ambiental. De manera general, se puede observar que entre más pequeña sea la valoración (numérica) menor es la aptitud para usos humanos y, por lo tanto, mayor es la fragilidad ambiental potencial.

Las variables son posteriormente asociadas a través de sumas y reclasificaciones alrededor de ejes o factores. Así, el IFA integrado, se calcula mediante la suma y reclasificación de cuatro ejes, llamados aptitudes, que son: geoaptitud, bioaptitud, edafoaptitud y antropoaptitud. Particularmente, el IFA geoaptitud se subdivide en cinco factores, a saber: litopetrofísico, geodinámico externo, hidrogeología, amenazas naturales y deslizamiento o estabilidad de laderas.

Considerando las tecnologías actuales, la información espacial para el cálculo de las variables y su posterior agrupación se realiza utilizando sistema un sistema de información geográfica (SIG), el cual permite representar información específica sujeta a una posición geográfica. Esta herramienta es imprescindible en la planificación territorial, en cuanto a las posibilidades de estudiar las interacciones producto de su posición espacial relativa. Al almacenar las capas de información de manera digital es necesario definir un formato de archivo para su almacenamiento y posterior cálculo, lo cual se hizo con base en las ventajas y desventajas que presentan los diferentes formatos de archivos que se pueden usar en los SIG.

Una vez realizado el cálculo de cada variable, el valor de cada factor o eje es calculado a través de la suma de las variables que lo componen y, posteriormente, se realiza una reclasificación con base en las cinco categorías numéricas (1-muy alto a 5-muy bajo). La cantidad de variables por factor varía de uno a otro.

Cada vez que un conjunto de variables es agrupado bajo un factor o eje, la metodología señala que se debe realizar una sumatoria y reclasificar el resultado con base en las cinco categorías numéricas (1- muy alto a 5- muy bajo), de tal manera que, bajo una agrupación, cada variable que lo compone posee el mismo peso relativo. Este proceso de suma y reclasificación debe hacerse tanto al agrupar variables para calcular un factor o eje, e inclusive, al calcular el eje de geoaptitud que es el que se encuentra separado por factores, y de igual manera al agrupar los cuatro ejes para formar el IFA integrado. Así, si en una agrupación se reúnen cinco variables, el valor máximo que podría obtenerse es 25 en caso de que todas las variables coincidan con un valor de 5 y un valor mínimo de 5 si

todas las variables tienen un valor de 1. Este rango debe dividirse en cinco rangos aproximadamente equitativos. La reclasificación de cada IFA integrado se muestra en los apartados correspondientes.

De manera complementaria, en varios de los ejes que componen el IFA se solicita incluir mapas de referencia o información contextual que no son convertidos a variables de cálculo, por lo que estos mapas e información, pese a que se incorporan, no son considerados en las sumatorias realizadas. Ante lo anterior, resulta conveniente indicar los tipos de capas contenidos en el informe:

- De referencia: son aquellas que sirven para entender el entorno, como ríos, vías o poblados.
- Variables contextuales IFA: son aquellas capas exigidas por el Decreto pero que no se valoran para efectos del cálculo del IFA.
- Variables IFA: son aquellas capas exigidas por el Decreto que contienen la información que se requiere para el cálculo del IFA.
- Otras variables: son las variables que el profesional responsable agrega, en aplicación de lo establecido en el apartado 2.2.3 del Decreto.

De acuerdo con el Decreto, el IFA integrado proporciona de manera preliminar zonas y la fragilidad intrínseca que tendría cada una de esas zonas. Entonces, una zona con un IFA integrado de categoría muy alto tendría un valor de 1 y, por tanto, será un área ambientalmente muy frágil, mientras que una zona con un IFA integrado categorizado como muy bajo, tendrá un valor de 5 y, por tanto, sería ambientalmente menos frágil. Siguiendo esta lógica, los sitios más frágiles serán aquellos que presenten condiciones como susceptibilidad a deslizamientos o inundaciones, áreas protegidas y también áreas frágiles desde el punto de vista antrópico, como zonas de alto valor paisajístico y patrimonial.

El IFA integrado puede ser interpretado como una zonificación ambiental preliminar en la medida en que representa los focos de concentración de elementos y situaciones críticas; así, la norma responde a la necesidad de garantizar la integración de la variable ambiental en el ordenamiento territorial, al dotar el proceso de formulación del plan regulador de un boceto de la situación ambiental del cantón. Sin embargo, este resultado no debe sustituir la integración y el análisis de las variables limitantes, ni la integración de otra información que permita analizar con mayor detalle las condiciones ambientales y socioeconómicas del cantón.

La implementación de la metodología IFA fue paralela a la elaboración de los documentos de diagnóstico y propuestas del plan regulador, así, los tres documentos que componen la variable ambiental fueron alimentados con las mismas bases de datos y complementados con el mayor detalle posible para profundizar su estudio.

Sobre los documentos que componen el estudio de incorporación de la variable ambiental

En este documento se incluyen una serie de mapas, referentes a las diferentes capas determinantes, así como información base o referencias sobre el cálculo del IFA, según lo estipulado en el Decreto. Adicionalmente, se incluyen algunos mapas que a juicio del equipo técnico son útiles para ampliar la comprensión de la realidad ambiental de la zona de estudio.

Los mapas se adecuan a los requisitos propios de este análisis, sin embargo, en ocasiones, por alguna condición especial, se realizan algunos ajustes de presentación. En la medida de lo posible todos los mapas están en la misma escala y ubicados en el mismo espacio geográfico (escala-extensión visible), configurados para papel tamaño carta.

Para todos los casos se recurrió a la información geográfica oficial fidedigna y más precisa disponible; priorizando, según la temática, la escala, la actualidad, la precisión y la exactitud de la información. En cada sección, se procura detallar la escala y fuente de la información usada. Es pertinente recordar que algunas de las capas de información que se solicitan, tanto de cálculo como referencia, son altamente dinámicas, lo cual aumenta la posibilidad de que se presenten cambios al momento de revisar este informe respecto del momento en que fueron recabadas las bases de datos para crear las capas de información.

Si bien las capas de información base poseen escalas específicas en la mayor parte de los casos, en el proceso de clasificar esas bases y convertirlas a variables espaciales, así como al agrupar variables que estén en diferentes escalas, es complejo determinar la escala a la que estaría el resultado final, tanto de la clasificación como de la agrupación.

Por otra parte, todos los mapas poseen información base de referencia que facilita la lectura, a saber: vialidad de la red nacional, puntos de referencia, ríos y la vía férrea. No se colocan todas las vías cantonales ni poblados, para no recargar los mapas de información que dificulte su lectura. También se indican las coordenadas en la proyección Costa Rica Transversal Mercator 2005 (CRTM 05). La escala de trabajo de todas las capas es 1:10 000 aunque los mapas se presenten en escalas diferentes en este documento por facilidad de presentación.

El documento a continuación se divide en subtítulos diferenciados por una numeración. Las tablas y figuras indican con el primer número el título al que pertenecen, reinician numeración al cambiar de título, mientras el segundo número es el consecutivo de la tabla o la figura dentro del título.

Es importante señalar que este es un documento técnico, por lo cual, tanto los mapas como las tablas que contienen los resultados, poseen una justificación técnica y las explicaciones necesarias para su interpretación dentro del cuerpo del documento.

También, se debe tomar en cuenta que el informe de Índices de Fragilidad Ambiental es complementado por el informe de Análisis de Alcances Ambientales y el Diagnóstico.

El procedimiento de cálculo de los índices y sus factores se resumen en diagramas de flujo. El diagrama se establece en etapas que se leen de arriba hacia abajo; cada etapa refiere a uno de los siguientes subprocesos en la preparación y cálculo de los IFA y sus factores:

- Información contextual
- Base de cálculo
- Asignación de valor en escala IFA
- Resultado

Cada una de estas etapas se muestra como una fila en los diagramas de flujo. Algunos IFA o factores pueden carecer de alguno de los subprocesos mencionados. Esta situación se ve reflejada en el diagrama respectivo, al faltar alguna de las etapas en la representación gráfica. De cada etapa se despliegan las variables, procesos, datos o consideraciones a seguir para llegar hasta el cálculo del resultado final del IFA o del factor.

La lectura y seguimiento de los diagramas debe realizarse de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, donde el color de la casilla facilita la lectura del gráfico. Además, la forma geométrica de la casilla es un indicativo del tipo de información escrita en ella.

- Fuentes de consulta, origen de datos o consideraciones: 
- Proceso o cálculo por hacer: 
- Título de variable o proceso: 
- Resultado final: 

El Decreto solicita que para cada uno de los valores IFA resultantes obtenidos se incluya un listado de las incertidumbres técnicas y un listado de las limitaciones y potencialidades, sin embargo, como se mencionó anteriormente, algunos ejes IFA incluyen variables tan diversas, disímiles e inclusive en ocasiones antagónicas, que realizar un listado de incertidumbres, limitaciones y potencialidades se vuelve una tarea confusa. Es por todo esto y con el fin de mejorar la atención al comportamiento de las variables y las limitaciones propias de cada una, que se realiza el ejercicio de separar las incertidumbres, limitaciones y potencialidades tanto como sea necesario para procurar que las mismas sean consistentes.

Con respecto a lo anterior, se toman como incertidumbres técnicas aquellas condiciones propias de cada componente, factor o variable que reducen su precisión o restringen su campo de acción; por otro lado, las limitaciones y potencialidades se plantean desde la perspectiva del potencial de uso urbano.



1. IFA Geoaptitud

El presente estudio tiene como fin cumplir con los requerimientos establecidos en el Decreto N°32967 para la evaluación del factor litopetrofísico de la metodología IFA geoaptitud correspondiente con el cantón de Santo Domingo.

A continuación, se presentan los informes transcritos elaborados por el geólogo José Daniel López. La transcripción de los informes obedece a una necesidad de adaptarlo al formato del resto del documento.

1.1. Factor litopetrofísico

1.1.1. Geología del cantón de Santo Domingo

Geólogo José Daniel López

Introducción

Para el apartado de la geología del cantón de Santo Domingo, se realizó una investigación bibliográfica de la información geológica y estructural del área de estudio.

Se efectuó la integración de los datos recopilados de fuentes bibliográficas, así como el estudio, e interpretación de unidades litológicas por medio de visitas de campo.

El levantamiento de campo comprendió el reconocimiento e interpretación genética de rocas (muestreo, reconocimiento macroscópico, elaboración de perfiles), relaciones espaciales de las rocas, estratos, el reconocimiento e interpretación estructural (fallamiento y diaclasamiento) y formas geomorfológicas.

Para el apartado de formas estructurales: Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva, con el fin de identificar estructuras neotectónicas que fueron digitalizadas en un sistema de información geográfica, a manera de base para el trabajo posterior.

Posteriormente, se realizó el análisis de los datos recopilados, correlación estratigráfica e interpretación, para generar así un mapa de toda el área con sus correspondientes descripciones, las cuales se detallan a continuación.

Contexto geológico y tectónico del cantón de Santo Domingo

El área de estudio se encuentra conformada por rocas de origen ígneo de edades entre los 750 ka a 2 ka; entre los diversos materiales litológicos que se pueden encontrar se encuentran coladas de lava, ignimbritas, tobas y piroclastos.

Entre los principales autores de carácter regional que han reconocido la geología e hidrogeología en la que se encuentra enmarcada el cantón de Santo Domingo de Heredia encontramos a Fernández (1969), quien realiza un levantamiento de los principales manantiales del norte del Valle Central, diferenciando los depósitos geológicos en los que estos se originan de acuerdo a sus características hidráulicas y su potencial acuífero. Por



otra parte, Echandi (1981) describe formalmente estos depósitos, su funcionamiento y potencial como unidades acuíferas. En la misma década en el marco cooperación BGSSENARA (1985) generan el Mapa Hidrogeológico del Valle Central que promueve inicialmente el reconocimiento de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos del área norte del Valle Central incluido el cantón de Santo Domingo de Heredia.

Ramos (2001) analiza la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos subyacentes en una parte de la microcuenca río Pará utilizando el método DRASTIC y por último Vargas (2006) trabaja en la microcuenca del río Pará, donde realiza una evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico para el cantón de Santo Domingo de Heredia.

Geología Local

A continuación se presentan las características generales de la geología dominante en el cantón de Santo Domingo, las unidades se describirán en orden estratigráfico de la más antigua a la más reciente, su distribución se puede apreciar en el mapa geológico del cantón.

La zona de estudio se ubica en la Cordillera Volcánica Central, propiamente en las faldas de los cerros Zurquí. Según la volcanoestratigrafía) los paquetes lávicos producto de la actividad volcánica de esta región transcurren en un período de 0,750 Ma., en donde transcurren importantes eventos ignimbríticos y períodos prolongados de calma volcánica.

Esta historia eruptiva puede ser diferenciada en 2 etapas denominadas:

- Fase de Paleo-Cordillera (0,570 – 0,400 Ma.), conformada por: la ignimbrita interlávica Puente de Mulas, el miembro superior de la formación Colima, y la ignimbrita Tiribí.
- La actual cordillera (Neo-Cordillera) inicia su desarrollo a partir de 0,270 Ma., y corresponde con todos los depósitos posteriores a la formación Tiribí incluidos dentro de la formación Barva (Alvarado & Gans, 2012).

Formación Colima

Williams (1952) las denominó Lavas Intracañón, Fernández (1969) las redefine bajo el nombre de formación Colima. Así se han denominado a las lavas emitidas por los volcanes Barva y Poás las cuales es posible que hayan sido extruidas desde fisuras, las cuales según Kussmaul (1988) presentan una dirección preferencial NE-SW hasta E-W, paralelas al frente de cordillera (Arredondo & Soto, 2006).

Fernández (1969) indica que cronológicamente son las primeras lavas provenientes de la Cordillera Central, las cuales se extendieron por los fondos topográficos existentes, con una dirección de flujo suroeste. Por otra parte Echandi (1981) indica que representan el inicio de una nueva fase de vulcanismo de la Cordillera Central, y su extensión es en forma de mantos en todo el Valle Central. En su mayoría se encuentran aflorando en los cauces profundos de los ríos Tibás, Virilla y Torres (Williams, 1952).



Composicionalmente son lavas andesíticas piroxénicas, donde en algunas secciones existe transiciones composicionales a basalto (Fernández, 1969). Presentan lentes y capas de ceniza, aunque su principal interrupción es un manto de ignimbritas (Puente de Mulas) de espesor considerable (Echandi, 1981).

De acuerdo a sus características hidrogeológicas la formación Colima ha sido subdivida en tres miembros por Echandi, (1981).

- Miembro Belén ó Colima Inferior
- Miembro Puente de Mulas
- Miembro Linda Vista ó Colima Superior

El miembro Belén o Colima Inferior es una secuencia de lavas andesitas piroxénicas transicionales a basalto, separadas por capas, lentes de tobas y cenizas, en algunos sitios arcillificadas. Sus afloramientos son limitados, aunque su distribución es comprobada en todo el Valle Central por medio de perforaciones.

Por otra parte el miembro Puente de Mulas corresponde con una secuencia de ignimbritas limitada en su parte superior e inferior por lavas de los Miembros Belén y Linda Vista, Alvarado & Gans (2012) de acuerdo con dataciones realizadas deciden separar este miembro de la Formación Colima debido que tiene un origen vulcanológico distinto.

La distribución de la unidad fue controlada por los cauces preexistentes, hacia sus partes laterales los materiales depositados son de carácter tobáceo, muy cargados de fragmentos líticos de tamaños variados, lapilli y cenizas negras vidriosas (Echandi, 1981). El origen de esta secuencia es desconocido (Arredondo & Soto, 2006).

El miembro Linda Vista o Colima superior es una secuencia de lavas que se depositó tanto sobre la unidad Colima Inferior como sobre Puente de Mulas. Son coladas brechosas en superficie y se tornan densas hacia la base. Composicionalmente son lavas andesítico basálticas porfiríticas, con augita y olivino. Su extensión es amplia hacia el este del Valle Central, según Echandi (1981) se estima un espesor de la secuencia en 270 metros. Con espesor visible entre 5 y 40 metros (Fernández, 1969).

En el área de estudio la Formación Colima (Lavas Intracañón) únicamente es posible observarla en afloramientos puntuales y de difícil acceso a lo largo del Río Virilla, como lo es el ubicado en las coordenadas Crtm05 483 183 E /1 102 095 N, en donde se observa una colada de lavas masivas de tipo blocosa de coloración gris en estado sano y una pátina café claro.

La litología que sobreyace esta formación se encuentra asociado por lo general un banco de ignimbritas (Formación Tiribí), aunque en algunas zonas limita directamente con la formación Barva (Fernández, 1969).

Dataciones realizadas en la base de Colima por Alvarado & Gans (2012) indican una edad entre 750 000 años a 590 000 años para dicha formación.

Fm. Tiribí

Posterior a los depósitos lávicos de la formación Colima, con tiempo suficiente para generar el desarrollo de suelos, el Valle Central experimentó una actividad bastante intensa, con el depósito de materiales piroclásticos, avalanchas ardientes y otros flujos de fragmentos (Echandi, 1981).

Fernández, (1969) reconoce que por su naturaleza presentan un carácter fragmentario, con una variación litológica extrema en poca distancia. Con base a esto las subdivide en dos miembros; miembro La Caja y miembro Nuestro Amo. Donde en el primero quedan incluidos todos aquellos depósitos de ignimbritas poco soldadas o poco compactas, de carácter masivo, matriz ceniciento-arenosa, rica en componentes porosos. El miembro Nuestro Amo diferencia las masas de avalanchas frías o tobas Caóticas. Se caracterizan por ser una toba con fragmentos (lavas, escorias negras) de tamaño variado, incluidos en una matriz tufácea, lapillica, densa y masiva.

Echandi (1981) subdivide la secuencia en 3 unidades. El miembro Nuestro Amo, constituido por depósitos de lodos ardientes; Miembro La Caja que corresponde con tobas poco soldadas y el miembro Electriona que abarca las ignimbritas soldadas.

Se extienden por todo el Valle Central, debido al carácter fragmentario presentan variaciones litológicas importantes en poca distancia (Fernández, 1969). Williams (1950) sugiere que estos depósitos se expandieron entre 160 – 200 Km², con espesores variables entre 6 a 100 metros. Pérez (2000) establece la posibilidad que el origen de esta secuencia sea en una caldera en la cima del volcán Barva y agrupa los miembros definidos por Echandi (1981) en una misma Formación.

En el área de estudio se pueden observar afloramientos principalmente a lo largo del Río Bermúdez, la roca se muestra como una ignimbrita con bloques de origen ígneo centimétricos envueltos en una matriz soldada junto a fragmentos de obsidiana (Ver figura 2).

En cuanto a la de dicha formación, pruebas con ⁴⁰Ar/³⁹Ar realizadas por Pérez et al. (2006) indican un rango entre 322 000 a 2000 años.



Figura 1-1. Secuencia de rocas de la Fm. Tiribí, en superficie se encuentra una capa de suelo de 1 metro, luego una capa de 10 mts de ignimbrita soldada, posteriormente se observa una capa de unos 15 metros de ignimbritas fracturadas. Coordenadas Crtm05 1102189 N / 490539 E.



Figura 1-2. Ignimbrita Soldada fracturada de la formación Tiribí. Coordenadas Crtm05 1102189 N / 490539 E.



Fm. Barva

Corresponde con todos los materiales que se puedan considerar como pertenecientes a las últimas actividades lávicas provenientes del macizo del Barva (Fernández, 1969). Está conformada por coladas de lavas, y de manera subordinada los piro y epiclastos rellenan valles y se encuentran en medio de los campos de coladas. Estos materiales se extienden hacia el sur y suroeste hasta alcanzar los cerros Turrúcares y el valle del río Grande. Estas últimas actividades del Barva son denominadas Neo – Barva y sobreyacen la Formación Tiribí, de edad 322 ka y al Paleo – Barva, conformado por rocas andesíticas de edad 330 – 800 ka y lateralmente correlacionadas con la Formación Colima (Soto & Arredondo, 2007).

En sentido general y petrográfico, Fernández (1969) clasifica las lavas de la Formación Barva como andesitas basálticas muy ricas en olivino y con augita, aunque no diferencia las diversas corrientes de lava.

Estas coladas se distribuyen desde la parte baja del valle, en San Isidro de Heredia (Este), hasta la ciudad de Alajuela (Oeste), y los centros de emisión corresponden con el macizo Barva y otros centros de emisión localizados al sureste (Echandi, 1981). Las lavas más recientes depositadas en el valle central pueden provenir de los cerros ubicados hacia el noreste (cerros Chompipe, Delicias, Tibás, Turí, Zurquí y Redondo), donde es difícil la determinación de su espesor debido a la superposición de coladas con características muy semejantes (Echandi, 1981).



**Figura 1-3. Depósito asociado a la Fm. Barva. Localizada en las coordenadas crtm05
1106036 N/ 494912 E**

Depósitos Aluviales Cuaternario.

Pertenecen a esta unidad todos los depósitos recientes asociados a los depósitos por gravedad al pie de monte o coluvios y a aquellos relacionados con procesos aluviales. También aquellos depósitos de materiales arenosos con influencia fluvial. Los depósitos asociados al arrastre por acción fluvial o por gravedad, por lo general,

bloques redondeados a semi-redondeados inmersos en una matriz generalmente arenosa. Los clastos muestran contacto puntual en un 60% con respecto a la matriz. Los afloramientos no superan los 2 metros de espesor visible y por lo general se encuentran cubiertos por capas de suelos cenicientos.



Figura 1-4. Depósitos Aluviales en cauce río Virilla. Coordenadas Crtm05 1104960 N / 496353 E.

Estructuras morfotectónicas

En la región central de Costa Rica se localiza un sistema de fallamiento y plegamiento activo, denominado Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica. Este cinturón representa para Marshall et al., 2000 y para Montero, 2001; el límite oeste entre el bloque de Panamá y la placa Caribe. La Gran Área Metropolitana se encuentra ubicada dentro del Valle Central; un valle intermontano situado entre las Cordilleras de Talamanca y Volcánica Central, el cual está atravesado por ese cinturón de fallas y pliegues de las cuales no se han identificado dentro del cantón de Santo Domingo

A pesar de no poseer fallas cuaternarias localizadas dentro del cantón, Santo Domingo forma parte de la región sísmica de la Cordillera Volcánica Central. Ésta zona sísmica Incluye una serie de fallas distribuidas a lo largo del eje volcánico central de Costa Rica y en diversos sectores del Valle Central, limitando al sur con las estribaciones de la cordillera de Talamanca (Climent et al., 2008).

En el sector este y noreste, se localiza el sistema de falla de Cipreses, con la que se asocia el terremoto de Tres Ríos de febrero de 1912 (Ms 5,0). Otro es el sistema de falla Lara-Río Sucio, que representa una amenaza para poblaciones en el sector oeste y suroeste de las estribaciones del volcán Irazú. El terremoto del 2 de septiembre de 1841, que causó una enorme destrucción entre Cartago y San José, puede estar relacionado



con esta falla. En esta zona ocurrió el terremoto de Patillos del 30 de diciembre de 1952 (Mw 6,3) (Climent et al., 2008).

Otra de las fallas que se ubica en dicho sector, es la Virilla, que ha sido relacionada con el terremoto ocurrido el 22 de diciembre de 1990, Mw 6,0 (Climent et al., 2008)..

La evidencia histórica indica que el sismo máximo ocurrido en esta zona es de 6,5, sin embargo, considerando el tamaño de las fallas activas presentes, podría sugerirse magnitudes esperables cercanas a 6,8 Mw (Climent et al., 2008).

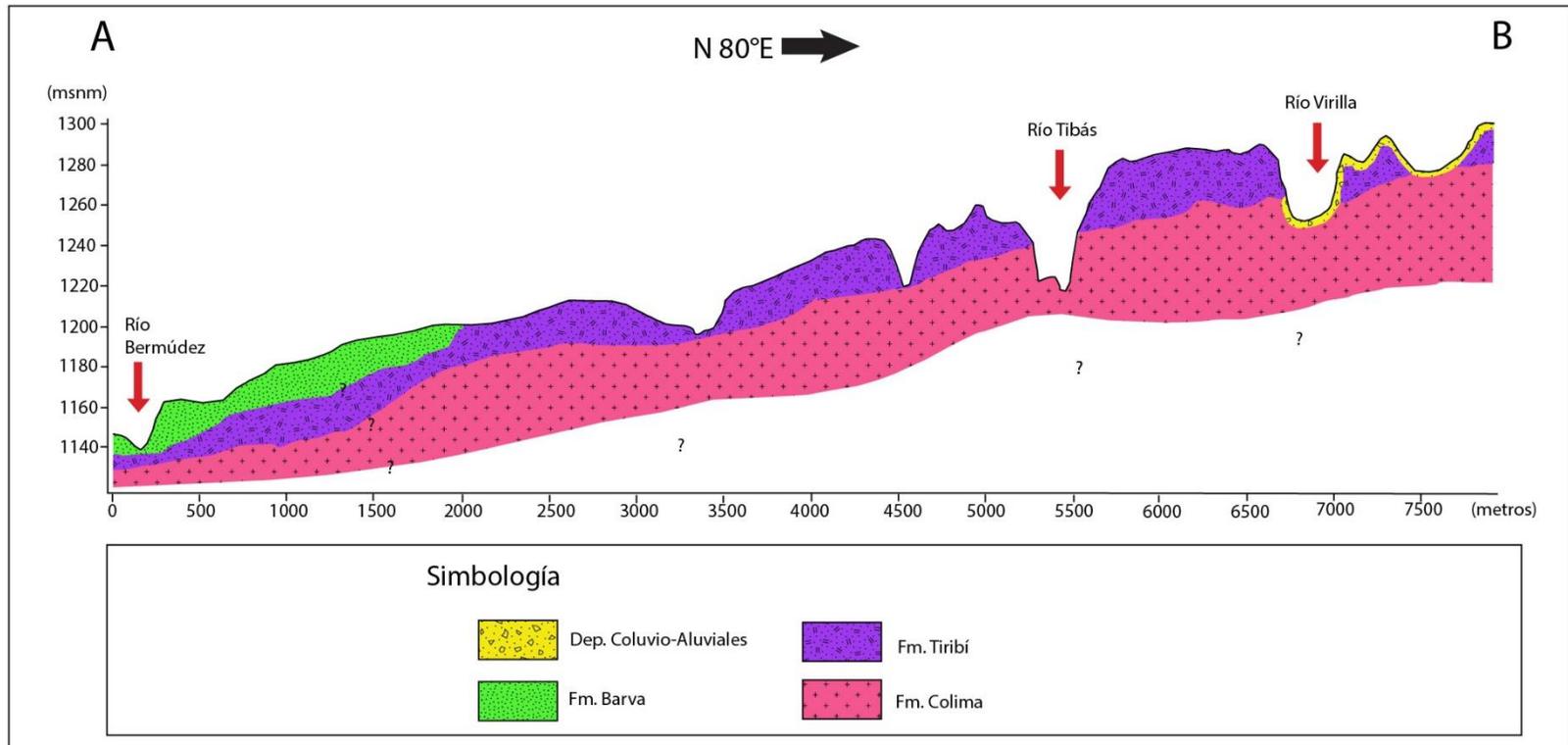


Figura 1-5. Perfil geológico A-B para el cantón de Santo Domingo.

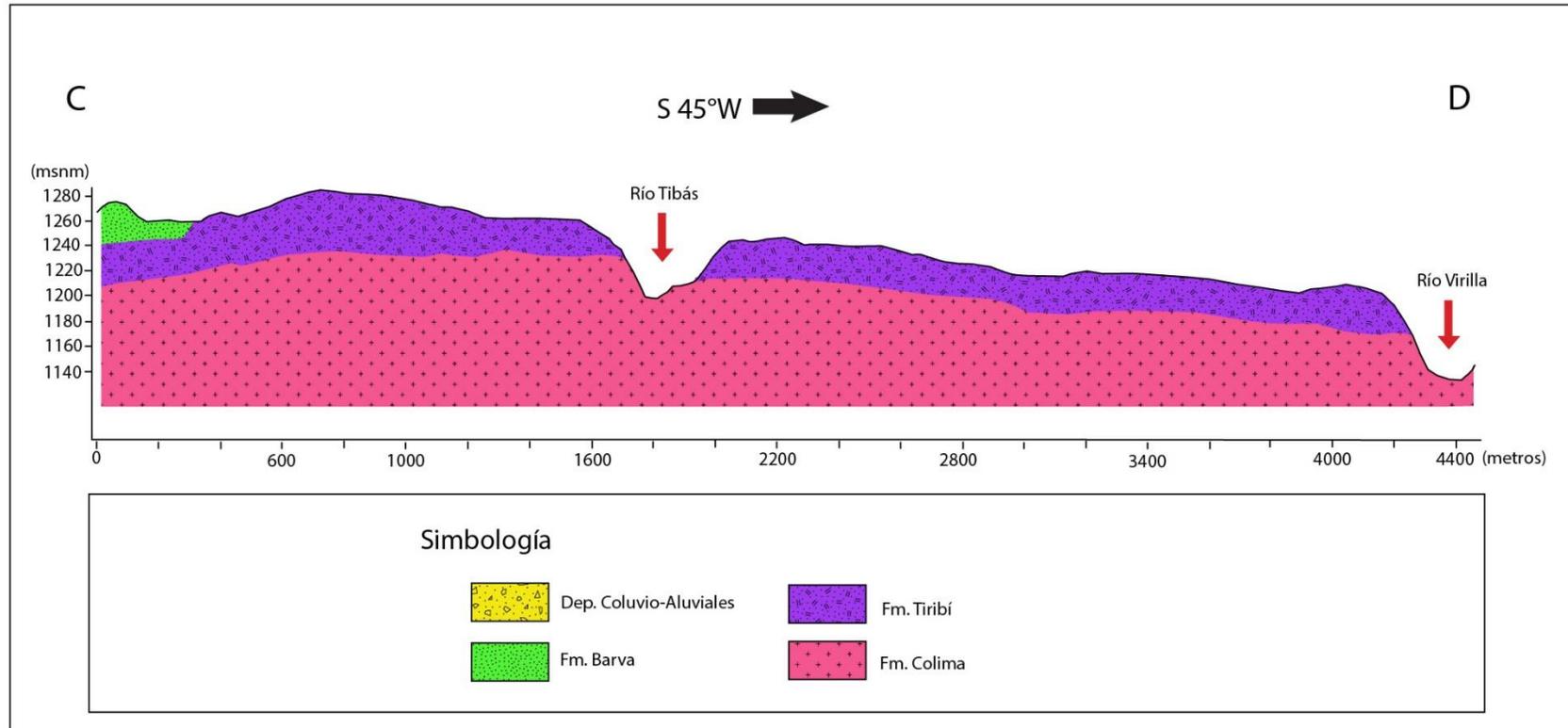


Figura 1-6. Perfil geológico C-D para el cantón de Santo Domingo

1.1.2. Geomorfología del cantón de Santo Domingo

Introducción

El presente informe corresponde a un estudio geomorfológico realizado para el cantón de Santo Domingo, ubicado en la Provincia de Heredia.

La importancia de estudiar los factores geodinámicos es la de conocer las condiciones locales del tipo de suelo en la que se va a construir y con ello a un futuro evitar cualquier tipo de problemas ocasionados por algún tipo de desplome, deslizamientos, derrumbes, etc. Que puede darse por algún corte o relleno mal diseñado o por desconocimiento de algunos aspectos geológicos.

Debido a esto, es una herramienta, sumamente importante a la hora de tomar decisiones en aspectos de planificación urbana y un uso adecuado del suelo.

Metodología

En el ámbito de la geomorfología, el estudio de las formas se ha desarrollado tradicionalmente empleando múltiples herramientas (fotografías aéreas, mapas topográficos y geológicos, campo, etc.) que permiten al especialista captar visualmente la globalidad del fenómeno pero mediante las cuales no siempre es sencillo cuantificar sus características (Pardo & Palomar, 2012).

En la actualidad, la disponibilidad de modelos digitales de elevación (MDE) desarrollados por medio de sistemas de información geográfica (SIGs), permite enfrentar análisis sistemáticos del territorio contemplando sus tres dimensiones, lo que mejora sustancialmente su comprensión geomorfológica (Pardo & Palomar, 2012).

Para determinar la geomorfología de la zona de estudio, se siguieron los siguientes pasos:

Etapas 1: Creación del Mapa Geomorfológico escala 1: 50 000 del cantón de Santo Domingo.

La etapa conlleva una recopilación bibliográfica de toda la información geológica como geomorfológica de la zona de estudio. Posteriormente se realizó la fotointerpretación Geomorfológica por medio trabajo de campo, y modelos de elevación digital así como utilizando el software Google Earth, con el fin de modificar, reagrupar y reclasificar ciertas geoformas, de acuerdo a la interpretación del creador del presente documento.

El procesamiento de datos geográficos, se realizó por medio del sistema de información Geográfica Arcgis 10 y su aplicación para generar modelos de elevación del terreno.

Parte de la clasificación de las morfologías se ha basado en parte en la metodología de I.T.C, de Holanda descrita por Van Zuidan (1986), la cual trata de unificar nombres en descripciones sencillas a las unidades que han sido cartografiadas.

Etapa 2: Giras de Campo.

Se realizó una gira al campo con el fin de corroborar las diferentes unidades geomorfológicas determinadas en la etapa de preliminar de consulta bibliográfica.

Etapa 3 Procesamiento de datos y elaboración de mapa final

Con base en la gira realizada, se termina de delimitar la fotointerpretación geomorfológica, generando un mapa geomorfológico, escala 1:50 000, el cual incluye una descripción de las diferentes unidades encontradas. En dicha descripción se incorpora, la localización de cada una de las unidades, su origen, dimensiones y composición.

Resultados

Mediante la evaluación tanto de modelos de elevación y las visitas al de campo, se realizó un mapa geomorfológico del Cantón de Santo Domingo provincia de Heredia. Al final del presente documento se encuentra el mapa geomorfológico obtenido.

Descripción de unidades geomorfológicas

La geomorfología de la zona, está conformada por tres grandes grupos de geoformas, agrupadas de acuerdo a su origen, estas son: formas de origen Volcánico, formas de origen fluvial y, formas de origen Denudacional, las cuales serán descritas a detalle a continuación; todas las formas descritas se pueden apreciar en el mapa geomorfológico del área de estudio.

- a) Formas de origen Volcánica: Se producen por eventos asociados a una actividad volcánica constante.
- b) Formas de origen denudacional: Se refiere a las formas que deben su origen a la constante acción de factores erosivos como la escorrentía y a la acción fluvial, y pueden llegar a producir movimientos de masas del terreno o bloques rocosos por la acción gravitatoria y/o mal uso del suelo. La principal característica es el alto grado de erosión de las rocas creando una capa de suelo de gran espesor y pendientes muy fuertes.
- c) Formas de origen fluvial: Se deben a la actividad de ríos y afluentes asociados a rellenos y depósitos. Se presentan principalmente en sectores donde hay un flujo continuo de agua.

Formas de origen volcánico

Se dan debido a cualquier manifestación de actividad volcánica, la cual generará la modificación parcial o total del relieve.

La geoforma resultante de la actividad volcánica dependerán del tipo de erupción (explosiva, freática, entre otras), de los productos eruptivos (flujos de lava o material piroclástico) y de la viscosidad del magma, así como del relieve preexistente de la zona afectada. Dichos procesos que generan relieves positivos (p. ej., un cono volcánico), de aquellos otros que generan relieves negativos (p. ej., una caldera) (Rodríguez-Gonzales & Fernández-Turiel, 2015).

También productos como flujos ignimbríticos pueden llegar a modificar un relieve por completo llegando a aplanar un relieve abrupto, ó flujo de lava pueden generar sectores de fuertes pendientes en sectores anteriormente planos. Si a esto se le agrega el componente denudacional generado por las condiciones climáticas y los agentes erosivos asociados, se obtienen una serie de relieves muy diversos

Unidad meseta ignimbrítica

Ubicación: Abarca prácticamente todo el cantón de Santo Domingo salvo una pequeña área en la zona montañosa ubicada al este del mismo. Presenta un área aproximada de 17,97 kilómetros cuadrados, lo que representa el 65,8% del total de la zona estudiada.

Morfografía: Presenta topografía de plana a muy plana con una pendiente la cual ronda valores promedio menores al 6% de inclinación. Presenta depósitos de mayor espesor conformados por capas de ignimbritas y suelos de origen piroclástico de espesor importante. El patrón de drenaje principalmente es de tipo paralelo con quebradas poco desarrolladas las cuales tienen una dirección hacia el suroeste, donde los ríos Virilla y Tibás los principales colectores, y en donde sus cañones tienden a cortar de forma abrupta a la unidad de meseta.

Además, se destaca que sobre esta unidad la presencia de deslizamientos, será limitada a los bordes de cauces de ríos. Debido a estas características en esta unidad se estima una predominancia de los procesos de sedimentación sobre los erosivos.

En lo referente a la relación entre la dirección del talud con las lineaciones y estructuras tectónicas regionales, se ha observado que en la mayoría de sectores la roca presenta un moderado a bajo fracturamiento debido a su origen (capa de ignimbrita) por lo cual no existe una la relación clara, con algún sistema en particular, por lo cual se ha establecido una relación de tipo oblicua.

Tipo de Rocas: Destacan principalmente ignimbritas de la Formación Tiribí. Con la depositación de material piroclásticos sobre ellas, asociado a la Formación Barva.

Morfogénesis: Su origen se relaciona a la actividad volcánica, que permitió la depositación de ignimbritas y otros productos. Posterior a esto, la intensa erosión diferencial y denudación debido a las lluvias de la zona y los agentes geodinámicos externos, han permitido que esta unidad presente la morfología actual

Edad: las rocas más viejas corresponden con Ignimbritas de la Fm. Tiribí cuya edad estimada por Pérez et al. (2006) es de 322 000 años.



Figura 1-7. Vista de la topografía plana generada por efectos de la depositación de flujos ignimbríticos sobre el cantón de Santo Domingo. Coordenadas Crtm05 1104960 N / 496353 E.

Formas de origen denudacional

Estas formas se deben a la actividad volcánica hasta la actualidad. Al ser rocas de origen antiguo este ha sido afectado por los agentes erosivos y tectónicos, generando montañas y colinas de diferente grado de pendiente, así como zonas depositacionales, producto del acarreo y acumulación de los materiales.

Laderas denudacionales de alta pendiente

Ubicación: se localizan en los sectores montañosos que se ubican al este del cantón en las laderas más próximas al macizo volcánico Irazú y en sectores aledaños al cañon del río Virilla. Abarca un área aproximada de 2,06 kilómetros cuadrados, lo que representa el 7,55% del total de la zona estudiada.

Morfografía: Presenta un relieve de moderado a fuerte con laderas de pendiente alta con porcentajes predominantes mayores a 30%. Los fondos de los valles por lo general son angostos en forma de V. Se caracteriza por tener divisorias de aguas alargadas paralelas a los cauces y poco redondeadas.

Esta unidad presenta un patrón de drenaje predominantemente dendrítico hasta paralelo para las quebradas de la zona, indicativo de que la pendiente es su principal dominante.

En sectores relacionados al fondo de los valles la pendiente se torna más baja con valores promedio entre los 15% al 30%, esto genera zonas de sedimentación conformadas principalmente por materiales coluviales.

En sectores cercanos a los cañones de río principalmente del Virilla se pueden presentar, movimientos de reptación, socavamiento y deslizamientos. Esto se debe a que la fuerte pendiente asociada a los factores erosivos, lo que provoca una relación entre procesos de erosión y sedimentación en la cual para esta unidad, sea mayoritariamente favorable a la erosión, mientras que la sedimentación se daría en muy baja proporción siendo destinada a sectores puntuales y de poco espesor.

En lo referente a la relación entre la dirección del talud con las lineaciones y estructuras tectónicas regionales, se ha observado que en la mayoría de sectores la roca presenta un moderado fracturamiento en diferentes dirección, esto es sin ninguna tendencia en particular por lo cual no existe una la relación clara sobre su origen, por lo cual se ha establecido una relación de tipo oblicua.

Tipo de Rocas: Destacan principalmente ignimbritas de la Formación Tiribí. Con la depositación de material piroclásticos sobre ellas, asociado a la Formación Barva.

Morfogénesis: Producto de la actividad volcánica cuateranaria la cual generó relieves positivos (con fuerte influencia de erosión diferencial), que luego con el pasar del tiempo se han ido erosionando debido a factores como son la precipitación, la gravedad y los cambios de uso del suelo.

Edad: las rocas más viejas corresponden con Ignimbritas de la Fm. Tiribí cuya edad estimada por Pérez et al. (2006) es de 322 000 años, además a esto se le adiciona el constante proceso erosivo que recibe ésta unidad hasta el día de hoy.



Figura 1-8. Vista desde la zona de alta pendiente localizada al este del cantón.

Laderas desnudacionales de moderada pendiente

Ubicación: Abarcan principalmente secciones aledañas a los cauces de los ríos Virilla, Tibás y Bermúdez, presenta un área de 2,58 kilómetros cuadrados lo que corresponde con un porcentaje de alrededor del 9,45 % del área estudiada

Morfografía: Presenta topografía medianamente disectada producto del socavamiento de los ríos y quebradas de la zona, conforma pequeñas cuencas cuyo fondo migra de forma de V a una forma de U, las pendientes presentes en esta unidad son moderadas, involucrando inclinaciones entre el 8% al 30%. Las zonas más elevadas presentan el mismo tipo de relieve pero sus formas están más redondeadas.

Esta unidad presenta un patrón de drenaje, que migra del tipo dendrítico al tipo paralelo con rumbo a descargar en los colectores principales de la zona.

En ésta unidad predomina la erosión con tendencia a la profundización de cauces, alternándose con secciones en donde se producen zonas de sedimentación conformadas principalmente por coluvios y terrazas, además, en ciertos sectores se pueden presentar, movimientos de reptación, y socavamiento. Por lo anterior se estima que la relación entre procesos de erosión y sedimentación sea moderada para ambos casos.

En lo referente a la relación entre la dirección del talud con las lineaciones y estructuras tectónicas regionales, se ha observado que en general la roca presenta un moderado fracturamiento pero debido a su antigüedad y a los diferentes esfuerzos tectónicos que ha sufrido a lo largo del tiempo, no existe una la relación clara, con algún sistema en particular, por lo cual se establecido una relación de tipo Oblicua.

Tipo de Rocas: Destacan principalmente ignimbritas de la Formación Tiribí. Con la depositación de material piroclásticos sobre ellas, asociado a la Formación Barva.

Morfogénesis: Esta unidad se diferencia de la Unidad de Laderas Denudacionales de Alta pendiente, en su cambio de pendiente ya que litológica y genéticamente presentan características muy similares, sin embargo de acuerdo a como disminuye la pendiente, los depósitos y el suelo se tienden a presentarse más estables, cambiando también las condiciones de socavamiento de las quebradas de la zona, la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos es menor pero no se puede descartar según el sitio.

Edad: las rocas más viejas corresponden con Ignimbritas de la Fm. Tiribí cuya edad estimada por Pérez et al. (2006) es de 322 000 años, además a esto se le adiciona el constante proceso erosivo que recibe ésta unidad hasta el día de hoy.



Figura 1-9. Laderas Denudacionales de Moderada pendiente cercanas al cauce del Río Virilla.

Formas de origen fluvial

Se deben a la actividad de ríos y afluentes asociados a rellenos y depósitos. Se presentan principalmente en sectores donde hay un flujo continuo de agua. La interpretación de los sistemas fluviales, desde el punto de vista geomorfológico se basa en tres principios. Por un lado, que los sistemas fluviales son dinámicos, los cambios en dicha morfología ocurren en escalas de tiempo relativamente breves debido a la erosión o depositación. Los cambios en los sistemas fluviales son complejos, las respuestas del sistema a cambios en las variables externas pueden ser previstas, pero frecuentemente es imposible predecir en forma precisa su naturaleza. Por último un cambio gradual de una variable externa puede producir un cambio drástico del sistema fluvial, siendo uno de los problemas más críticos determinar las condiciones externas límites que causan modificaciones significativas en el sistema (Niño, 2004).

El objetivo fundamental de la geomorfología fluvial es la explicación de las relaciones entre procesos físicos del flujo en canales de lecho móvil, la mecánica del transporte de sedimentos forzado por el flujo y las formas de los canales aluviales creados por el transporte de sedimentos (Gutiérrez Elorza, 2008).

Cañones Fluviales

Ubicación: Comprende los márgenes de los ríos Virilla, Pará, Tibás y Bermúdez. Abarca un área de 4,56 kilómetros cuadrados, lo que implica un 16,67 % del total del área analizada.

Morfografía: Se caracterizan por poseer cañones de hasta 120 metros de profundidad, con pendientes entre los 45° a mayores de 60°. Su patrón de drenaje es paralelo, con fondos en forma de U, tienden a cortar de forma abrupta a litologías asociadas a las formaciones Tiribí y Colima

La longitud máxima dentro del cantón puede llegar a los 12,2 km y el ancho máximo de hasta los 300 metros. Con respecto a la erosión esta es fuerte tanto en la base como en los márgenes de los cañones por lo que se pueden presentar, movimientos de reptación, socavamiento y deslizamientos producto de la pendiente, lo que provoca una relación entre procesos de erosión y sedimentación en la cual para esta unidad, sea mayoritariamente favorable a la erosión, mientras que la sedimentación se daría en muy baja proporción siendo destinada a sectores puntuales.

En lo referente a la relación entre la dirección del talud con las lineaciones y estructuras tectónicas regionales, se ha observado que en general la roca presenta un moderado fracturamiento pero debido a su antigüedad y a los diferentes esfuerzos tectónicos que ha sufrido a lo largo del tiempo, no existe una relación clara, con algún sistema en particular, por lo cual se establecido una relación de tipo Oblicua.

Tipo de roca: Secuencia volcánica asociada a coladas de lavas e ignimbritas.

Morfogénesis: Producto de la actividad erosiva de los ríos Tibás, Virilla y Bermúdez.

Edad de la forma: Desde los 750 000 años asociados a la Formación Colima hasta el presente.



Figura 1-10. Vista desde el Puente sobre el río Virilla, sector cercano al límite con la Uruca coordenadas Crtm05 1101484 N /487949 E.

Terrazas fluviales

Ubicación: Se encuentran dentro de los cauces del cañón del Río Virilla.

Morfografía: Consiste en formas meándricas con topografías planas o plano onduladas, formadas por sedimentos aluviales y coluvios que en conjunto abarcan 0,10 kilómetros cuadrados, lo que representa el 0,36% de la zona de estudio. Las cuales se encuentran elevadas sobre las márgenes de los cauces del río que las forma.

Sus pendientes son menores al 15%, casi siempre inclinadas hacia la dirección de la corriente y hacia el cauce, su patrón de drenaje es poco desarrollado.

En relación con los procesos de erosión y sedimentación, la baja pendiente que predomina favorece a la erosión de tipo laminar en los bordes siendo ésta de muy bajo impacto, prevaleciendo una muy alta sedimentación.

Con respecto a la relación entre la dirección del talud y las lineaciones de la unidad, al estar la misma compuesta por una serie de depósitos que han sido transportados y depositados en función de la velocidad del agua, el material que los compone no posee lineaciones, por lo cual la relación se encuentra ausente para dicha unidad.

Tipo de roca: Coluvios y aluviones asociados principalmente a depósitos de origen volcánico.

Morfogénesis: El origen de estas formas ocurre a partir de la denudación de rocas volcánicas por los ríos, la cual amplía el ancho de los cauces.

Edad de la forma: Desde los 750 000 años asociados a la Formación Colima hasta el presente.

1.1.3. Cálculo del factor litopetrofísico

El presente estudio tiene como fin cumplir con los requerimientos establecidos por el Decreto N° 32967 del MINAE para la evaluación del factor litopetrofísico de la metodología IFA Geopititud correspondiente al Cantón de Santo Domingo, perteneciente a la provincia de Heredia.

El factor Litopetrofísico incluye una serie de variables referentes a la capacidad mecánica y soportante de las capas superiores del suelo, agrupándolos y delimitándolos espacialmente de manera preliminar en base al mapa geológico.

Para ello se ha tomado como base el mapa geológico y geomorfológico para generar unidades homogéneas y caracterizarlas a través de 7 variables.

Se delimitan unidades litopetrofísicas considerando las variaciones litológicas importantes, las cuales no corresponden necesariamente con los márgenes o límites establecidos cartográficamente de las formaciones o unidades geológicas, ya que, para la valoración de dicho parámetro, lo que se trata de caracterizar son las propiedades físicas del medio rocoso y no la génesis geológica. EL análisis ayudará conocer las condiciones locales del tipo de suelo en la que se va a construir y con ello a un futuro evitar cualquier tipo de problemas ocasionados por algún tipo de desplome, deslizamientos, derrumbes, etc. Cabe mencionar que esta información debe ser abarcada a mayor profundidad en la escala de proyectos o propuestas constructivas que termina siendo en última instancia donde se dan la mayor parte de las medidas correctivas y preventivas sobre una posible afectación a las obras por deficiencia mecánica del material subyacente.

Procedimiento de cálculo

Metodología

La metodología para delimitar el factor Litopetrofísico del cantón estudiado consistió en tres etapas.

La primera etapa consistió en la recopilación de información bibliográfica de diferentes fuentes con el fin de obtener mapas bases tanto geológico como geomorfológico a escala 1: 50 000 del cantón, así como conocimiento de los diferentes esfuerzos y estructuras tectónicas presentes en el área.

Una vez obtenida información de las fuentes bibliográficas, se realizó una gira de campo con el fin de definir y corroborar la distribución espacial de las unidades y tanto geológicas como geomorfológicas encontradas.

De igual manera en que se realizó la corroboración de unidades. Se realizaron una serie de levantamientos en diferentes afloramientos de roca con el fin de obtener los 7 criterios litopetrofísicos demandados por la metodología.

La tercer etapa consistió en la unificación de todo lo recolectado tanto de las fuentes biográficas como en el campo, definiendo así un mapa geológico y un mapa geomorfológico para el área de estudio, así como sus respectivas descripciones.

Una vez generados estos mapas se procedió al proceso de elaboración del criterio litopetrofísico. Este consistió en asignar a las diferentes unidades geológicas los diferentes valores obtenidos en los afloramientos visitados en el campo.

En el caso de unidades muy extensas o que contuvieran varios sitios analizados, se procedió a realizar un promedio de los valores obtenidos en campo.

Cabe señalar que los mapas geológico y geomorfológico ayudaron a la etapa de interpolación ya que se realizó un proceso de asignación dirigido al levantamiento litopetrofísico, combinando criterios geológicos y geomorfológicos con los parámetros IFA Litopetrofísicos, para establecer unidades de mapeo y analizar la distribución litopetrofísica en el paisaje. La geología y geomorfología proveen los contornos de las unidades de mapeo (el conteniente), mientras que los valores litopetrofísicos suministran los componentes taxonómicos de las unidades de mapeo.

La metodología de evaluación del factor Litopetrofísico señala la evaluación de siete parámetros en el campo: la dureza de la roca, consistencia del suelo, lineación, meteorización, espesor del suelo, contenido de arcilla y permeabilidad. Es importante señalar que para el presente trabajo se contemplaron los siguientes puntos:

- Es importante recalcar que para el parámetro de consistencia del suelo la metodología tradicional indica que una consistencia muy blanda indica una fragilidad muy baja mientras que un suelo muy consistente se considera con una fragilidad muy alta. Sin embargo durante el análisis de campo realizado y debido a las características de los suelos y rocas de la zona de interés (de fuerte pendiente, muy meteorizados muy susceptibles a deslizarse), se consideró para el presente trabajo, invertir la clasificación considerando que suelos muy consistentes generan un índice de fragilidad bajo y suelos muy blandos indican un índice de fragilidad muy alto.
- Para litologías que por su propia génesis (generalmente asociados a depósitos recientes, como capas de ceniza y lahares) no poseen un factor de lineación definido o claro o éste se encuentra ausente debido a que son rocas suaves transformadas a suelo , se ha asignado un valor de lineación con base en el contenido de arcilla y la porosidad

aparente observada, ya que se considerará que el material al ser de tipo granular tendrá gran cantidad de microlineaciones entre los espacios intragranulares, esto es los intersticios entre granos se tomarán como lineaciones. En un medio con mucha arcilla la porosidad efectiva será baja por ende las lineaciones serán bajas, caso contrario para medio muy arenoso.

- Para la evaluación del factor litopetrofísico, se realiza el análisis espacial de de los parámetros expuestos en la ficha técnica del anexo 2 del Decreto 32967-MINAE por medio de un GIS, para los cuales se utiliza la clasificación mostrada.

Tabla 1-1. Parámetros a evaluar para el factor Litopetrofísico.

Valor del índice	1	2	3	4	5
Dureza de Roca	Muy suave <5,0 MN/m ²	Suave 12,5-5 MN/m ²	Firme 12,5 -50 MN/m ²	Muy firme 50-100 MN/m ²	Duro >100 MN/m ²
Consistencia del suelo	Muy blando >0,6 MN/m ²	Blando 0,3-0,6 MN/m ²	Firme 0,15-0,3 MN/m ²	Consistente 0,08-0,15 MN/m ²	Muy consiste <0,08 MN/m ²
Factor de lineación	Muy alto	Alto	moderado	bajo	Muy bajo
Grado de Meteorización	Completamente (suelo)	Fuerte	moderado	Bajo (roca sana)	No meteorizado
Espesor de la capa de suelo	>8 m	8 - 4 m	4 - 2 m	2 - 1 m	< 1 m
Contenido de arcilla	Muy alto	Alto	moderado	Bajo	Ausente
Porosidad / Permeabilidad aparente	Muy alta	Alta	moderada	Baja	Muy baja

Resistencia inferida (Firmeza de la roca)

Mediante observaciones cualitativas realizadas directamente en el campo, se determinó la firmeza de la roca (la roca se destruye con: mano, con golpes de piqueta, la piqueta rebota, etc.).

Este factor se relaciona directamente con la capacidad de carga de la unidad litopetrofísica y por lo tanto la estabilidad. Por lo tanto, un aumento en la firmeza de la roca aumenta la geopotitud de un terreno para la construcción, mientras en los sitios con una baja firmeza se consideran riesgosos.

Consistencia o resistencia del suelo

En el siguiente cuadro se relacionan la consistencia con la resistencia a la compresión simple, a partir de esto, utilizando observaciones cualitativas de campo se aproxima de manera general asociando las variaciones del suelo con cada unidad geomorfológica. Los parámetros utilizados para dicha clasificación se observan a continuación.

Tabla 1-2. Parámetros estándar para la clasificación de la resistencia compresión simple de suelos arcillosos y categorías asignadas para cada unidad Litopetrofísica definida. (Tomado y Modificado de Gonzales, 2002).

Criterio de reconocimiento	Resistencia Aprox. a la compresión simple (MPa)	Valor de Fragilidad	Clasificación IFA
El dedo penetra fácilmente varios cm	<0,05	1	Muy suave
Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo	0,05-0,1	2	suave
Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0,1-0,25	3	Firme
Con cierta presión puede marcarse con la uña	0,25-0,5	4	Consistente
Se marca con dificultad al marcarse con la uña	> 0,5	5	Muy consistente

Factor de lineación

El Factor de Lineación consiste en la suma de cualquier tipo de parámetro que sea o induzca planos de debilidad que pueda incidir en porosidad y en la estabilidad del terreno, en correlación con la presencia de alineamientos o fallas que fracturen la roca. Los planos de estratificación, laminación, fracturas (independientemente de su origen) son ejemplos de las variables de dicho factor.

La clasificación del factor de lineación se realiza cualitativamente, a partir del número de planos de debilidad presente en los macizos rocosos, según criterio profesional. Tomando en cuenta criterios como lo son: fracturación, estratificación, laminación, diaclasas y fallas.

Un aumento en el factor de lineación produce una disminución del factor de geoaptitud esto en función de la estabilidad del terreno. Por otra parte, las unidades geológicas asociadas a las unidades geomorfológicas donde se identificó un alto grado de fracturación son potenciales zonas de extracción del recurso hídrico.

Grado de meteorización

Este parámetro es definido cualitativamente, directamente en el campo para cada unidad litológica asociada a una geomorfológica, de acuerdo con la clasificación presente. A mayor grado de meteorización disminuye la geoaptitud en función de la estabilidad del terreno.

Tabla 1-3. Criterios cualitativos para la clasificación del grado de meteorización de un macizo rocoso (Tomado y modificado de González, 2002).

Grado de meteorización	Geoaptitud	Clasificación	Descripción
1	5	Sano	No hay signos de meteorización.
2	4	Ligeramente meteorizado	El macizo se presenta decolorado en su totalidad, especialmente en superficies de discontinuidad.
3	3	Moderadamente meteorizado	Parte del macizo se encuentra descompuesto o se ha transformado a suelo. El resto aparece como núcleos aislados o una estructura continua.
4	2	Completamente meteorizado	El macizo aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo.
5	1	Suelo residual	Todo el macizo se ha transformado en suelo. Se ha destruido la estructura del macizo y la fabrica del material.

Contenido de arcilla

Según la metodología establecida se evalúa el contenido de arcilla de la unidad aflorante, ya sea suelo o roca. Las unidades de grano más fino contienen mayor cantidad de arcilla, y son menos permeables que las unidades de grano grueso cuando existen buenas condiciones de drenaje.

A mayor contenido de arcilla disminuye la geoaptitud, esto debido a su baja permeabilidad que causa problemas de drenaje, las arcillas conocidas como “expansivas” varían su volumen en presencia o ausencia de agua afectando la estabilidad del terreno, lo cual puede afectar las estructuras, aún más, si se suma a aceleraciones sísmicas.

Permeabilidad

Para integrar el factor de permeabilidad, se realiza una correlación de las unidades geomorfológicas de acuerdo con la granulometría observada en el campo. Los valores asignados indican la permeabilidad relativa entre unidades.

Desde el punto de vista de la gestión del recurso hídrico, estos parámetros y la zonificación generada en este informe, la geoaptitud vendría a indicar dos puntos: las zonas de alta geoaptitud que presentan menor permeabilidad, existe menor riesgo de contaminación acuífera, por caso de derrames de contaminantes en superficie. Sin embargo, estas zonas no son aptas para la extracción de aguas en niveles someros ya que no son productivas.

Afloramientos

Para obtener la caracterización de este factor se efectuaron una serie de levantamientos de campo, precisamente 21 puntos de afloramientos en el cantón, distribuidos en todas las unidades formales definidas en la geología regional. En estos casos se utilizaron análisis de rocas cercanas al sitio y con características genéticas, geológicas y geomorfológicas similares, para otorgar los parámetros indicados por la metodología.

Tabla 1-4. Ponderación de los criterios de evaluación para el factor litopetrofísico, para el cantón de Santo Domingo.

Código	Longitud Crtm05	Latitud Crtm05	Dureza	Consistencia	Lineación	Meteorización	Espesor Suelo	Arcilla	Porosidad
SD1	489545	1104069	4	4	3	3	3	3	3
SD2	490132	1104459	4	4	5	1	3	3	3
SD3	491605	1104805	4	4	5	3	3	3	4
SD4	491731	1104192	4	4	5	3	3	3	4
SD5	493345	1105669	3	3	2	3	4	3	3
SD6	492807	1104471	4	4	4	3	4	3	3
SD7	494912	1106036	3	3	4	3	4	3	3
SD8	495165	1105687	4	4	3	3	3	4	3
SD9	496345	1107110	3	4	4	3	4	4	3
SD10	497268	1107200	3	5	5	3	3	3	3
SD11	496574	1105604	3	4	5	1	4	2	3
SD12	496353	1104960	3	2	2	2	3	3	2
SD13	497188	1104848	3	2	2	2	3	2	2
SD14	493953	1102739	4	3	4	3	3	3	2
SD15	492630	1103119	4	2	2	3	3	3	2
SD16	490652	1103317	4	4	5	3	4	3	3
SD17	489009	1102980	4	4	2	3	3	3	4
SD18	487949	1101484	4	2	2	3	2	3	2
SD19	489634	1102308	4	4	5	3	3	3	3
SD20	490539	1102189	3	2	2	3	4	2	2
SD21	490540	1102190	4	5	3	4	5	5	2



Resultados IFA Factor Litopetrofísico para el cantón de Santo Domingo

A continuación se presentan los mapas de cada parámetro del factor Litopetrofísico. Al integrar cada uno de los mapas se obtuvo el mapa final para el factor litopetrofísico del para el cantón de Santo Domingo.

El rango final de calificación obtenido para la clasificación de la variable litopetrofísica da como resultado tres clases: Baja (valor establecido en IV), Moderada (valor establecido en III), Alta (valor establecido en II), de acuerdo con los rangos propuestos por el procedimiento técnico para la introducción de la variable ambiental en los planes reguladores.

La definición de los rangos de esta variable se estableció mediante una metodología que considera el número de parámetros (en este caso son 7), una valoración que va de 1 a 5 para cada uno de ellos; se calcula el valor máximo y mínimo que se pueden obtener para los parámetros considerados, estos valores máximos y mínimos esperables se restan entre sí (en este caso $35-7=28$) y se divide entre la cantidad clasificaciones establecidas para obtener cuanto varia cada rango, posteriormente se realiza una reclasificación de los rangos obtenidos, como se resumen en el siguiente cuadro. Esta metodología de definición de rangos se repite para todos los factores de este capítulo.

Tabla 1-5. Definición de los rangos de clasificación del factor litopetrofísico

Litopetrofísico		
Variables o parámetro	7	
Mínima valoración posible	7	
Máxima valoración posible	35	
Rangos	5,6	
Clasificación IFA	Rango	Reclasificación
Muy Alto	7-12,6	1
Alto	12,6 - 18,2	2
Moderado	18,2 -23,8	3
Bajo	23,8-29,4	4
Muy Bajo	29,4-35	5

Con respecto a los sectores que representan una categoría litopetrofísica de Fragilidad Baja, se caracterizan por ubicarse en sectores de topografía de plana a plano ondulada, en donde no hay un patrón de drenaje muy desarrollado, la litología se compone por capas de suelos competentes y rocas en su base duras y con buena consistencia, en general son rocas de baja permeabilidad, el contenido se arcilla en moderado. Lo que favorece al desarrollo de actividades humanas.

Los sectores con Fragilidad Moderada, se localizan sobre y en los alrededores de cañones de ríos y en sitios con mayor densidad de drenaje, con una pendiente de moderada a alta, en donde la roca y suelo se exponen a problemas de estabilidad, debido a una disminución en el parámetro de consistencia, un aumento en la



permeabilidad debido a un incremento en el factor de lineaciones, así como en el parámetro de meteorización.

En el caso de la zona con un factor de fragilidad litopetrofísica alto, se caracteriza por una pendiente fuerte que dificulta la estabilidad de las capas rocosas, además las roca esta compuesta por materiales de menor consistencia debido a su heterogeneidad, así mismo es un zona con un importante aumento en la capacidad de permeabilidad y grado de lineación mayor.

Limitaciones de la metodología

- Los límites de las unidades definidas no corresponden necesariamente con unidades litológicas y estos pueden ser transicionales. Además, estos son de carácter general.
- Los valores estimados en el campo son únicamente válidos para el sitio en el cual fue tomado. Se asume que dicho valor es representativo del área circundante, pero no excluye la posibilidad de la existencia de variaciones puntuales no observadas en los sitios visitados.
- Para ciertas zonas, principalmente en la zona montañosa de mayor elevación, su inaccesibilidad o falta de visibilidad provocaron que no se pudieran corroborar con mayor exactitud algunas áreas.

Limitantes y Potencialidades Técnicas

A partir del mapa elaborado que integra los parámetros contenidos en el factor Litopetrofísico se obtienen las siguientes limitantes y potencialidades de las zonas, para el factor evaluado. Dicho resultado se muestra en el cuadro

Tabla 1-6. Tabla de limitantes y Potencialidades Técnicas

Factor Litopetrofísico	Características	Limitaciones	Potencialidades
Alta	Rocas poco consistentes en sectores de pendiente alta o márgenes de ríos encañonados, presentan alto contenido de arcilla, con potencial a la generación de movimientos en masa. Alta porosidad.	Se limita el desarrollo urbano, o actividades agrícolas ganaderas o industriales, sin estudios geotécnicos y de amenazas que garanticen la estabilidad de la zona y ayuden a cuantificar los riesgos en el área.	Ideales para procesos de reforestación. Para actividades agrícolas y ganaderas de muy bajo impacto, que no impliquen una amplia deforestación (se debe comprobar que la zona no posee movimientos en masa o amenazas naturales. Zonas requieren buen manejo de la escorrentía superficial. Áreas que ante una solución geotécnica adecuada, estudios de amenazas naturales a detalle y siempre que otras variables o temáticas no las limiten, pueden ser empleadas para amplias variedades de desarrollos
Moderado	Litologías duras pero que en sitios de mayor pendiente pueden presentar problemas de estabilidad posibilidad de presentar deslizamientos, los procesos de erosión y sedimentación se encuentran equilibrados, topografías menos disectadas	Zonas cercanas a cauces de ríos pueden verse afectadas por inundaciones o flujos de barro, disminución del proceso de escorrentía, acumulación de agua en superficie y Deslizamientos Pueden ser susceptibles a la reptación y generación de cárcavas y canales. Las zonas requieren algunas medidas de estabilización o fortalecimiento de suelos	Sectores cercanos al cauce de los ríos y quebradas son aptos para la reforestación, así como la mejorar los procesos de recarga acuífera. Es importante un buen manejo de la escorrentía. Zonas que pueden ser destinadas a diversas actividades, siempre y cuando se valoren soluciones geotécnicas adecuadas y estudios de amenazas naturales a detalle según el tipo de actividad. Aunque se promueve el uso para conservación y baja densidad poblacional. Zona de interés para la explotación de agua subterránea por medio de pozos. Caminos y carreteras deben contemplar un buen diseño de corte de talud. Se deben contemplar otras variables o temáticas que puedan limitar su desarrollo.
Bajo	Zonas planas con rocas duras y competentes, el desarrollo de	Zonas con mayor espesor de suelos debido a su pendiente. En sectores cercanos a	Buena estabilidad de taludes, roca dura y poco fracturada, las zonas comerciales y urbanas del cantón se asientan sobre estas zonas. Obras cercanas a cauces deberán

	movimientos de remoción de masa es limitado.	quebradas y ríos es factible la generación de inundaciones	tener estudios de estabilidad de taludes, así como valorar el riesgo a inundaciones. Zona de interés para la explotación de agua subterránea por medio de pozos. Mayor desarrollo de actividades urbanas e industriales siempre que cumplan los requisitos técnicos ambientales y legales propios de cada actividad. Se deben contemplar otras variables o temáticas que puedan limitar su desarrollo.
--	--	--	---

Certidumbre técnica

Para las tablas de certidumbre del factor litopetrofísico, se utilizaron como criterios de peso los diferentes factores de evaluación que indica la metodología. Se tomaron como referencia los afloramientos visitados y la calidad y cantidad de la información recolectada en cada uno de ellos, así como contenido de referencias bibliográficas que se tenían de la zona de estudio.

Para cada factor analizado se debe clasificar su información con cinco valoraciones: 1- Información de Muy baja calidad, 2- Información de calidad baja, 3- información de calidad intermedia y 4- Información de buena calidad e 5- información de muy buena Calidad. Estas valoraciones se realizan por parte del profesional indicado y según su criterio profesional. La sumatoria de las valoraciones indicará el nivel de información y por lo tanto un valor establecido de incertidumbre. Los rangos se han definido siguiendo el mismo principio explicado en la clasificación de los rangos del IFA litopetrofísico.

Tabla 1-7. Criterio y peso de los valores del Factor Litopetrofísico

FACTOR LITOPETROFÍSICO					
Valores	Muy alto (5)	Alto (4)	Moderado (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)
Criterios y su peso					
Dureza del material geológico		4			
Consistencia (grado de cohesión)		4			
Lineación			3		
Meteorización		4			
Espesor capa suelo			3		
Contenido de arcilla				2	
Porosidad/ Permeabilidad				2	
Sumatoria		12	6	4	
Total	22				
Resultado final	35-29,4	29,4-23,8	23,8-18,2	18,2-12,6	12,6-7

Cabe señalar que para el cantón de Santo Domingo al ser éste una zona generalmente plana, cubierta en su mayoría por depósitos de rocas que se meteorizan con facilidad y que tienden a desarrollar suelos de espesor importante con vegetación o actividades



humanas ya muy desarrolladas, ha complicado la obtención de algunos parámetros debido a la falta de afloramientos de roca. Sin embargo, se han logrado mapear todas las litologías presentes con lo cual se le ha podido asignar un valor IFA a las formaciones geológicas presentes.

Con la información recabada se obtuvo que los factores de porosidad /Permeabilidad y contenido de arcilla han sido los de una certidumbre menor, considerada como Baja calidad de información. En el caso de los factores como arcillas y porosidad, éstos se evalúan de forma cualitativa, es decir por medio de descripción física, sin obtenerse de pruebas de laboratorio o de campo que pudieran definir una cantidad de contenido de arcilla o permeabilidad/ porosidad estimadas de forma más exacta. En el caso de los factores lineación y espesor de la capa de suelo, éstos se ha considerado como moderados, debido a que han sido analizados en el campo pero a veces no ha habido buenos afloramientos para obtener un mapeo más denso, lo que hace que estos parámetros sean interpolados para sectores sin información.

En el caso de factores como Dureza, consistencia y meteorización se consideran con un alto grado de información, esto debido a la facilidad de observar dichas condiciones en el campo, ya que la mayoría de rocas y suelos presentaban condiciones aptas para la descripción de los mismos.

Como resultado final y una vez obtenida la sumatoria, se obtuvo un valor de la información recopilada sea considerado como Moderado lo cual, con base en las condiciones de desarrollo y accesibilidad del cantón se considera que el factor Litopetrofísico analizado presente una certidumbre adecuada para la investigación.

Observaciones y Recomendaciones

Es importante señalar que los mapas geomorfológicos y geológicos se generan a partir de la interpretación de información puntual y parcial, por lo que los límites, formas y dimensiones de cada unidad pueden variar de acuerdo al autor, lo mismo que el nombre u origen de algunas unidades, sin que esto implique que la información no sea fidedigna.

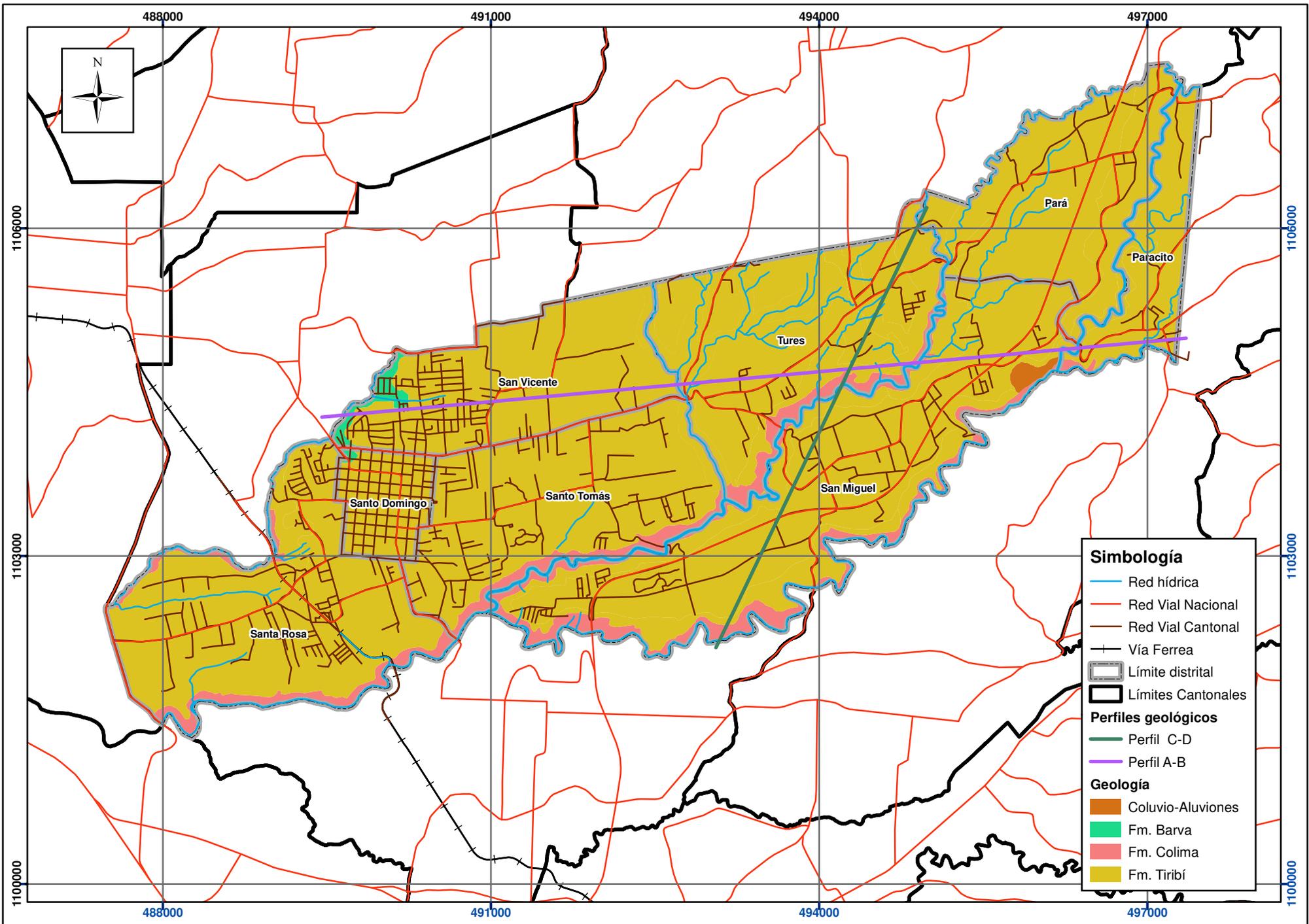
Los mapas obtenidos, se realizaron a escala 1: 50 000, por lo que en estudios que requieran escalas menores con mucho mayor detalle como diseños de sitio pueden ser usados de referencia, más deben ser usados con cautela.

El mapa de factor litopetrofísico resultante, es únicamente para el proceso de IFA, representa zonas limitadas con diferentes variables cuantificadas a través de índices de fragilidad, sin embargo, los límites en realidad son difusos, y la asignación de valores a las variables puede variar a mejores escalas producto de la heterogeneidad del suelo y el proceso propio de formación de las capas del mismo. Para proyectos específicos de desarrollo se requieren estudios más detallados, y herramientas de cálculo apropiadas según sea el caso y tipo de proyecto.

Las zonas con el índice de fragilidad ambiental más bajo, no deben considerarse como exentas de algún tipo de fragilidad, posiblemente tengan un mayor potencial



litopetrofísico, pero siempre presentarán deficientes en dependencia de algún factor o fenómeno que ocurra o que se analice.



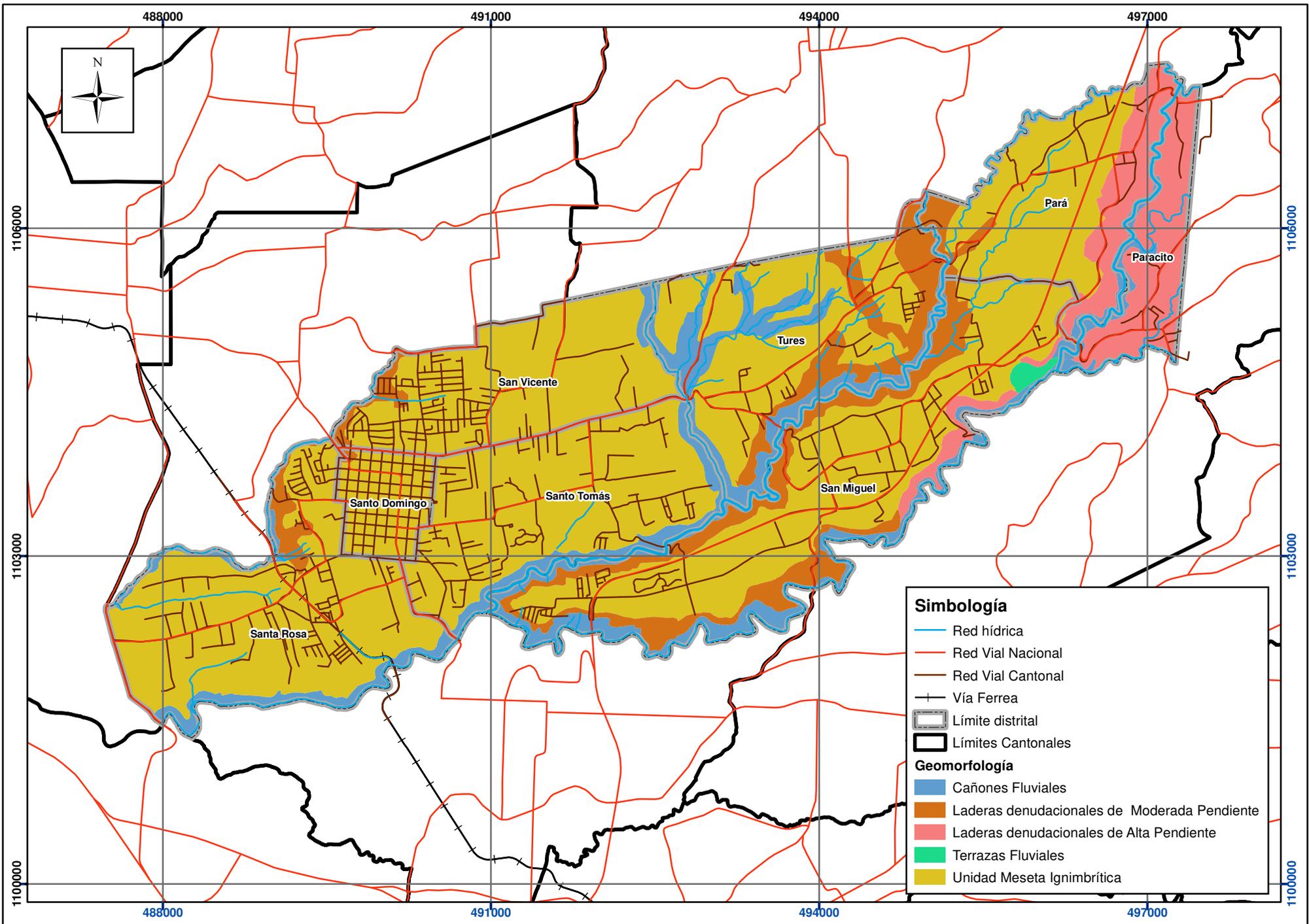
Mapa 1.1-1. Geoaptitud. Factor Litopetrofísico. Geología en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
SNIT 1:25.000,
SNIT: CENIGA 2019;
ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





Simbología

- Red hídrica
- Red Vial Nacional
- Red Vial Cantonal
- + — Vía Ferrea
- Límite distrital
- Límites Cantonales

Geomorfología

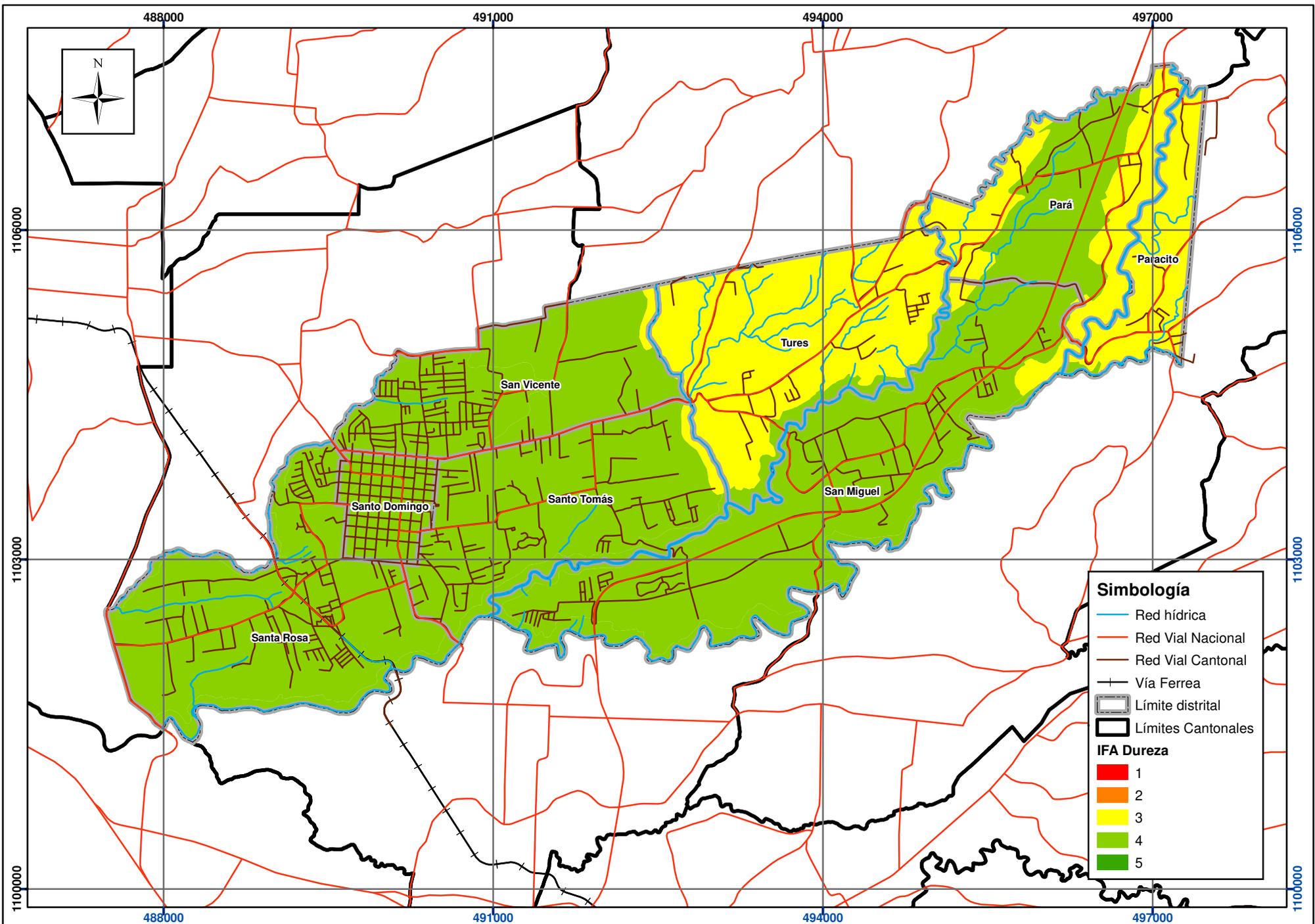
- Cañones Fluviales
- Laderas denudacionales de Moderada Pendiente
- Laderas denudacionales de Alta Pendiente
- Terrazas Fluviales
- Unidad Meseta Ignimbrítica

Mapa 1.1-2. Geoaptitud. Factor Litopetrofísico. Geomorfología en el cantón de Santo Domingo.
 Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)





Mapa 1.1-3. Geoaptitud. Factor Litopetrofísico. Dureza del suelo en el cantón de Santo Domingo.

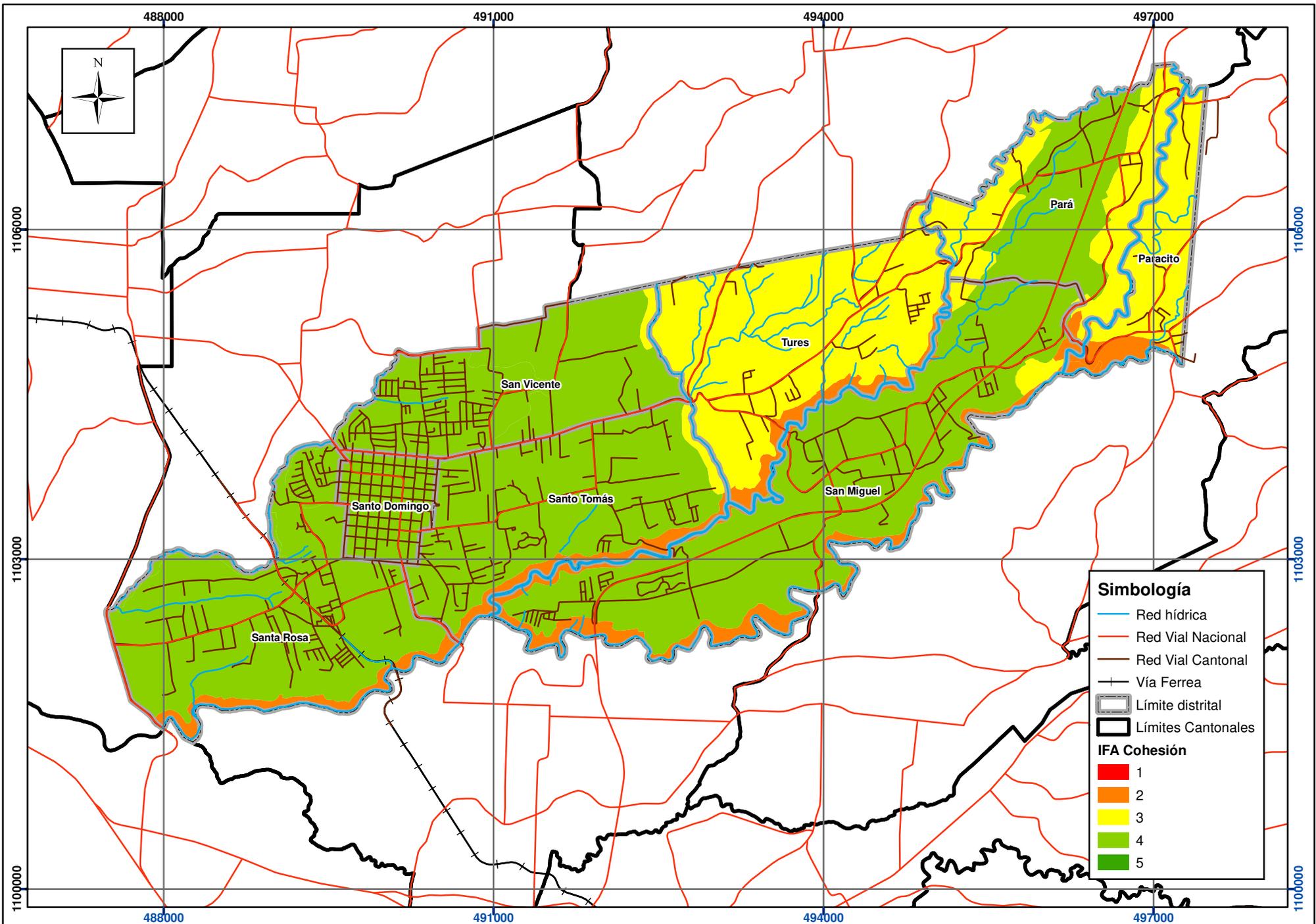
Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros

Escala 1:45.000

Transversal Mercator 05 (CRTM05)



Mapa 1.1-4. Geoaptitud. Factor Litopetrofísico. Cohesión del suelo en el cantón de Santo Domingo.

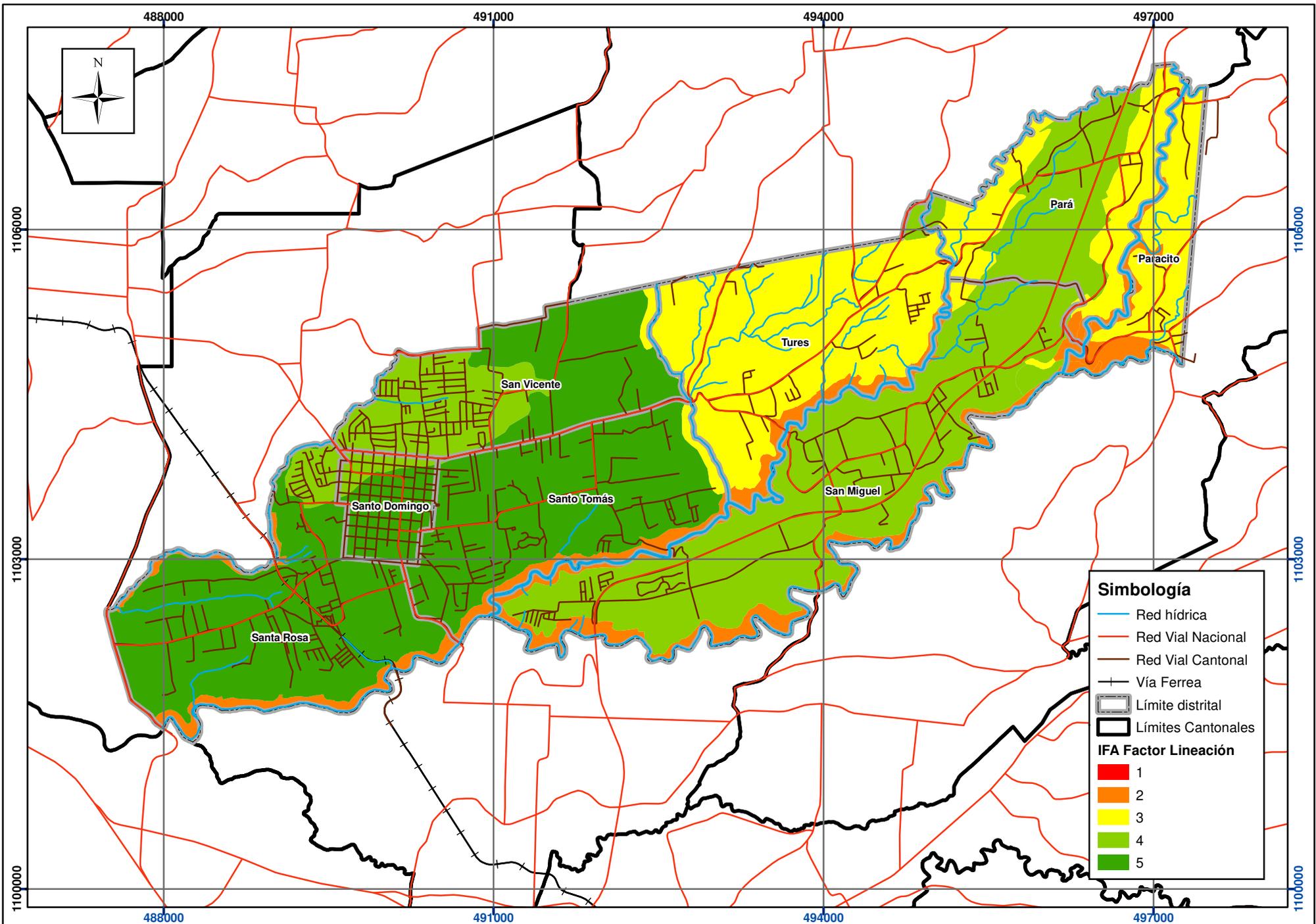
Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros

Escala 1:45.000

Transversal Mercator 05 (CRTM05)

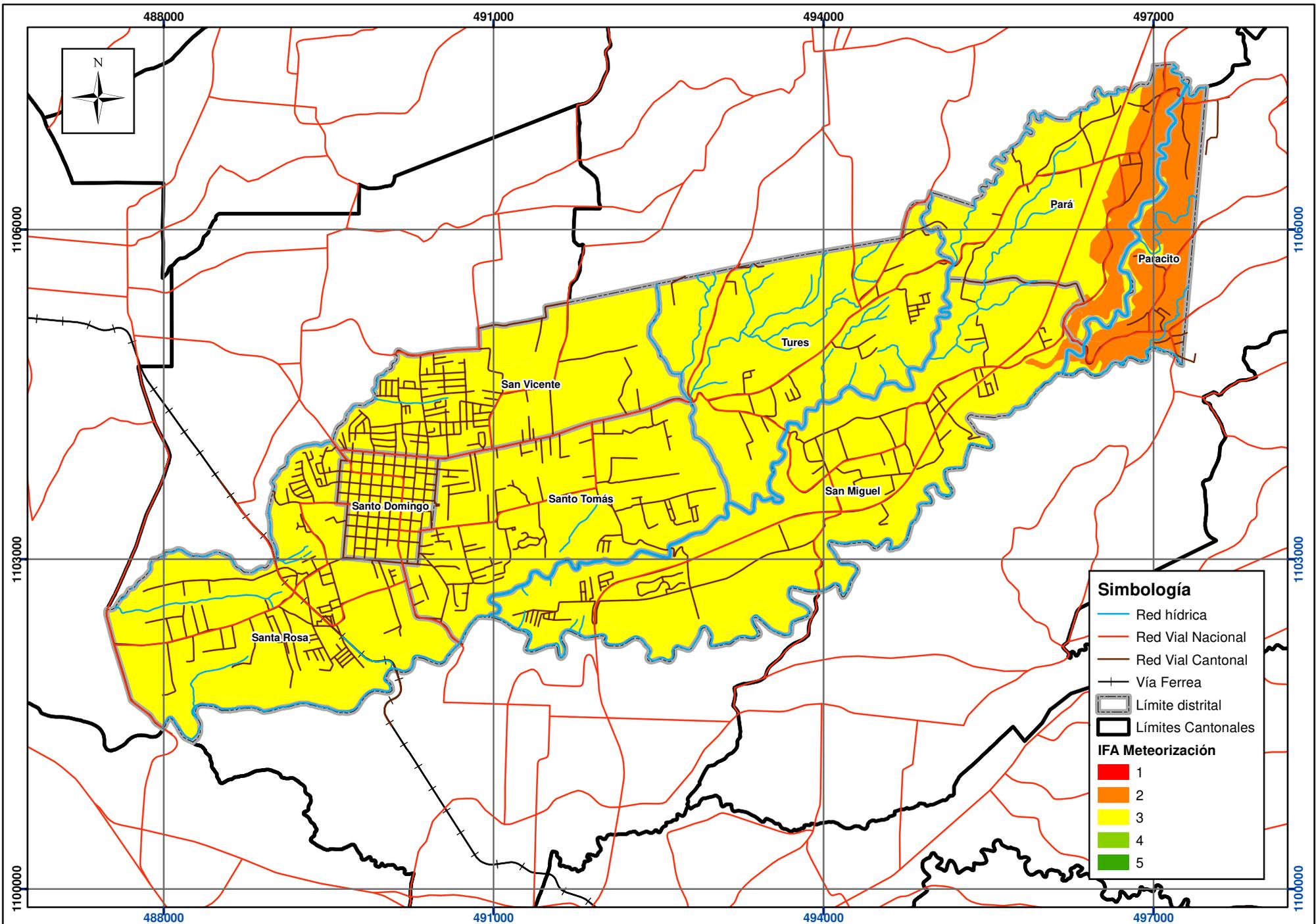


Mapa 1.1-5. Geoaptitud. Factor Litopetrofísico. Factor de lineación en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)



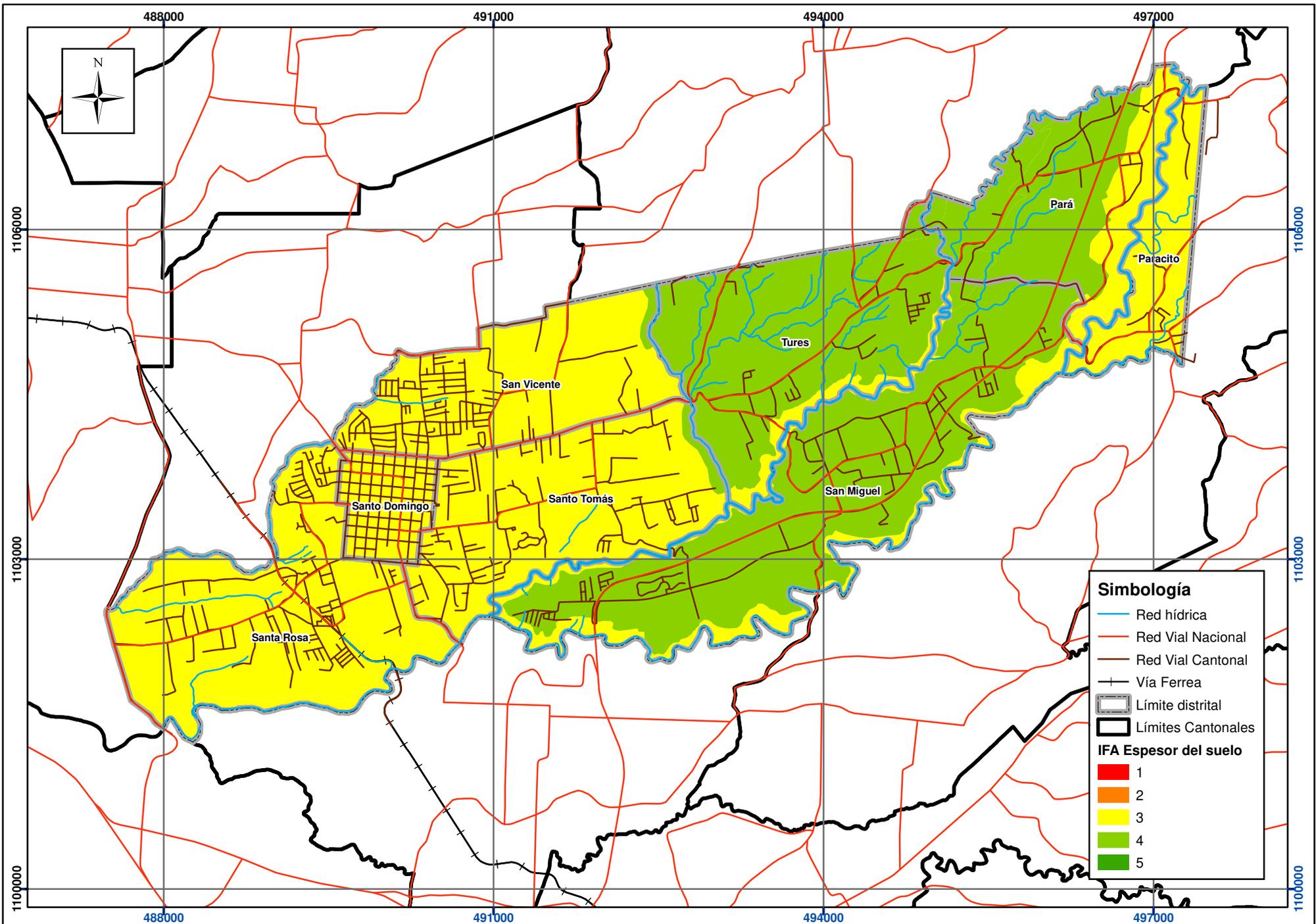
Mapa 1.1-6. Geoaptitud. Factor Litopetrofísico. Meteorización del suelo en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)



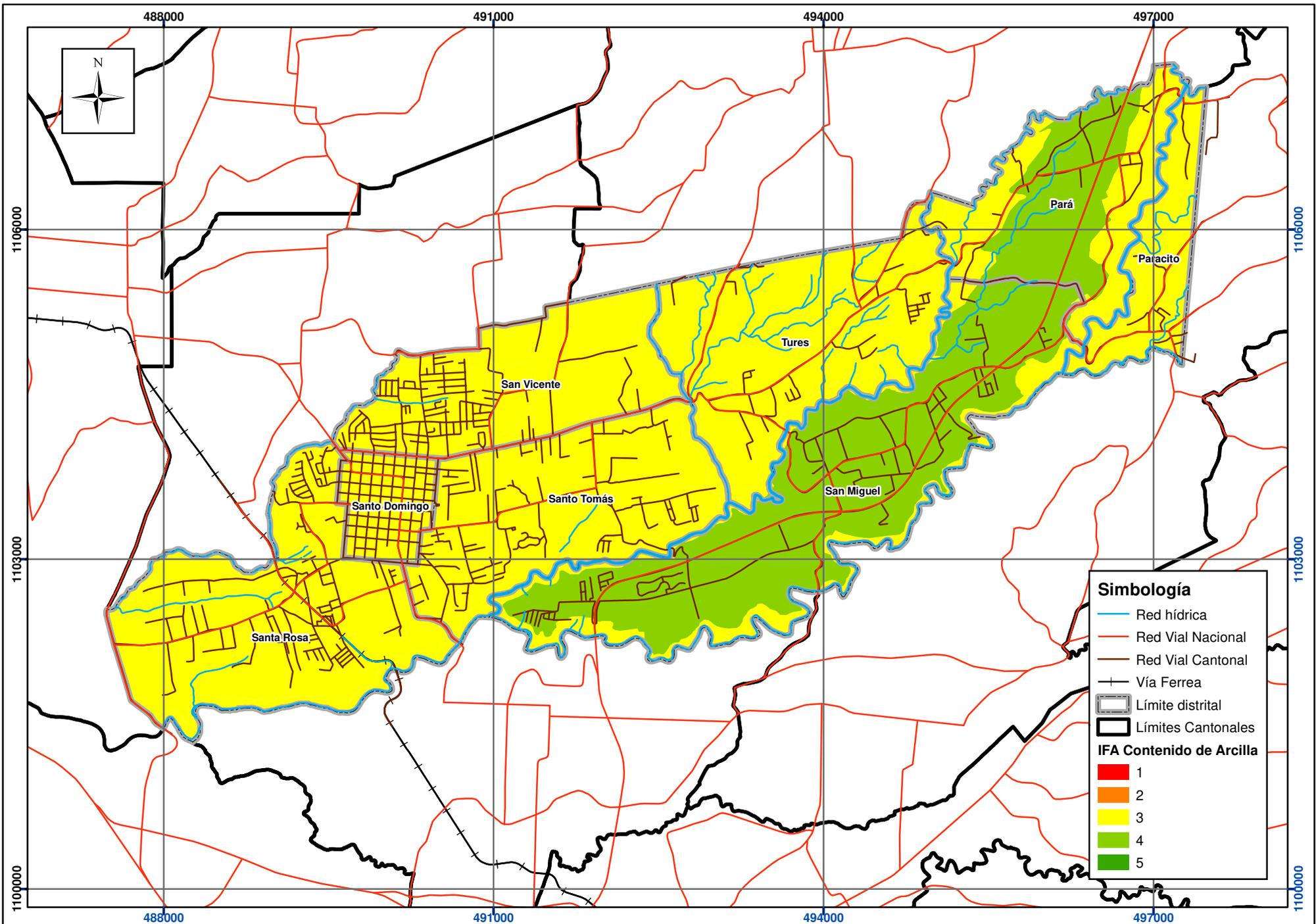


Mapa 1.1-7. Geoaptitud. Factor Litopetrofísico. Espesor del suelo en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)



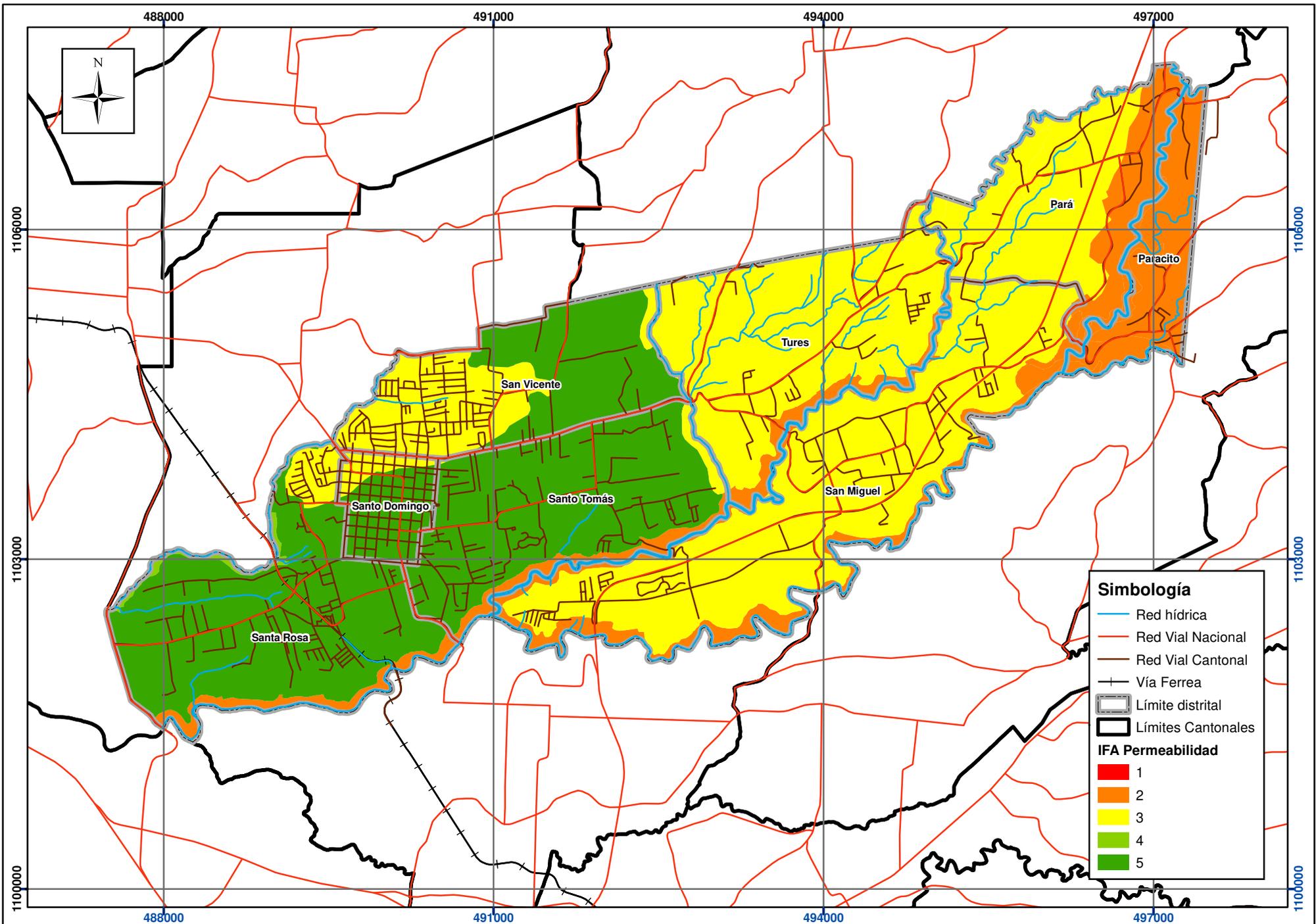
Mapa 1.1-8. Geoaptitud. Factor Litopetrofísico. Contenido de arcilla del suelo en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
SNIT 1:25.000,
SNIT: CENIGA 2019;
ProDUS, 2023.

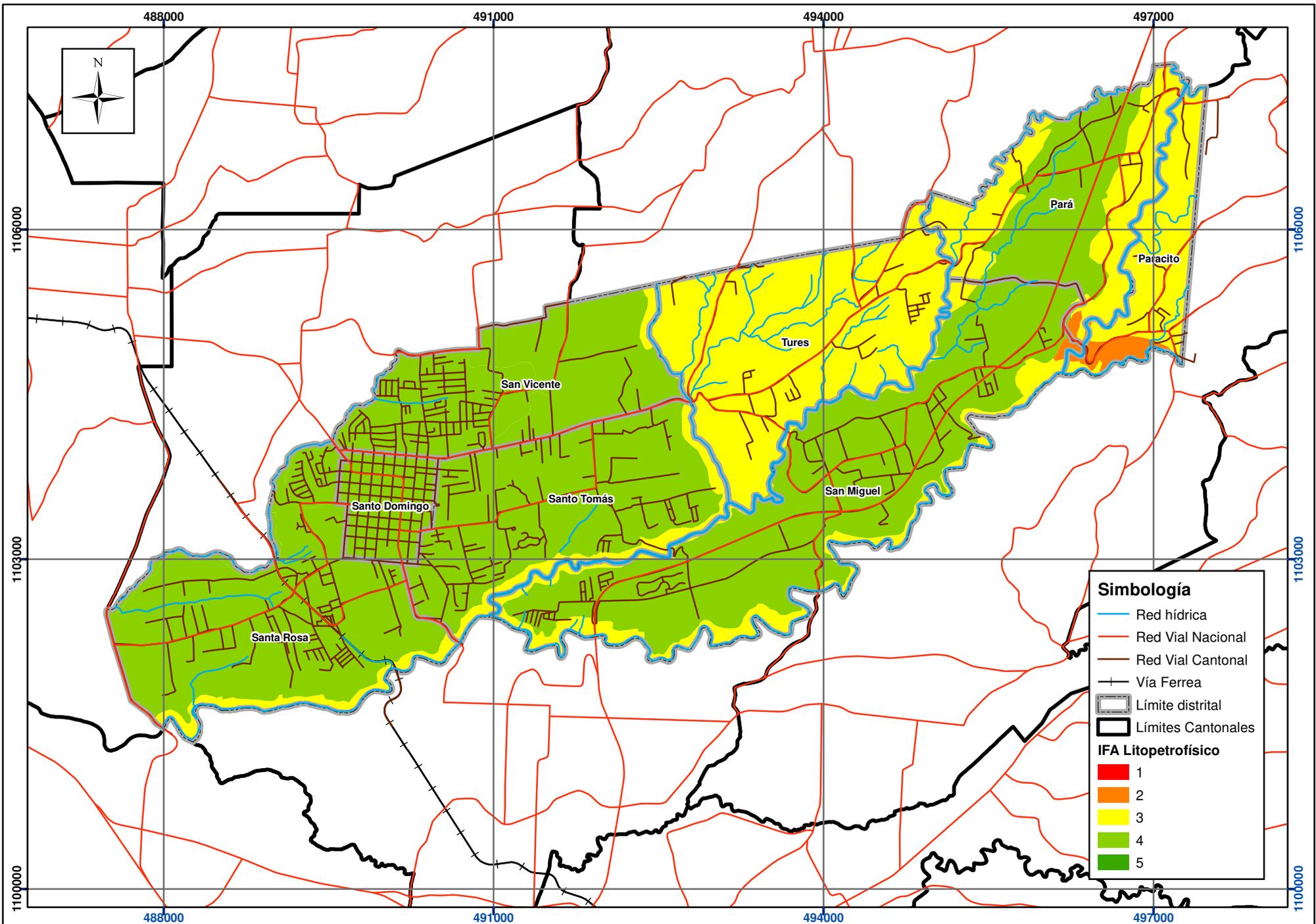
0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





Mapa 1.1-9. Geoaptitud. Factor Litopetrofísico. Permeabilidad del suelo en el cantón de Santo Domingo.
 Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.
 Escala 1:45 000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)



Mapa 1.1-10. Geoaptitud. Factor litopetrofísico integrado en el cantón de Santo Domingo.
 Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)



1.2. Factor geodinámica externa

Este factor contempla variables que rigen el comportamiento geomorfológico y los procesos que modifican la superficie terrestre. De acuerdo con el Decreto, las variables que explican este comportamiento son las siguientes:

- Pendiente (%)
- Relieve relativo
- Densidad de drenaje (km/km²)
- Importancia de los procesos de erosión (%/km²)
- Importancia de los procesos de sedimentación (%/km²)

El diagrama sobre el cálculo de este factor no presenta información contextual y las unidades de estudio para cada variable son de diferente extensión en cada una. Las variables de pendiente, relieve relativo y densidad de drenaje se calculan mediante las herramientas que ofrece el sistema de información geográfico utilizado, mientras que las variables de erosión y sedimentación se definen según la información de las unidades geomorfológicas.

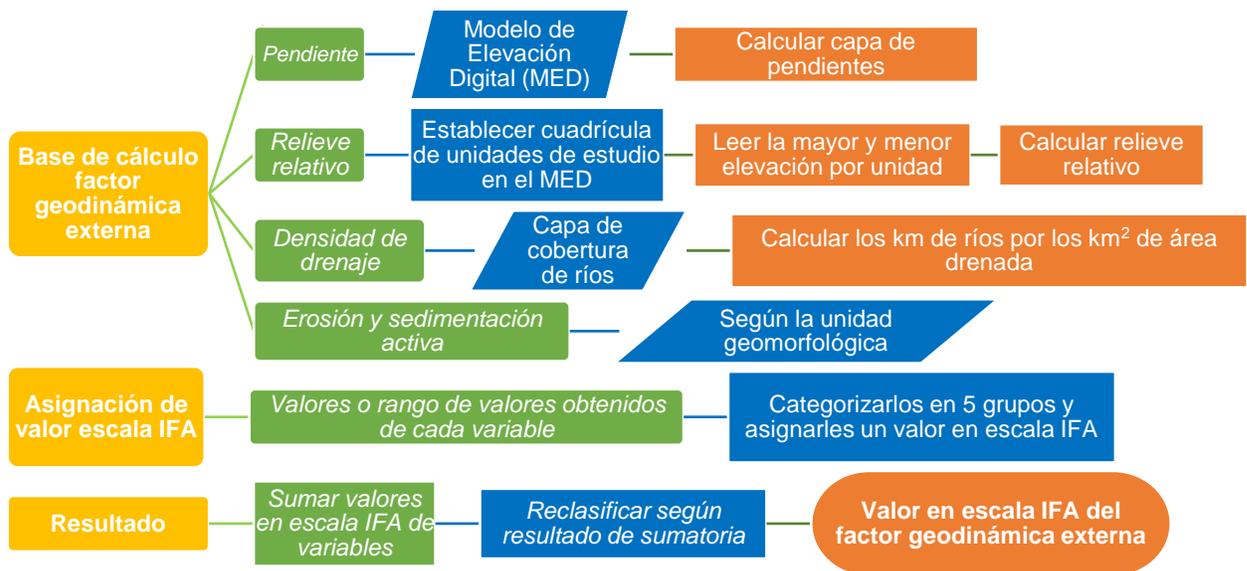


Figura 1-11. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del factor geodinámica externa

1.2.1. Pendientes

El parámetro de pendiente se estima a partir de un modelo de elevación digital (MED) generado con curvas de nivel. Para el cantón de Santo Domingo se utilizaron las curvas oficiales a escala 1:25000 para generar celdas cada 10 m. A partir del MED se calculan las pendientes, analizando para cada celda, la elevación de sus ocho celdas vecinas para determinar la máxima diferencia de altura y así la máxima pendiente. Las pendientes se

agrupan como se indica en el Decreto. En el siguiente cuadro se muestra la agrupación final de pendientes y su respectivo valor IFA.

Tabla 1-8. Valor y rango del subfactor de pendiente

Rango de pendiente (%)	>60	30-60	15-30	8-15	0-8
Valor subfactor IFA	1	2	3	4	5

Fuente: Manual de Instrumentos Técnicos para el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA)

Una vez generado el mapa, se procede a simplificar y limpiar el mapa de áreas muy pequeñas para luego vectorizarlo para las superposiciones siguientes. En el Mapa 1.2-1 se muestran los resultados de esta variable.

1.2.2. Relieve relativo

Para generar el mapa de relieve relativo se creó una cuadrícula de 250 m x 250 m para calcular luego la elevación máxima y mínima en cada cuadro. Con los valores de relieve relativo para cada punto en el centro de los cuadros se procede a interpolar la superficie de relieve relativo a toda el área de estudio.

Como la metodología no propone valores para las categorías de relieve relativo, se realizó una revisión bibliográfica para poder proponer en conjunto con la valoración de los datos observados las categorías para dicha variable. El estudio de Smith (1935) propone intervalos de 100 ft (aproximadamente 30 m) pero tiene más de 5 categorías. Por otro lado, el estudio de Nir (1957) propuso intervalos de 50 m para las categorías de relieve relativo. Otro estudio de Oguchi (1997) propuso también intervalos de 50 m para esta variable. Finalmente, el último estudio referenciado de Schulze y Horan (2007) propuso intervalos de 10 m, aunque no usaron la definición tradicional del relieve relativo sino más bien la de desviación estándar de la elevación.

Ahora bien, la celda original de estudio era de 250 m de lado, por lo tanto, se puede considerar esa dimensión como una distancia apropiada para calcular la pendiente promedio del relieve. Si se toma una diferencia de elevación de 25 m, entonces la pendiente promedio sería 10%. Si se toma una diferencia de elevación de 50 m, entonces la pendiente sería de 20%; y de 75 m, la pendiente sería de 30%. Por lo anterior, se considera que intervalos de 25 m son apropiados para clasificar el relieve relativo de Santo Domingo.

Tabla 1-9. Valor y rango del subfactor de relieve relativo

Rango de relieve relativo (m)	> 100	100 - 75	75 - 50	50 - 25	25 - 0
Valor subfactor IFA	1	2	3	4	5

Fuente: Manual de Instrumentos Técnicos para el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA)

El Mapa 1.2-2 muestra los resultados del cálculo para el relieve relativo.

1.2.3. Densidad de drenaje

Esta variable determina la capacidad de drenaje de la zona e indirectamente ayuda a estimar cuál es el efecto erosivo al que puede estar expuesto el sitio, reflejado en la presencia del agua que escurre hacia los ríos que atraviesan el cantón; entonces, si la densidad de drenaje es alta, significa que el recorrido del agua que escurre será menor, por lo tanto, el efecto erosivo es menor. El efecto contrario sucede en caso de una densidad de drenaje más baja. Los rangos de valores para esta variable se determinan según el Decreto y se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1-10. Valor y rango del subfactor de densidad de drenaje

Densidad de drenaje (Km/Km ²)	0 - 2	2 - 6	6 - 10	10 - 14	> 14
Valor subfactor IFA	1	2	3	4	5

Fuente: Manual de Instrumentos Técnicos para el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA)

Esta variable se utiliza comúnmente para analizar cuencas con el afán de determinar su comportamiento y normalizar los patrones de escorrentía. Para su estimación, se hicieron operaciones con la información disponible; esto para calcular cada una de las subcuencas y luego para calcular los drenajes, siguiendo la metodología propuesta inicialmente por Horton (1932, 1945). Se incluyen solo los cauces permanentes ya que el utilizar éstos es más conservador desde el punto de vista de la fragilidad ambiental, pues a menor densidad mayor es el efecto erosivo del agua superficial.

El Mapa 1.2-3 presenta el resultado de la estimación de esta variable por subcuenca utilizando los drenajes obtenidos.

1.2.4. Procesos de sedimentación y erosión

Con respecto a la variable de procesos de erosión y sedimentación, se realizó un análisis y caracterización cualitativo/cuantitativo con el fin de determinar, cual proceso tiene dominancia en un sector dado del cantón de Santo Domingo. Para lo cual se tomó como base el mapa geomorfológico y el análisis del origen o predominancia del proceso erosión/Sedimentación para cada unidad geomorfológica y que se incluye en la descripción del mapa geomorfológico local. Además a cada unidad geomorfológica se le realizó un análisis cualitativo de los procesos de erosión presentes en la misma con el fin de determinar su grado de dominancia, esto con base en los criterios indicados por (Basile, 2000), siendo así para unidades geomorfológicas en donde predominan procesos de erosión intensa, una zona de erosión Alta, mientras que sectores en donde predominan erosiones de tipo laminar y por la génesis de la unidad geomorfológica se da una predominancia de sedimentaciones Alta, así para sectores en donde se presenta una erosión equilibrada se han ajustado un criterio de moderada. Otro factor a tomar en cuenta para la clasificación del grado sedimentación/Erosión ha sido la pendiente del suelo, ésta se ha clasificado de acuerdo con los criterios dados por Mora et al. (2002) como parte de la metodología Mora-Varhson-Mora. Este factor ayuda a definir las diferencias entre factores altos y muy altos o bajos y muy bajos.

Las siguientes tablas resumen los criterios cualitativos y cuantitativos considerados durante la elaboración del mapa de procesos de Sedimentación/Erosión y que han sido aplicados para cada unidad Geomorfológica presente en el cantón.

Tabla 1-11. Clasificación para criterio valor IFA sedimentación

Valor IFA sedimentación	1	2	3	4	5
	Muy Alto	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Génesis de la Unidad Geomorfológica (Ulate, 2010)	Formas con predominio de sedimentación (llanuras, terrazas, depresiones)		La poca longitud e inclinación de sus pendientes, que dan lugar a acumulaciones de pie de monte (colinas, coluvios, taludes, pie de montes)	Formas con predominio a la erosión (montañas)	
Tipificación del Grado de Erosión (Basile, 2000)	Superficial (laminar, surcos, cárcavas)		Erosión en lechos y márgenes	Flujos de detritos en masa, deslizamientos	
Pendiente Grados clasificación Mora et al. (2002)	Menor a 4	8 a 4	8 a 16	16 a 35	Mayor a 35

Tabla 1-12. Clasificación para criterio valor IFA erosión

Valor IFA erosión	1	2	3	4	5
	Muy Alto	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Génesis de la Unidad Geomorfológica (Ulate, 2010)	Formas con predominio a la erosión (montañas)		La poca longitud e inclinación de sus pendientes, que dan lugar a acumulaciones de pie de monte (colinas, coluvios, taludes, pie de montes)	Formas con predominio de sedimentación (llanuras, terrazas, depresiones)	
Tipificación del Grado de Erosión (Basile, 2000)	Flujos de detritos en masa, deslizamientos		Erosión en lechos y márgenes	Superficial (laminar, surcos, cárcavas)	
Pendiente Grados clasificación Mora et al. (2002)	Mayor a 35	35 a 16	16 a 8	8 a 4	menor a 4

El Mapa 1.2-4 presenta el resultado de la estimación de la variable IFA de Erosión mientras que el Mapa 1.2-5 presentan la estimación de la variable IFA de Sedimentación.

Resultados

Como resultado de este análisis, para la unidad Geomorfológica de Laderas Denudacionales de Alta Pendiente se ha asignado la predominancia de los procesos de erosión, por lo que se le ha asignado un valor de tipo Alto, en contraparte los procesos de sedimentación para dicha unidad se han catalogado como de tipo bajo.

Para la Unidad Meseta Ignimbrítica en donde predominan erosiones de tipo laminar y de poco arrastre se ha asignado una predominancia de los procesos de sedimentación de tipo Alta, en contraparte con procesos de erosión de tipo baja.

En el caso de la unidad de laderas denudacionales de Moderada Pendiente en donde se presenta un proceso de erosión y sedimentación equilibrado, se ha asignado un parámetro de tipo Moderado.

En el caso de la Unidad geomorfológica Terrazas Fluviales, la misma al presentar una baja pendiente y estar conformada por terrazas y barras aluviales, y presentar una erosión de tipo laminar, se le ha asignado un potencial de sedimentación Muy alto, contrastado con un potencial erosivo de tipo Muy Bajo.

En el caso de la Unidad Cañones fluviales, al ser estos conformados por una sección en donde se presenta una fuerte pendiente, se considera que los procesos de erosión son muy altos, mientras que las zonas de depositación se darían en su base y se catalogan con procesos de sedimentación de tipo baja.

1.2.5. Factor geodinámica externa integrado

El factor de geodinámica externa se calcula como una suma de las cinco variables que lo componen y el resultado de la sumatoria se reagrupa con base en los cinco grupos de valoración IFA.

Como se menciona en la sección introductoria de este documento, la sumatoria y reclasificación se ajusta a lo señalado en el Decreto y específicamente para este factor, al reunir cinco variables, el valor máximo obtenible es de 25; por lo tanto, la reclasificación de la sumatoria se muestra en la siguiente tabla, donde al realizarse la integración numérica de esta manera cada variable tiene el mismo peso en la generación del resultado.

Tabla 1-13. Categorías de reclasificación de la sumatoria para el cálculo del factor geodinámica externa

Sumatoria de las 5 variables	Categoría	Valor reclasificado
5 – 9	Muy Alto	1
10-13	Alto	2
14-17	Moderado	3
18-21	Bajo	4
22-25	Muy Bajo	5

Limitaciones y potencialidades técnicas

A continuación, se presenta un resumen de las principales limitaciones y potencialidades de este factor, las cuales se desprenden de la representación de las variables y las interacciones que se dan entre ellas. Las limitaciones y potencialidades están asociadas únicamente al conjunto de variables que forman parte de este factor.



Tabla 1-14. Limitaciones y potencialidades técnicas del factor geodinámica externa

IFA	Limitaciones	Potencialidades
2	Importantes limitaciones al desarrollo antrópico por pendientes, erosión, sedimentación o una combinación de éstas.	Esta zona es apta para el uso ecoturístico y de recreación, investigación y conservación. También, son tierras aptas para pastos en pendientes intermedias y para el manejo de bosque natural o regeneración de este.
3	Desarrollo de actividades humanas controlado particularmente en las zonas de pendiente media.	Mayor compatibilidad con el desarrollo de actividades humanas debido a que son zonas de baja pendiente. Amplio espectro de posibilidades donde la pendiente determina el grado de intervención que podría permitirse.
4	Desarrollo de actividades humanas sin limitaciones importantes	Potencial de desarrollo urbano de mediana y alta densidad.

Certidumbres técnicas

La Tabla 1-15 muestra la estimación de las certidumbres técnicas para este factor. El peso otorgado para cada variable analizada se da en función del criterio de experto. La sumatoria fue de 141, lo cual indica un grado de certidumbre muy alto.

Tabla 1-15. Certidumbres técnicas del factor geodinámica externa

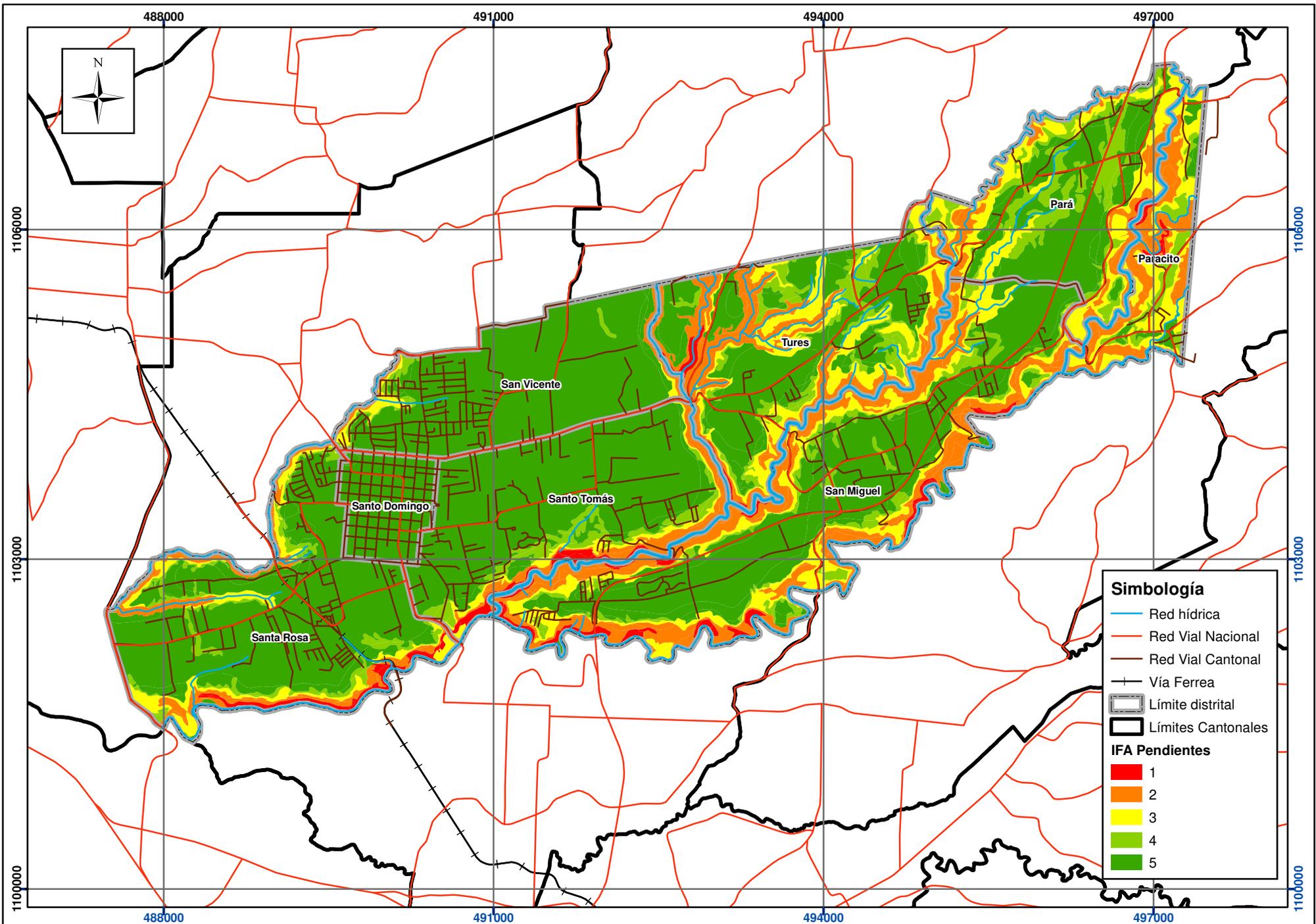
Valores Criterios y su peso	Muy alto (5)	Alto (4)	Moderado (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)
	Categorías de pendiente (10)	50			
Relieve relativo (5)	25				
Densidad de drenaje (4)		16			
Áreas de erosión activa (6)	30				
Áreas de sedimentación activa (4)	20				
Sumatoria	125	16	0	0	0
Resultado final	145 - 122	121 - 99	98 - 76	75 - 53	52 - 29

Referencias

- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. EOS, Transactions American Geophysical Union, 13(1), 350-361.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological society of America Bulletin, 56(3), 275-370.
- Nir, D. (1957). The Ratio of Relative and Absolute Altitudes of Mt. Carmel: A Contribution to the Problem of Relief Analysis and Relief Classification. Geographical Review, 47(4), 564-569.



- Oguchi, T. (1997). Drainage density and relative relief in humid steep mountains with frequent slope failure. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group*, 22(2), 107-120.
- Schulze, R. E., & Horan, M. J. C. (2007). Altitude and relative relief. *South African Atlas of Climatology and Agrohydrology*. Water Research Commission, Pretoria, RSA, WRC Report, 1489(1), 06.
- Smith, G. H. (1935). The relative relief of Ohio. *Geographical review*, 25(2), 272-284.



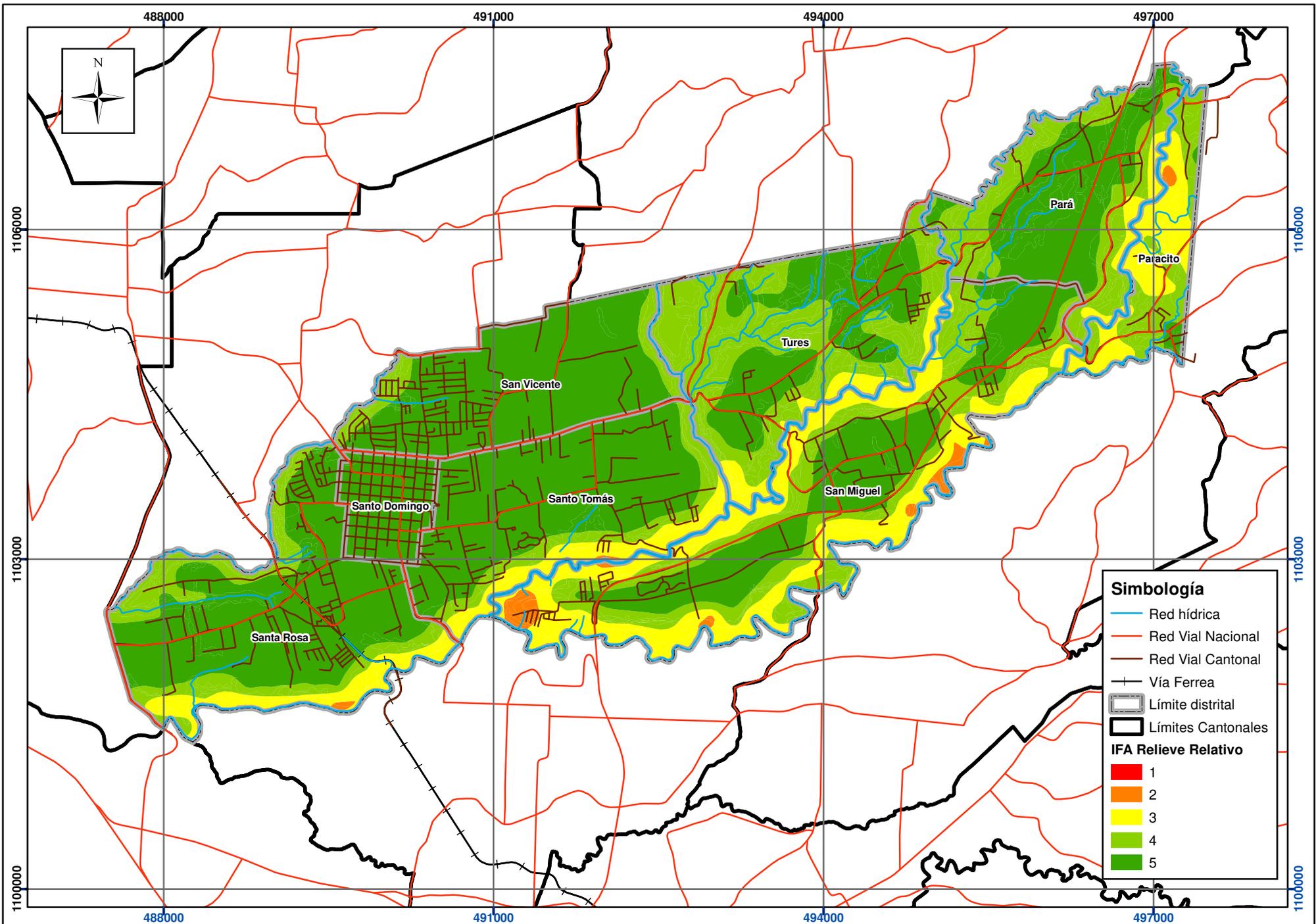
Mapa 1.2-1. Geoaptitud. Geodinámica Externa. Pendientes en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
SNIT 1:25.000,
SNIT: CENIGA 2019;
ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





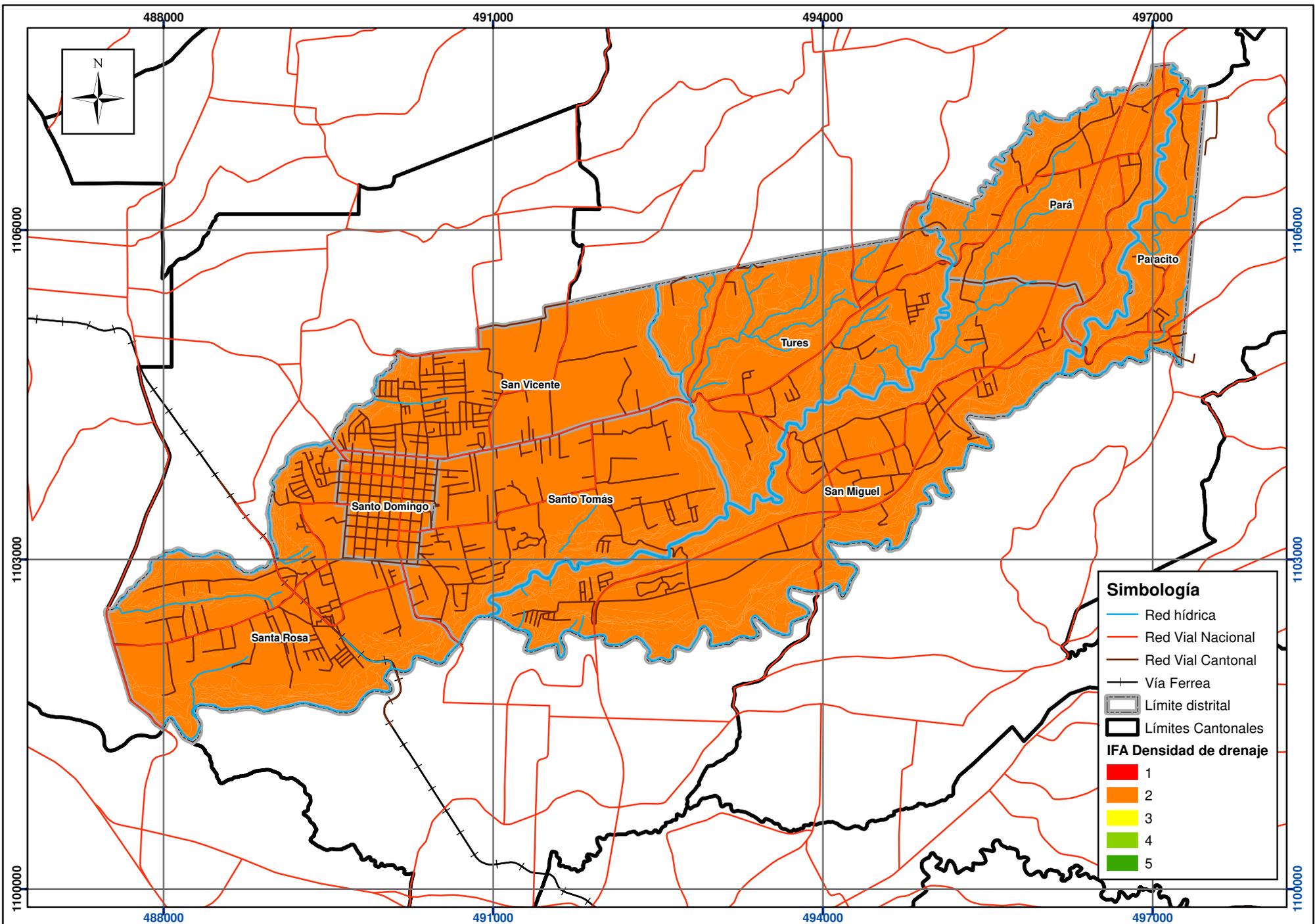
Mapa 1.2-2. Geoaptitud. Geodinámica Externa. Relieve relativo en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)



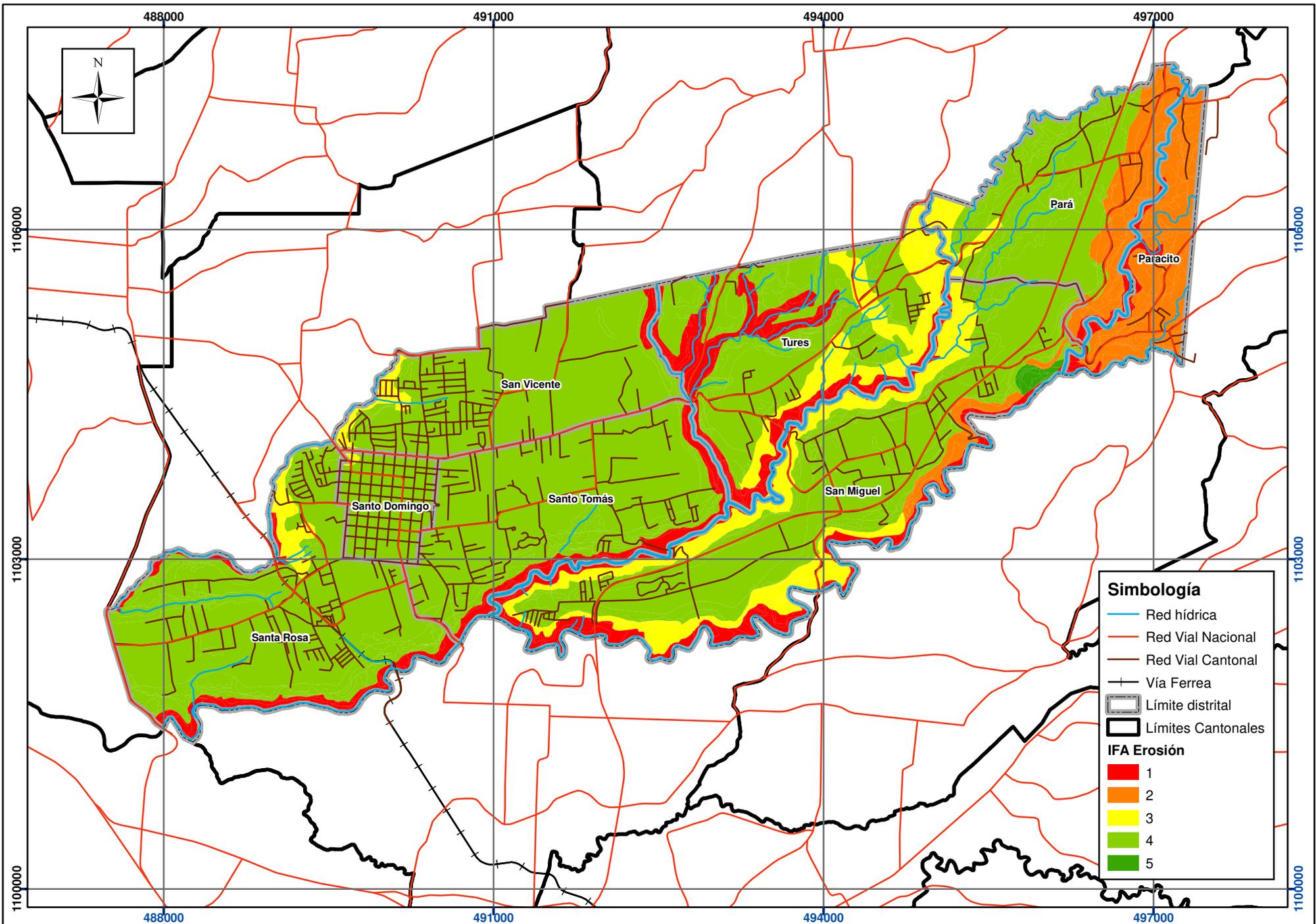


Mapa 1.2-3. Geoaptitud. Geodinámica Externa. Densidad de drenaje en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

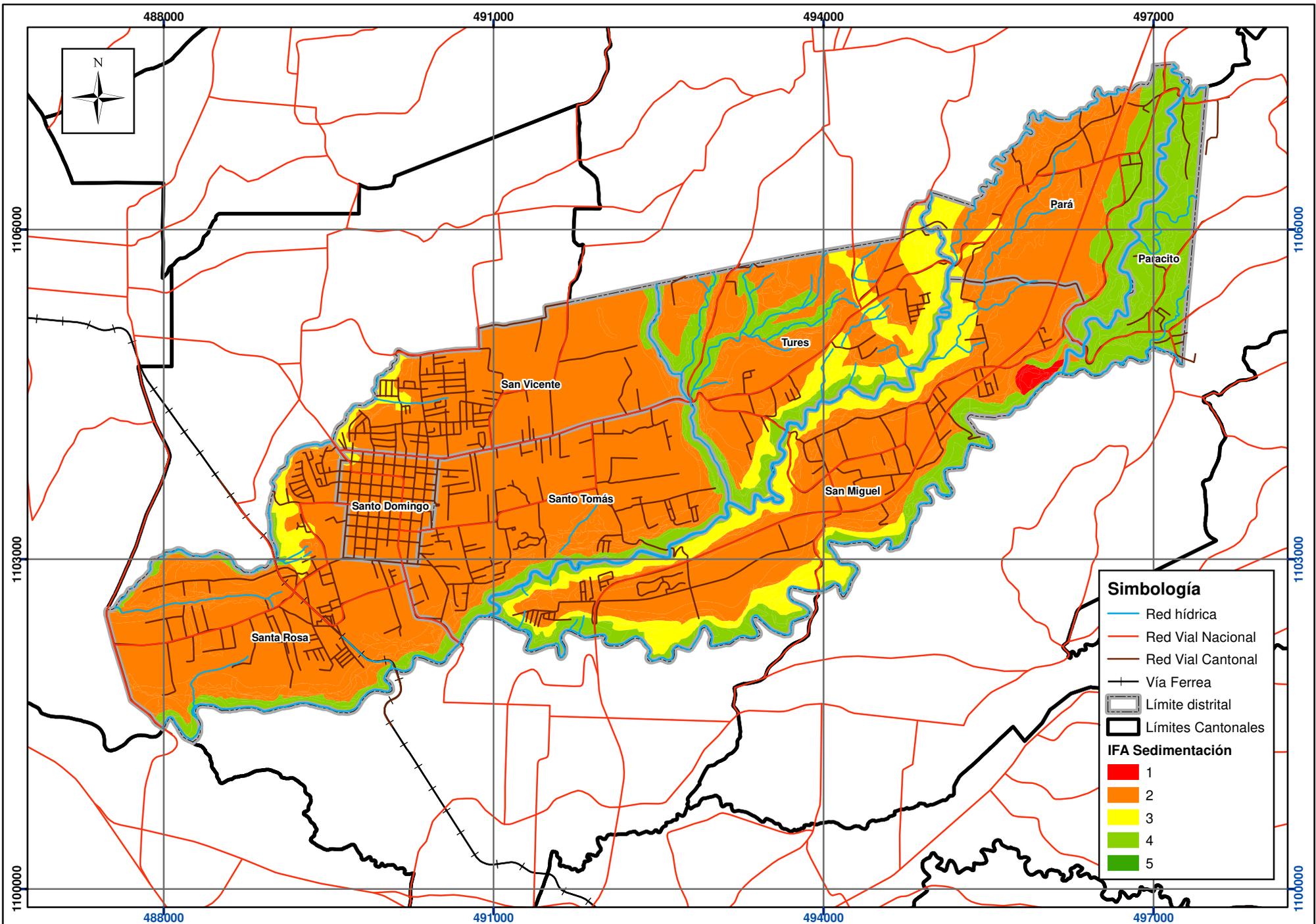
Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)



Mapa 1.2-4. Geoaptitud. Geodinámica Externa. Erosión del suelo en el cantón de Santo Domingo.
 Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.
 Escala 1:45 000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)



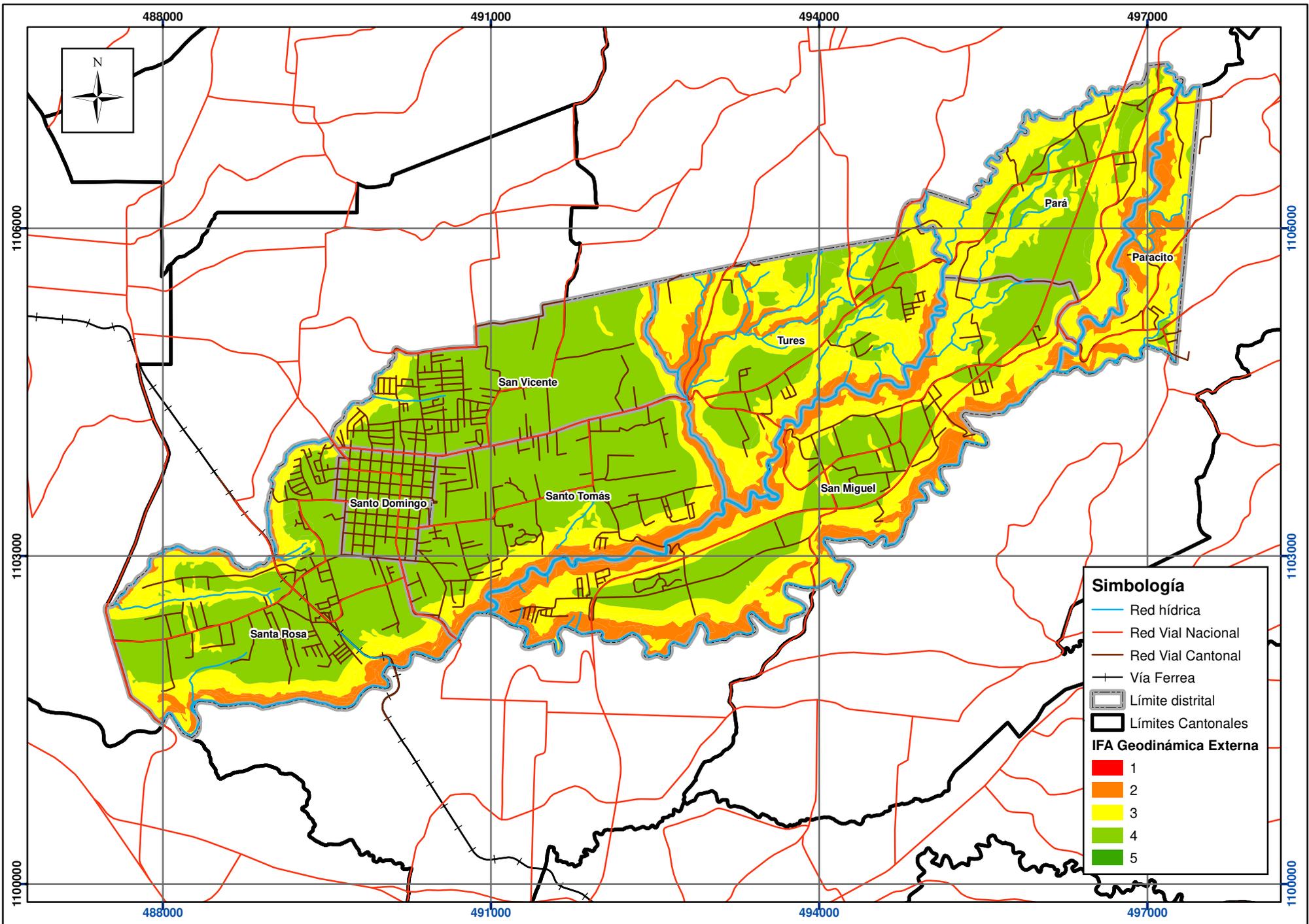
Mapa 1.2-5. Geoaptitud. Geodinámica Externa. Sedimentación del suelo en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





Mapa 1.2-6. Geoaptitud. Factor geodinámica externa integrado en el cantón de Santo Domingo.
 Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)





1.3. Factor hidrogeológico

Para la estimación de este factor, se sigue el procedimiento definido en el Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA). De acuerdo con este documento, este factor originalmente resulta de la combinación de las siguientes variables:

- Densidad de drenaje
- Índice del perfil hidrogeológico
- Potencial de infiltración
- Localización de manantiales y pozos
- Precipitación promedio anual

El Decreto señala la necesidad de calcular el índice GOD, que permite evaluar de manera preliminar el riesgo de contaminación de los acuíferos subyacentes, sin embargo, no se especifica que este índice debe ser integrado como una variable en el cálculo del factor o si sólo debe contemplarse como un mapa de referencia.

Entonces, considerando lo anterior, se tiene que las variables empleadas para el cálculo de este factor son:

- Densidad de drenaje
- Índice del perfil hidrogeológico
- Potencial de infiltración
- Precipitación promedio anual
- Índice de vulnerabilidad GOD

A continuación, se incluye el diagrama resumen planteado para este factor, el cual busca clarificar y esquematizar algunos de los procesos de cálculo utilizados. Este diagrama incluye información contextual que no influye directamente en el cálculo del IFA factor hidrogeológico integrado. La variable densidad de drenaje se calcula dentro del factor geodinámica externa.



Figura 1-12. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del factor hidrogeológico.



1.3.1. Características hidrogeológicas generales

El cantón de Santo Domingo está formado por rocas ígneas del Pleistoceno, dentro de las cuales se encuentran coladas de lava, ignimbritas, tobas y piroclastos, las cuales forman uno de los sistemas acuíferos más importantes del Valle Central.

Los acuíferos se forman en los sectores de mayor fracturamiento, principalmente de las lavas, mientras que las tobas e ignimbritas presentan una menor conductividad hidráulica.

Como base para el factor hidrogeológico se describe a continuación el modelo hidrogeológico conceptual de la zona de estudio, para la realización se utilizó como base el mapa geológico del apartado de geología, se realizó una investigación bibliográfica de estudios previos en la zona, se realizaron perfiles hidrogeológicos a partir del registro de pozos dentro del cantón y se correlacionaron las unidades hidrogeológicas (Mapa 1.3-1).

Modelo hidrogeológico conceptual

Según la base de datos de SENARA dentro del área de estudio hay 99 pozos, sin embargo, de estos únicamente 78 cuentan con información litológica, se tomaron en cuenta además algunos pozos fuera del área de estudio con el fin de considerar sus descripciones dado que se trata de pozos profundos en los alrededores del cantón.

Los pozos se ubican distribuidos en toda el área de estudio, pero principalmente en el sector central y suroeste del cantón, mientras que en el extremo suroeste del distrito de Santa Rosa en el cañón del río Virilla la Formación Colima da origen a los manantiales La Libertad y Chorros del Virilla.

La unidad inferior en el sector suroeste del cantón se correlacionó la Formación Colima, sin embargo, debido a la profundidad de esta, no pudo determinarse su continuidad hacia el sector noreste. En algunos estudios regionales se ha extendido la formación hasta los límites de la cuenca del río Virilla, pero su límite no ha sido bien estudiado, además al acercarse a los cerros del Zurquí la estratigrafía se vuelve más compleja debido a la alternancia de materiales.

Dicha unidad inferior está compuesta por lavas y fue alcanzada al menos por siete pozos (Figura 1), estas se describen como lavas andesíticas cuyas fracturas y sectores brechosos le confieren muy buenas condiciones hidrogeológicas, mientras que algunos sectores de lavas densas y fracturas cerradas son casi impermeables, debido a su profundidad lo convierte en un acuífero difícil de explorar.

Esta unidad se correlaciona con el Miembro Belén definido por Echandi (1981), según el mismo autor, a nivel regional, este acuífero presenta transmisividades de hasta 16000 m²/d y la mayor parte de los pozos que captan esta unidad se encuentran en Santo Domingo de Heredia; además, esta unidad origina importantes manantiales al descargarse en el río Virilla al oeste de San Antonio de Belén.

Sobreyaciendo las lavas del Miembro Belén se encuentra una capa de tobas e ignimbritas correlacionada con el Miembro Puente Mulas también de la Formación Colima. Algunos



pozos describen tobas arcillosas o intercalaciones de arcillas las cuales conformarían un acuicludo.

Algunos sectores del Miembro Puente Mulas presentan permeabilidad secundaria por lo que presentan niveles de agua captado por algunos pozos (Figura 2), sin embargo, según las descripciones no representa una zona muy productora. Su espesor promedio, en la zona de estudio, ronda los 20 m y el espesor máximo se encuentra al noreste del área (pozo BA-620).

Sobreyaciendo las tobas e ignimbritas del Miembro Puente Mulas, se encuentra otra capa de coladas de lava las cuales se correlacionan con el Miembro Linda Vista o Colima Superior. De acuerdo con la información de los pozos y estudios previos, los sectores brechosos de esta unidad origina un acuífero regional muy importante, con transmisividades de hasta 20000 m²/día, la conductividad hidráulica de la unidad disminuye en algunos sectores de mayor densidad de las lavas.

Esta unidad se encuentra aflorando en el cañón del río Virilla y el río Tibás en la zona de estudio, y origina manantiales en el sector suroeste como se mencionó anteriormente, entre estos, el manantial La Libertad, uno de los de mayor caudal identificados en el Valle Central alcanzando hasta los 100 l/s, también el acuífero Colima origina otros manantiales de importancia regional fuera del cantón de Santo Domingo, a lo largo del río Virilla entre San Juan de Tibás y San Antonio de Belén con caudales entre 100 l/s a 1000 l/s, varios de ellos constituyen fuentes de agua potable para el Gran Área Metropolitana (Vargas, 2002).

Sobreyaciendo a Colima Superior se encuentran tobas e ignimbritas correlacionadas con la Formación Tiribí, la más extendida en superficie en el cantón de Santo Domingo. Su espesor dentro del cantón varía entre 30 m y 80 m, esto se debe a que los flujos ignimbríticos rellenan la topografía, en algunos afloramientos se han observado diferencias de espesor similares (Pérez, 2020).

Si bien los materiales de la Formación Tiribí presentan baja permeabilidad, de acuerdo con Echandi (1981) en algunos sectores, las ignimbritas presentan buen diaclasamiento, pero tienden a ceder el agua hacia los acuífero inferiores, por lo tanto es importante para el proceso de recarga.

En el sector del distrito de San Vicente, sobreyaciendo la Formación Tiribí se encuentran lavas de la Formación Barva, si bien a nivel regional estas lavas generan importantes acuíferos y dan lugar a importantes manantiales, en la zona de estudio solo aflora en un sector y son pocos los pozos que las captan. De acuerdo con Echandi (1981) esta unidad da origen a numerosos manantiales con caudales entre 30 l/s y 50 l/s, sin embargo, ninguno de estos se encuentra dentro del cantón de Santo Domingo.



1.3.2. Densidad de drenaje

La densidad de drenaje se determinó en la sección de Geodinámica externa.

1.3.3. Índice de perfil hidrogeológico

Sobre esta variable el Decreto establece categorías según el potencial de producción de las unidades geológicas. De acuerdo con la descripción realizada en el modelo hidrogeológico conceptual en el cantón se encuentra un sistema acuífero de gran importancia regional asociado con la Formación Colima, este es sobreyacido por una unidad con materiales de menor permeabilidad asociado con la Formación Tiribí, mientras que las lavas de la Formación Barva también forman importantes acuíferos y no se cuenta con información de los depósitos coluvio aluviales al noreste del área.

Por lo tanto, según la Tabla 1-17, se asignó un valor IFA de 1 y 2 la distribución se puede observar en el mapa 1.3-2.

Tabla 1-16. Categorías del índice de perfil hidrogeológico, según Decreto N° 32967

Valor del índice	1	2	3	4	5
Índice de perfil hidrogeológico	Unidades litoestratigráficas que incluyen acuíferos de alto potencial de producción	Unidades litoestratigráficas que incluyen acuíferos de bajo potencial de producción, pero dentro de unidades subyacidas se encuentra acuíferos importantes	Unidades litoestratigráficas que incluyen acuíferos de bajo potencial de producción	Unidades litoestratigráficas sin acuíferos conocidos, pero dentro de unidades subyacidas se encuentra acuíferos de bajo potencial de producción	Unidades litoestratigráficas sin acuíferos conocidos, ni dentro de estratos subyacidos

1.3.4. Potencial de infiltración

En la sección 5.5.1 del decreto de elaboración de los IFAs se menciona que la variable “Potencial de infiltración en el terreno” se basa en datos de permeabilidad aparente y factor de lineación del IFA litopetrofísico. Sin embargo, al no expresar el decreto la forma de cuantificar y unificar estas variables se consideró más apropiado utilizar la recarga potencial del cantón, la cual, con la metodología de Schosinsky (2006), incluye el cálculo del potencial de infiltración y la evapotranspiración, ya que no toda el agua que se infiltra se convierte en recarga potencial, una parte del agua debe llenar las necesidades de evapotranspiración y el sobrante percola para recargar los acuíferos.

La recarga potencial en la cuenca del río Virilla fue calculada por Ramírez (2014) utilizando la metodología de Schosinsky (2006), de acuerdo con este estudio, la recarga potencial para los acuíferos Colima y Barva es de 9703 l/s, esta se da principalmente en las zonas altas de la cuenca y disminuye en las zonas bajas y zonas urbanas donde se considera nula.

Cabe recalcar que el estudio de Ramírez (2014) considera únicamente recarga por infiltración de agua de lluvia en los suelos, más no así otros posibles mecanismos, como por ejemplo zonas de efluencia-influencia de los ríos o retornos al sistema. En el caso de la zona urbana y los cuerpos de agua se clasificaron como zonas de recarga muy baja, esto debido a que la impermeabilización disminuye considerablemente la recarga por infiltración de agua de lluvia en los suelos, en las zonas urbanas la recarga se da por otros mecanismos.

Ramírez (2014) clasificó la recarga desde 0 mm/año (muy baja), 0-400 mm/año (baja), 400-800 mm/año (moderada), 800-1200 mm/año (alta) y 1200-1800 mm/año (muy alta). En el cantón de Santo Domingo se clasificaría al noreste como recarga moderada y el suroeste como recarga baja, mientras que las zonas urbanas su clasificación es muy baja, por las razones anteriormente mencionadas.

Los valores IFA asignados para las zonas de recarga van desde moderado a muy bajo, la distribución se puede observar en el mapa 1.3-3.

1.3.5. Precipitación

Para el cálculo de esta variable se toma como base el Atlas Meteorológico 2013 del Instituto Meteorológico Nacional (IMN). El Atlas incluye un mapa de precipitación mensual registrada en el país desde 1960 hasta el 2013. De dichos mapas se calculó la precipitación promedio anual, sin embargo, dentro del cantón sólo se ubican tres categorías, por lo que se seleccionó un área mayor y se reclasifico en 5 categorías como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 1-17. Clasificación de la precipitación media anual

Precipitación promedio mensual (mm)	Valor IFA
1689,67 – 2395,92	5
2395,92-3266,97	4
3266,97-4373,44	3
4373,44-5903,66	2
5903,66 – 7692,84	1

Prácticamente todo el cantón se encuentra dentro de la categoría IFA 5, ya que la precipitación media anual varía entre 1500 mm a 2000 mm, únicamente el extremo noreste del área, entre los distritos Pará y Paracito la precipitación aumenta al rango entre 2000 mm a 3000 mm por lo que se clasifica en la categoría IFA 4 (mapa 1.3-4).

1.3.6. Índice de vulnerabilidad GOD

El índice de vulnerabilidad GOD consiste en la determinación de una serie de parámetros y características del medio, que permiten estimar la susceptibilidad de un acuífero ante el derrame de un contaminante en la superficie. Esta se considera el primer paso para la determinación de riesgo de contaminación de aguas subterráneas con el fin de establecer prioridades.



El método considera la evaluación de los siguientes tres factores:

- **G** (*groundwater occurrence*), relacionado al grado de confinamiento hidráulico del acuífero.
- **O** (*overall aquifer class*), corresponde con la ocurrencia del sustrato suprayacente a la zona saturada del acuífero en términos de su grado de consolidación y tipo de litología.
- **D** (*depth*), se refiere a la distancia del agua que puede tratarse del nivel freático para los acuíferos libre o al techo del primer acuífero confinado.

Cada factor posee un valor entre 0 y 1 (Figura 1-17), el índice de vulnerabilidad se calcula como el producto de los factores anteriores:

$$\text{Índice de vulnerabilidad} = G * O * D$$

La vulnerabilidad del cantón de Santo Domingo fue calculada por SENARA, los datos fueron tomados del SNIT. De acuerdo con el cálculo realizado la zona de estudio presenta vulnerabilidad moderada en aquellas zonas donde aflora la Formación Tiribí, mientras que es alta en los sectores donde las lavas de la Formación Colima se encuentran expuestas a lo largo del río Virilla y Tibás principalmente.

Los valores asignados por el estudio realizado por SENARA se pueden observar en la Tabla 1-19.

Tabla 1-18. Resumen de índices GOD utilizados

Índice	Fm. Tiribí y Barva	Acuífero Colima	Dep. Aluviales
G	0,9	1	1
O	0,7	0.8	0.7
D	0.6	0.8	0.8
TOTAL	0.38	0.64	0.336
Vulnerabilidad	Moderada	Alta	Alta

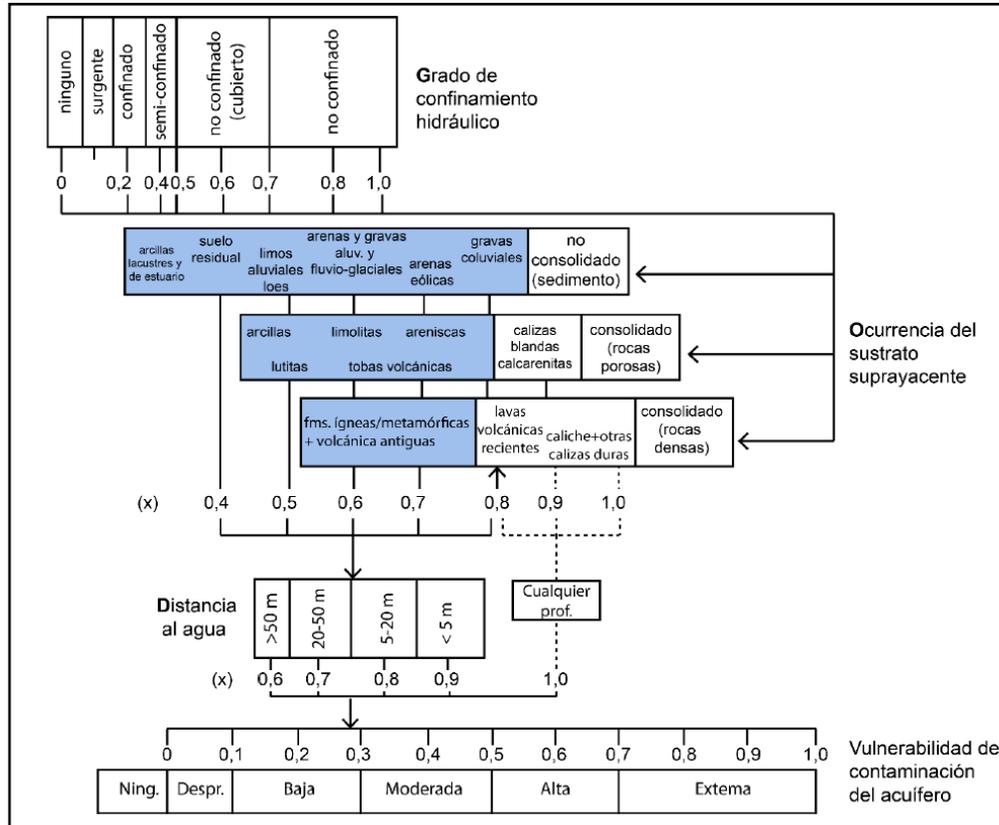


Figura 1-15. Resumen de los índices de la metodología GOD. Modificado de (Foster et al., 2002).

1.3.7. Factor hidrogeológico integrado

Finalmente se procede a calcular el factor hidrogeológico integrado mediante la suma y posterior reclasificación de las variables de densidad de drenaje, índice de perfil, potencial de infiltración, precipitación promedio y vulnerabilidad intrínseca a la contaminación. Sobre esta última cabe recalcar que, si bien el Decreto señala que debe calcularse, no clarifica si su resultado debe integrarse dentro del esquema de determinación del factor hidrogeológico, sin embargo, dada la importancia de esta variable y su relevancia en el análisis de los acuíferos, se decide hacer su inclusión en el cálculo.

La sumatoria y reclasificación se ajusta a lo señalado en el Decreto, al reunir 5 variables el valor máximo sería de 25. La reclasificación se ajusta como lo indica la Tabla 4, los resultados se pueden observar en el mapa 1.3-6.

De manera general se observa que la zona donde aflora rocas relacionadas con el acuífero Colima Superior, es decir, a lo largo del río Virilla y Tibás la clasificación del índice IFA varía de moderado a alto, al igual que el sector noreste donde hay una mayor recarga. Mientras que al suroeste donde aflora las tobas e ignimbritas de la Formación Tiribí se clasifica con un índice IFA de bajo a muy bajo.

Tabla 1-19. Sumatoria de reclasificación de la sumatoria para el cálculo del factor hidrogeológico.

Sumatoria de las 5 variables	Categoría	Valor reclasificado
5-9	Muy alto	1
10-13	Alto	2
14-17	Moderado	3
18-21	Bajo	4
22-25	Muy bajo	5

Limitaciones y potencialidades técnicas

A continuación, se presenta un resumen de las principales limitaciones y potencialidades del factor hidrogeológico, las cuales se desprenden de la representación de las variables y las interacciones que se dan entre ellas. Las limitaciones y potencialidades que se muestran a continuación están asociadas únicamente con el conjunto de variables que forman parte de este factor, de manera que es posible que en una localización este factor no represente una limitación significativa mientras que otro factor o eje IFA si podría serlo.

Tabla 1-20. Limitaciones y potencialidades técnicas del factor hidrogeológico.

IFA	Limitaciones	Potencialidades
2	Zonas de mayor fragilidad debido a que son zonas con potencial de infiltración moderado y vulnerabilidad intrínseca a la contaminación alta	Usos de protección, recuperación y reforestación. Conservación y recarga hídrica.
3	Zona de fragilidad moderada por vulnerabilidad a la contaminación.	Usos de protección, recuperación y reforestación para las zonas de vulnerabilidad a la contaminación moderada. Desarrollo residencial debe contar con alcantarillado sanitario y planta de tratamiento.

Certidumbres técnicas

A continuación, se presenta la tabla con las certidumbres técnicas para el factor hidrogeológico. El peso otorgado para cada variable analizada se da en función del criterio de experto. El valor estimado fue de **187**.

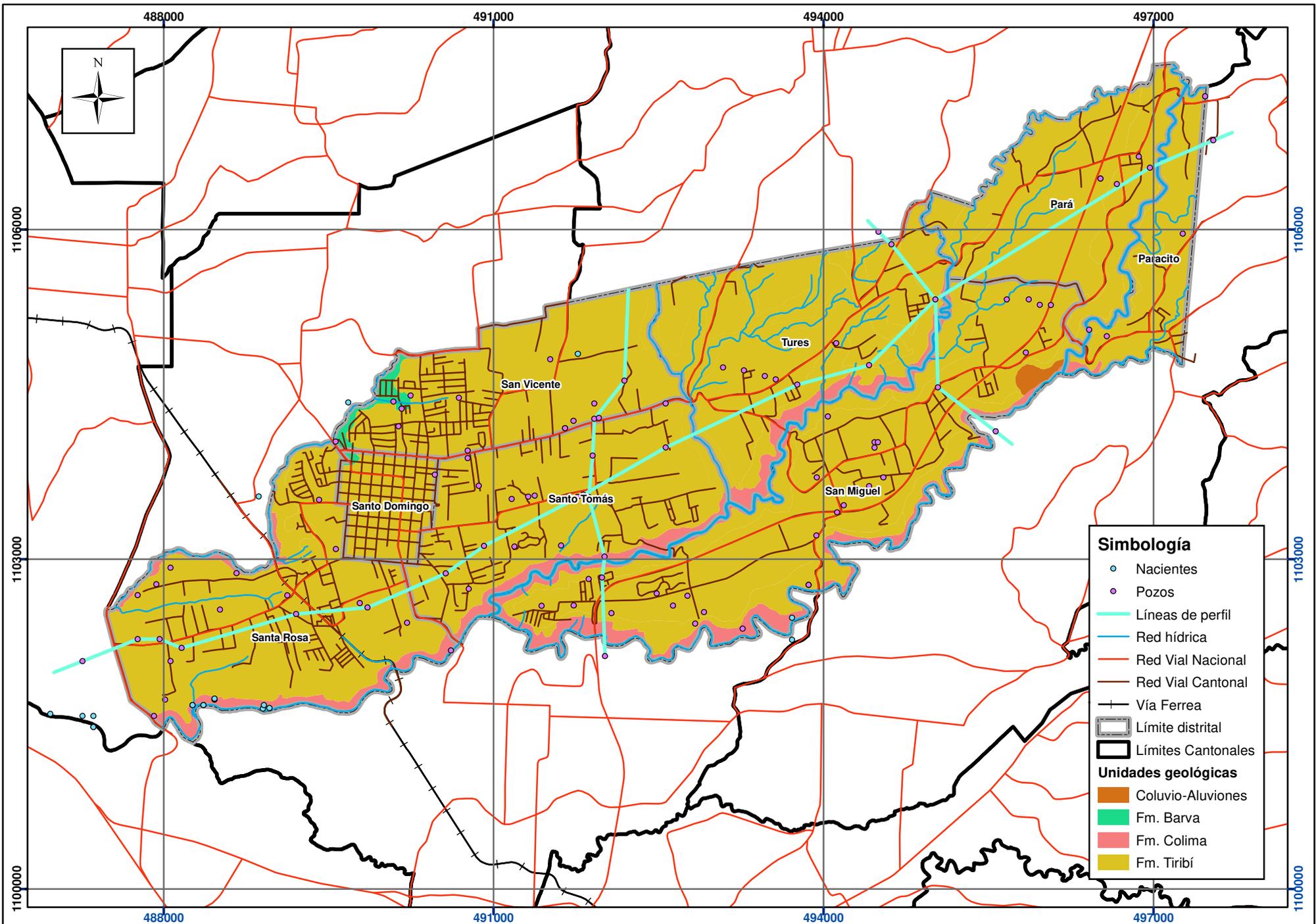


Tabla 1-21. Certidumbres técnicas del factor hidrogeológico.

Valores Criterios y su peso	Muy alto (5)	Alto (4)	Moderado (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)
Densidad de drenaje (4)		16			
Índice de perfil hidrogeológico (9)		36			
Potencial de infiltración (10)	50				
Precipitación (8)	40				
GOD (10)		40			
Sumatoria	90	92	0	0	0
Resultado final	205-172	171-139	138-106	105-73	72-41

Referencias

- Echandi, E. (1981). *Unidades volcánicas de la vertiente norte de la cuenca del río Virilla*. Universidad de Costa Rica.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'elia, M., & Paris, M. (2002). *Groundwater Quality Protection. A guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies* (p. 103). p. 103. Washington, D.C., USA: The World Bank.
- Ramírez, R. (2014). *Recarga y extracción hídrica de los acuíferos Colima y Barva, Valle Central, Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista Geológica de América Central*, (34–35). <https://doi.org/10.15517/RGAC.V0I34-35.4223>
- Vargas, A. (2002). Manantiales de una parte del Valle Central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (27). <https://doi.org/10.15517/RGAC.V0I27.7803>
- Villon Bejar, M. (2002). *Hidrología* (Primera). Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Simbología

- Nacientes
- Pozos
- Líneas de perfil
- Red hídrica
- Red Vial Nacional
- Red Vial Cantonal
- Vía Ferrea
- ▭ Limite distrital
- ▭ Límites Cantonales

Unidades geológicas

- Coluvio-Aluviones
- Fm. Barva
- Fm. Colima
- Fm. Tiribí

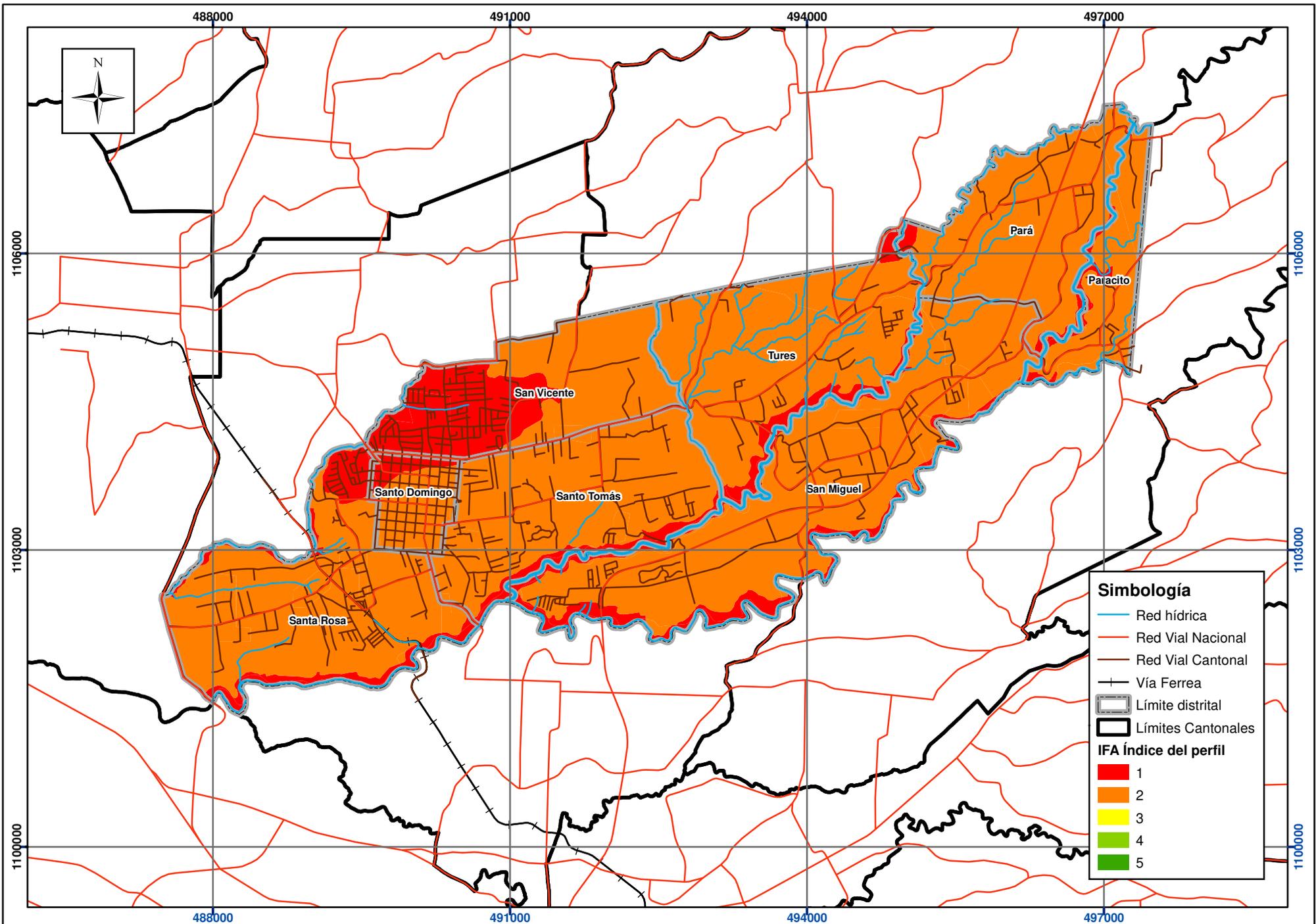
Mapa 1.3-1. Geoaptitud. Factor Hidrogeológico. Mapa hidrogeológico del cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





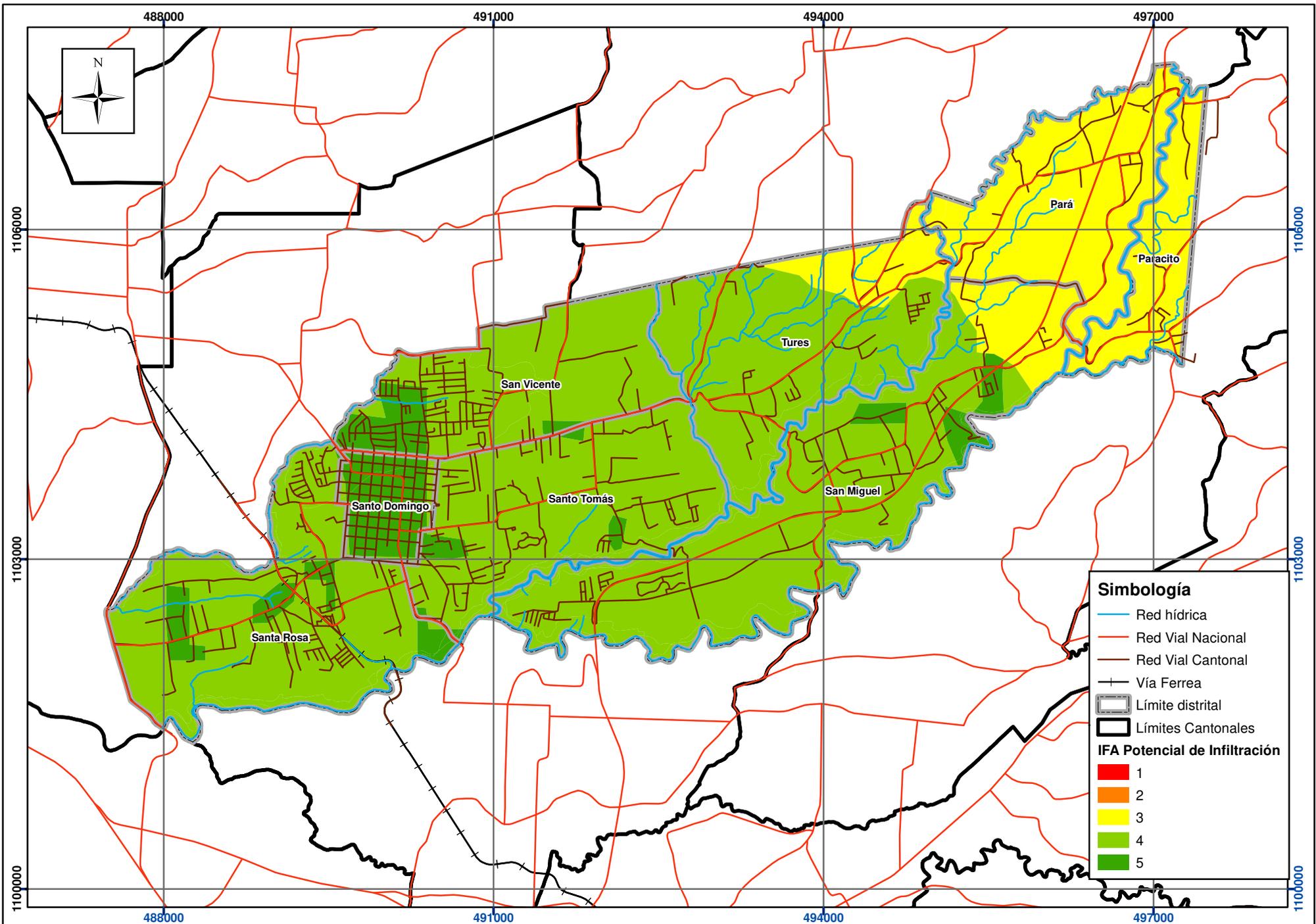
Mapa 1.3-2. Geoaptitud. Factor Hidrogeológico. Índice del perfil hidrogeológico en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:50.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)



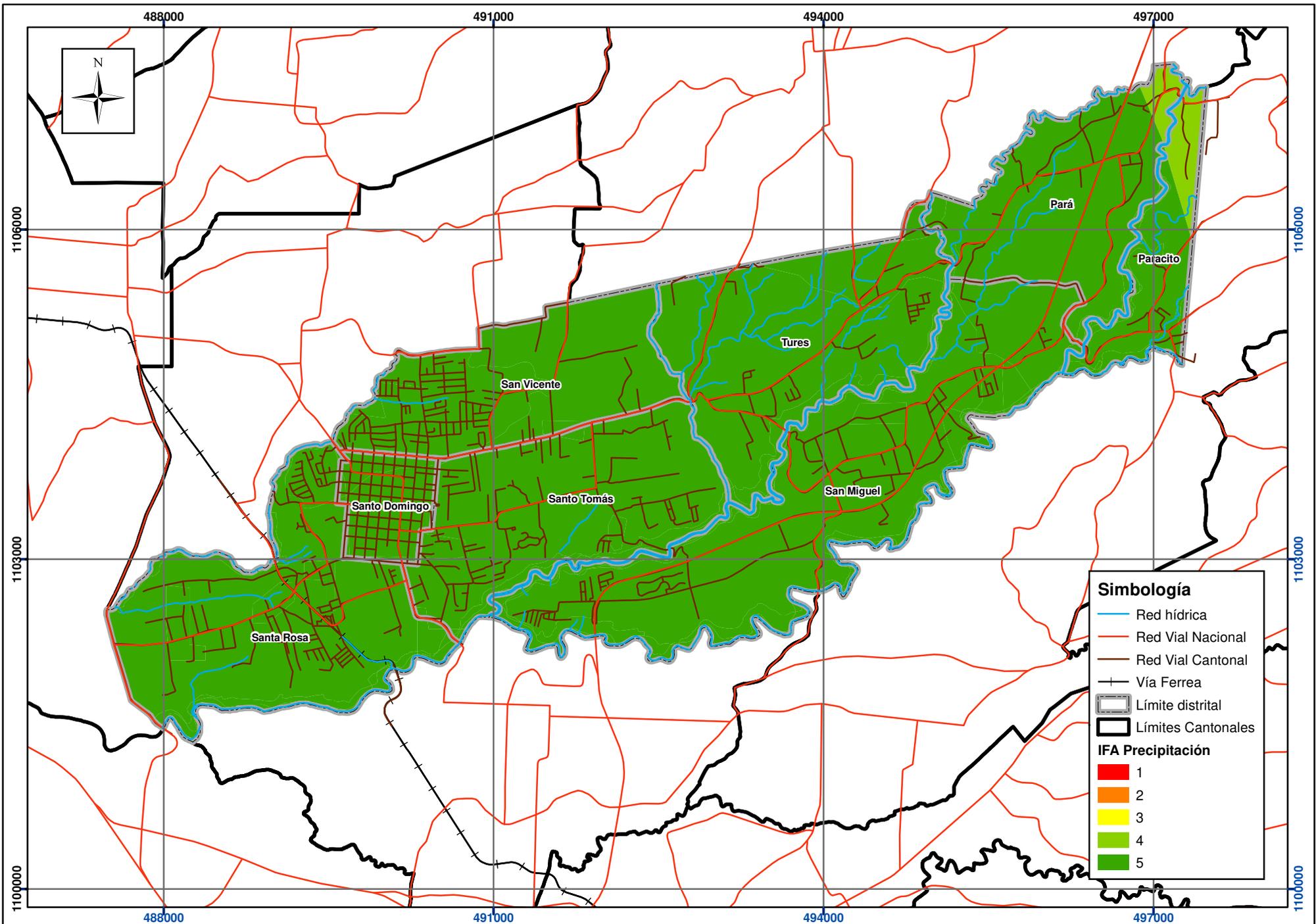


Mapa 1.3-3. Geoaptitud. Factor Hidrogeológico. Potencial de infiltración en el cantón de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)



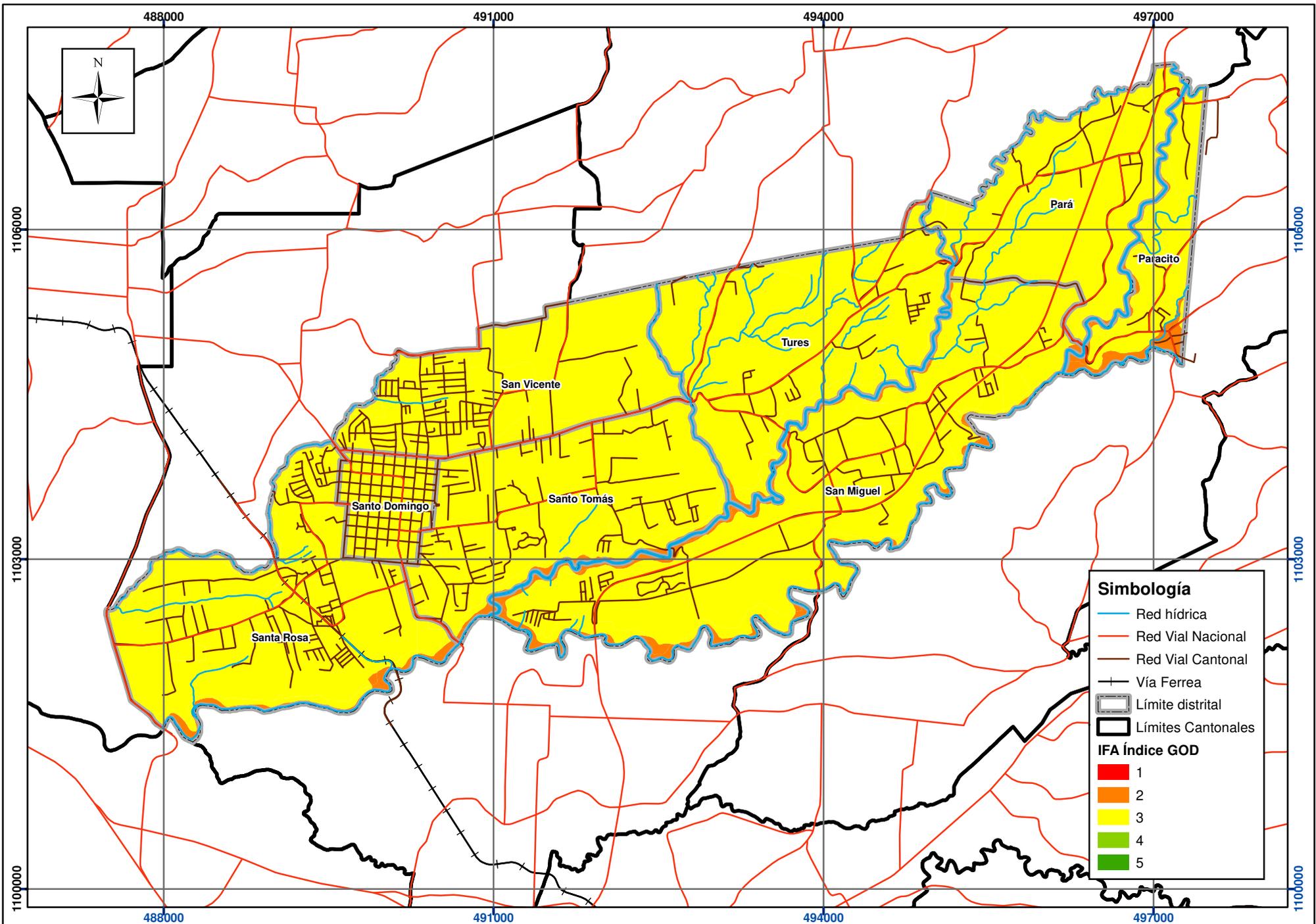


Mapa 1.3-4. Geoaptitud. Factor Hidrogeológico. Precipitación anual en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)



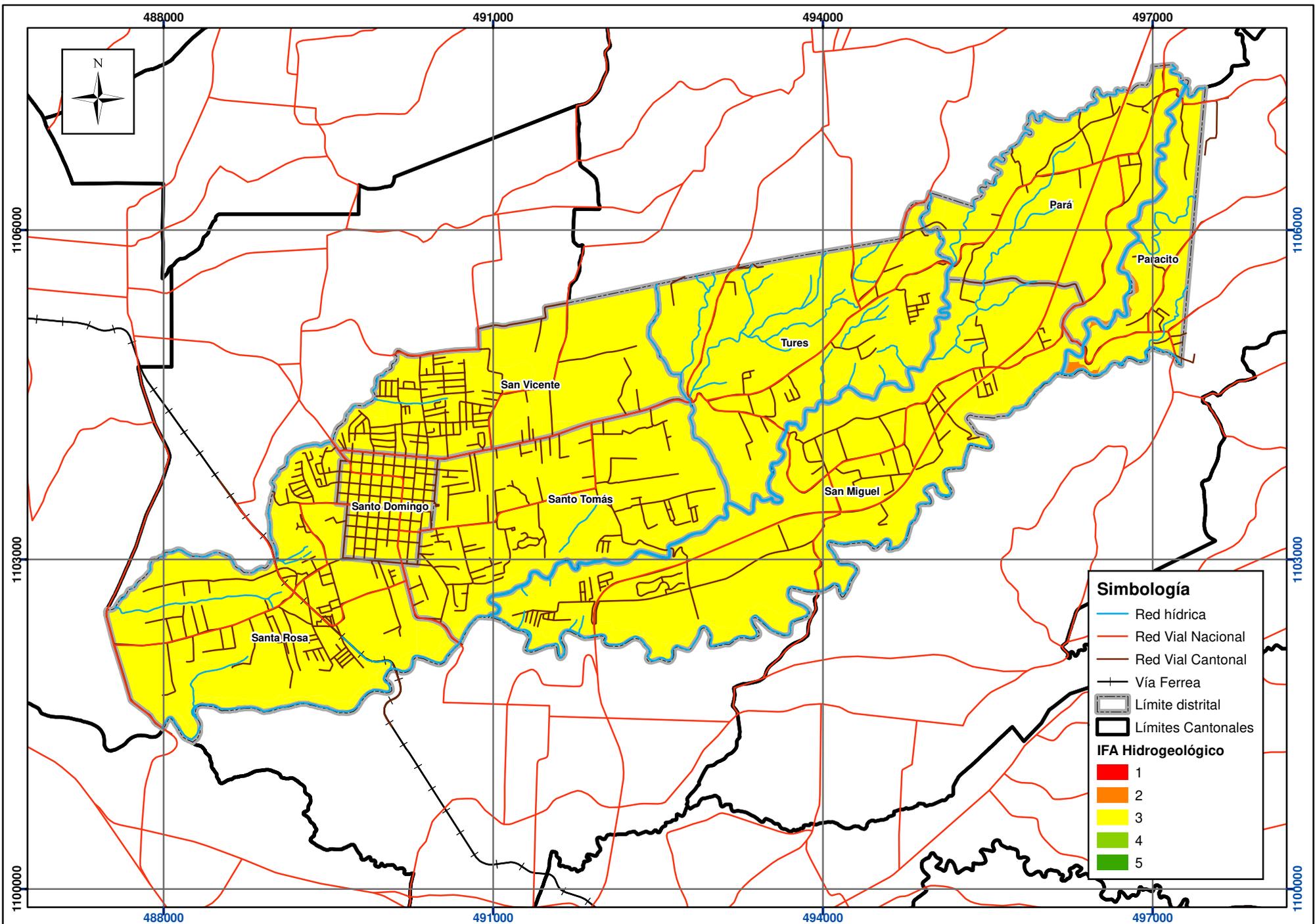
Mapa 1.3-5. Geoaptitud. Factor Hidrogeológico. Índice de vulnerabilidad GOD en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)





Mapa 1.3-6. Geoaptitud. Factor Hidrogeológico integrado en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)





1.4. Factor estabilidad de laderas (deslizamientos)

En este factor, el Decreto reúne diez variables, con las cuales se pretende determinar alguno de los componentes que intervienen en los procesos que activan y condicionan los deslizamientos; éstas son:

- Espesor de suelos
- Condiciones de precipitación promedio mensual
- Categoría de pendientes
- Factor de sismicidad
- Tipo de cobertura vegetal
- Presencia de fallas geológicas activas o potencialmente activas
- Importancia de los procesos de erosión
- Importancia de los procesos de sedimentación
- Zonas de importancia hidrogeológica
- Dirección del talud respecto a la dirección dominante de lineaciones

A estas variables se les asigna un valor de acuerdo con la tabla de correspondencias incluida en los anexos del Decreto N°32967. Una vez que estos valores son normalizados, el resultado describe la susceptibilidad a los deslizamientos, en donde: (1) es un valor crítico que indica una alta susceptibilidad al deslizamiento y (5) es un valor de muy baja susceptibilidad. Asimismo, el Decreto solicita incluir un mapa de unidades geomorfológicas, para lo cual se usó el construido para el factor litopetrofísico (Mapa 1.1-2).

Los deslizamientos son procesos mecánicos en los cuales, por el efecto de un disparador, la resistencia de los suelos a la falla por cortante es reducida, hasta que las cargas aplicadas sobre el talud empujan una masa del suelo en la dirección de la pendiente. La forma de la superficie de corte y el volumen de material liberado varía en función de múltiples parámetros.

Para estudiar este fenómeno la geotecnia ha desarrollado decenas de métodos, mayormente basados en modelos en dos dimensiones donde la cara de la montaña o talud es reducida a una sección transversal, en la cual se realizan una serie de consideraciones según el método. Según las consideraciones y los datos disponibles varía la rigurosidad de los métodos. Este tipo de modelación es difícil de volcar a un estudio espacial, tal como lo requiere el análisis IFA, debido a que dentro de un cantón es posible definir infinidad de secciones transversales y a cada una de ellas habría que realizarle la propuesta de sección transversal y aplicar el modelo elegido.

Algunas de las variables necesarias para el cálculo de este factor se obtienen de otras secciones donde son explicadas de acuerdo con el contexto de la agrupación a la que pertenecen. En la siguiente tabla se menciona la sección en la cual se detalla el cálculo y análisis de dichas variables.



Tabla 1-22. Variables descritas en otras secciones

Variable	Sección	Número de mapa
Espesor de suelos	Factor Litopetrofísico (IFA Geoaptitud)	1.1-7
Factor de sismicidad	Factor Amenazas Naturales (IFA Geoaptitud)	1.5-2
Tipo de cobertura vegetal	IFA Bioaptitud	3.5
Presencia de fallas geológicas	Factor Amenazas Naturales (IFA Geoaptitud)	1.5-3
Importancia de los procesos de erosión/sedimentación	Factor Geodinámica Externa (IFA Geoaptitud)	1.2-4 y 1.2-5
Zonas de importancia hidrogeológica	Factor Hidrogeología (IFA Geoaptitud)	1.3-7

A continuación, se muestra el diagrama de flujo que resume el proceso de cálculo y asignación de valores a las variables que componen este factor. El diagrama no presenta información contextual adicional. Como se mencionó anteriormente, contiene variables que también se calculan en otros factores como el espesor de suelo (litopetrofísico), la erosión, la sedimentación (geodinámico externo), cobertura vegetal (IFA bioaptitud), sismicidad, fallas activas o potencialmente activas (amenazas naturales) y geoaptitud hidrogeológica.

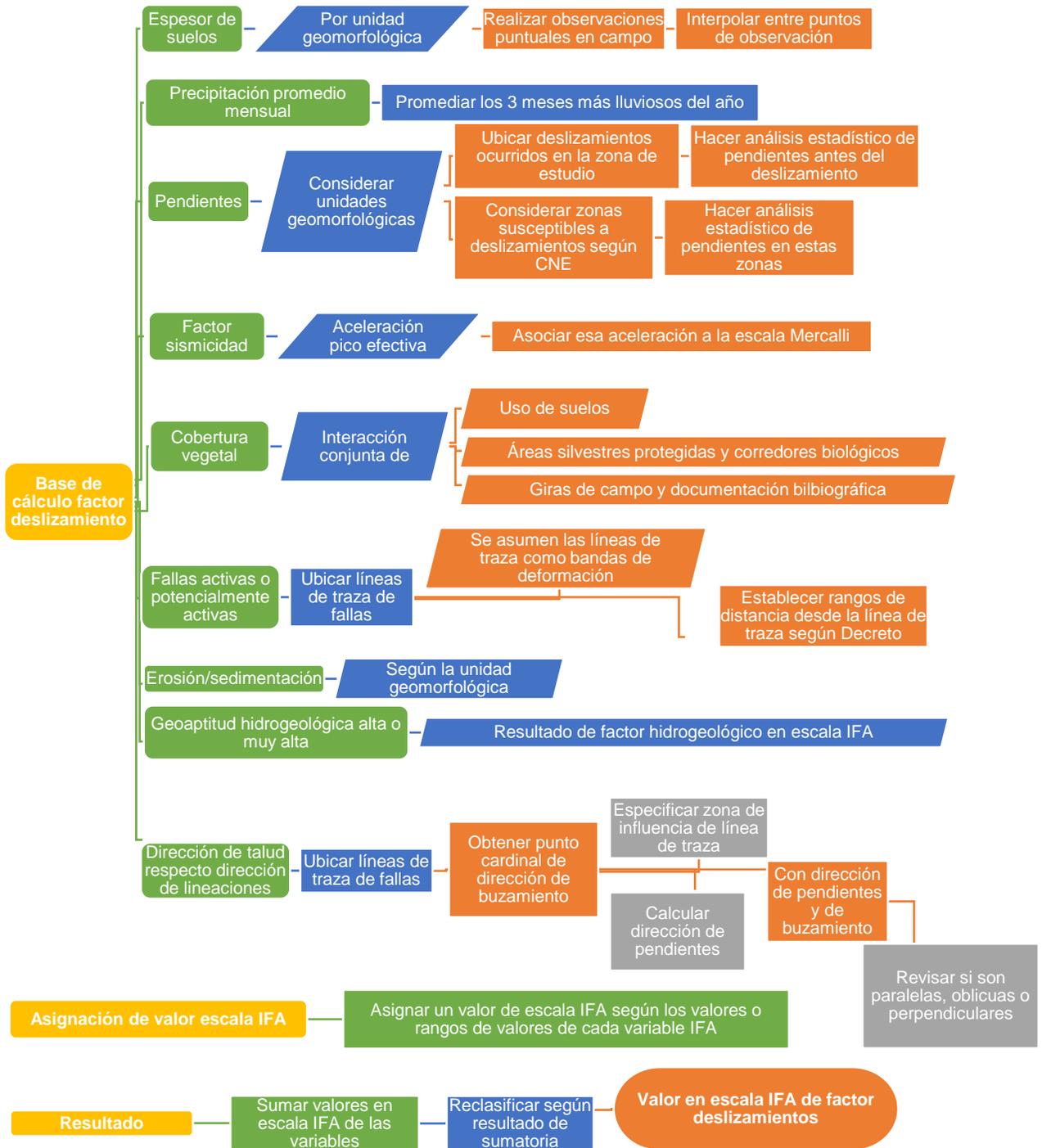


Figura 1-16. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del factor estabilidad de ladera o deslizamientos



1.4.1. Condiciones de precipitación promedio mensual

El análisis del efecto de la lluvia como un condicionante y disparador de los eventos de deslizamiento es primordial en cualquier modelación que se realice sobre esta temática, especialmente en un país tropical con altas precipitaciones e intensidades. Para la contemplación del efecto de la lluvia, el Decreto solicita que se contemplen los tres meses más lluviosos del año y con base en la precipitación media mensual se asigna un valor a la variable.

Para el cálculo se usó el Atlas Meteorológico del IMN con datos mensuales entre 1960 y 2013. Se revisó para todos los meses la precipitación media anual. A partir de los datos de isoyetas de los mapas publicados por el INM en el SNIT se generó una superficie de lluvia para cada mes en todo el país. Luego se procedió a calcular el acumulado de lluvia mensual para el cantón con el fin de determinar los 3 meses más lluviosos. Del análisis se desprende que los tres meses más lluviosos son agosto, setiembre y octubre. Las precipitaciones promedio mensual se procedieron a clasificar según la siguiente tabla.

Tabla 1-23. Clasificación de la condición de precipitación de los tres meses más lluviosos para el cálculo del factor deslizamientos

Variable	Muy alto	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Condiciones de precipitación promedio mensual para los tres meses más lluviosos de la zona	>500	500-400	400-300	300-200	<200

El Mapa 1.4-1 muestra el promedio de los tres meses más lluviosos en el cantón: agosto, setiembre y octubre, y se hace la clasificación de acuerdo con la escala IFA. Se puede apreciar que la mayoría del cantón, el sector norte y este poseen un valor IFA de 3 (moderado). Hacia el sector suroeste se denota una franja con valor 4 (bajo), siendo esta la zona menos frágil en todo el cantón.

1.4.2. Pendientes

El Decreto N°32967 señala que la variable de pendientes para esta sección debe ser tomada tal cual del factor geodinámica externa (sección 1.2.1). A su vez, el Mapa 1.2-1 muestra los resultados de esta variable.

1.4.3. Dirección del talud respecto a la dirección dominante de lineaciones

La variable dirección de taludes respecto de dirección de lineaciones, refiere al efecto colaborativo que puede darse en un talud, ante una superficie de falla y la discontinuidad generada por una lineación o diaclasa.

Para obtener el resultado de factor de lineación se considerarán los componentes tanto geológicos, como dirección de taludes, así como las principales fallas geológicas activas, aportando además lo observado en el campo.



En primer lugar, es importante mencionar que con base en la bibliografía consultada, así como lo observado en el campo, sobre el cantón de Santo Domingo, no se han localizado fallas geológicas activas, con lo cual el grado de fracturamiento analizado corresponde con fallamiento paleotectónico. Por lo cual en las unidades de roca presentes en el cantón se manifiesta un grado de fracturamiento y deformación antiguo, para el cual no ha sido posible determinar una tendencia de lineación sobre el talud dominante, en cuyo caso la relación para el criterio de clasificación IFA se ha determinado como oblicua.

Por otra parte, en litologías asociadas a depósitos fluviales, las cuales presentan un alto contenido de arenas, arcillas y suelo, la presencia de lineaciones es nula por lo cual para el criterio de clasificación IFA se han catalogado como ausentes.

La descripción más detallada de la relación talud/lineaciones, se puede observar en el apartado de descripción de unidades geomorfológicas.

En el Mapa 1.4-2 se muestran los resultados de esta variable.

1.4.4. Factor estabilidad de laderas integrado

Se procede a calcular el factor integrado mediante la suma de las diez variables mencionadas inicialmente, así como la posterior reclasificación.

Cabe recordar que la sumatoria y la reclasificación se ajustan a lo señalado en el Decreto. Específicamente para este factor, al reunir diez variables, el valor máximo obtenible sería de 50; por lo tanto, la reclasificación de la sumatoria se ajusta a la siguiente tabla.

Tabla 1-24. Categorías de reclasificación de la sumatoria para el cálculo del factor estabilidad de laderas o deslizamientos

Sumatoria de las 10 variables	Categoría	Valor reclasificado
10-17	Muy Alto	1
18-25	Alto	2
26-33	Moderado	3
34-41	Bajo	4
42-50	Muy Bajo	5

El Mapa 1.4-3 muestra el resultado obtenido. De acuerdo con este mapa, la fragilidad por estabilidad de laderas es baja en la mayoría del cantón. Conforme la topografía se vuelve más quebrada hacia el este del cantón se pasa a valores de fragilidad moderados en los cañones de los ríos y en la parte más alta al este del cantón las zonas de fragilidad moderada son más frecuentes.

Limitaciones y potencialidades técnicas

A continuación, se presentan las principales limitaciones y potencialidades de este factor, las cuales se desprenden de la representación de las variables y las interacciones que se dan entre ellas. Las limitaciones y potencialidades están asociadas únicamente al conjunto de variables que forman parte de este factor, así, es posible que en una



localización este factor no represente una limitación significativa, mientras que para otro factor o eje IFA sí se encuentren limitaciones significativas al desarrollo humano.

Tabla 1-25. Limitaciones y potencialidades técnicas del factor estabilidad de laderas

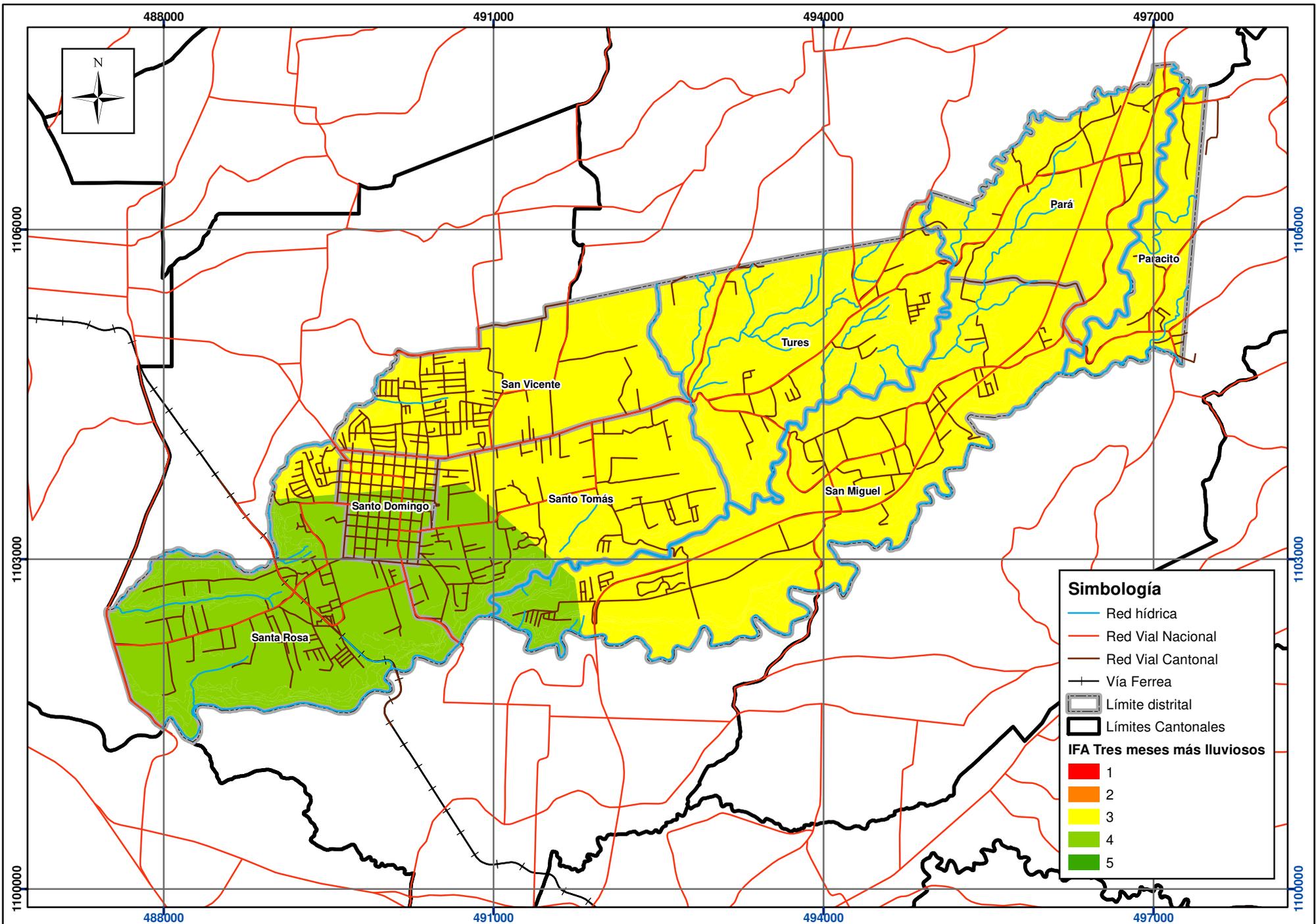
IFA	Limitaciones	Potencialidades
3	Zonas de alta pendiente y alta precipitación	Zonas con potencial para protección de recursos naturales y desarrollo de actividades de bajo impacto y baja densidad.
4		Zonas aptas para el desarrollo residencial y urbano de media y alta densidad.

Certidumbres técnicas

Seguidamente se presenta la tabla de certidumbres técnicas para este factor. El valor estimado de certidumbre fue de **317**, lo cual lo coloca en un valor muy alto de certidumbre.

Tabla 1-26. Certidumbres técnicas del factor estabilidad de laderas

Criterios y su peso	Valores				
	Muy alto (5)	Alto (4)	Moderado (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)
Pendiente (9)	45				
Espesor del suelo (8)	40				
Precipitación promedio 3 meses más lluviosos (7)	35				
Cobertura vegetal (8)		32			
Procesos de erosión (6)	30				
Procesos de sedimentación (4)	20				
Sismicidad regional (7)		28			
Dirección del talud con respecto a las lineaciones dominantes (7)	35				
Presencia de fallas geológicas (8)		32			
Zonas de geoaptitud hidrogeológica (4)	20				
Sumatoria	225	92	0	0	0
Resultado final	355 - 299	298 - 242	241 - 185	184 - 128	127 - 71



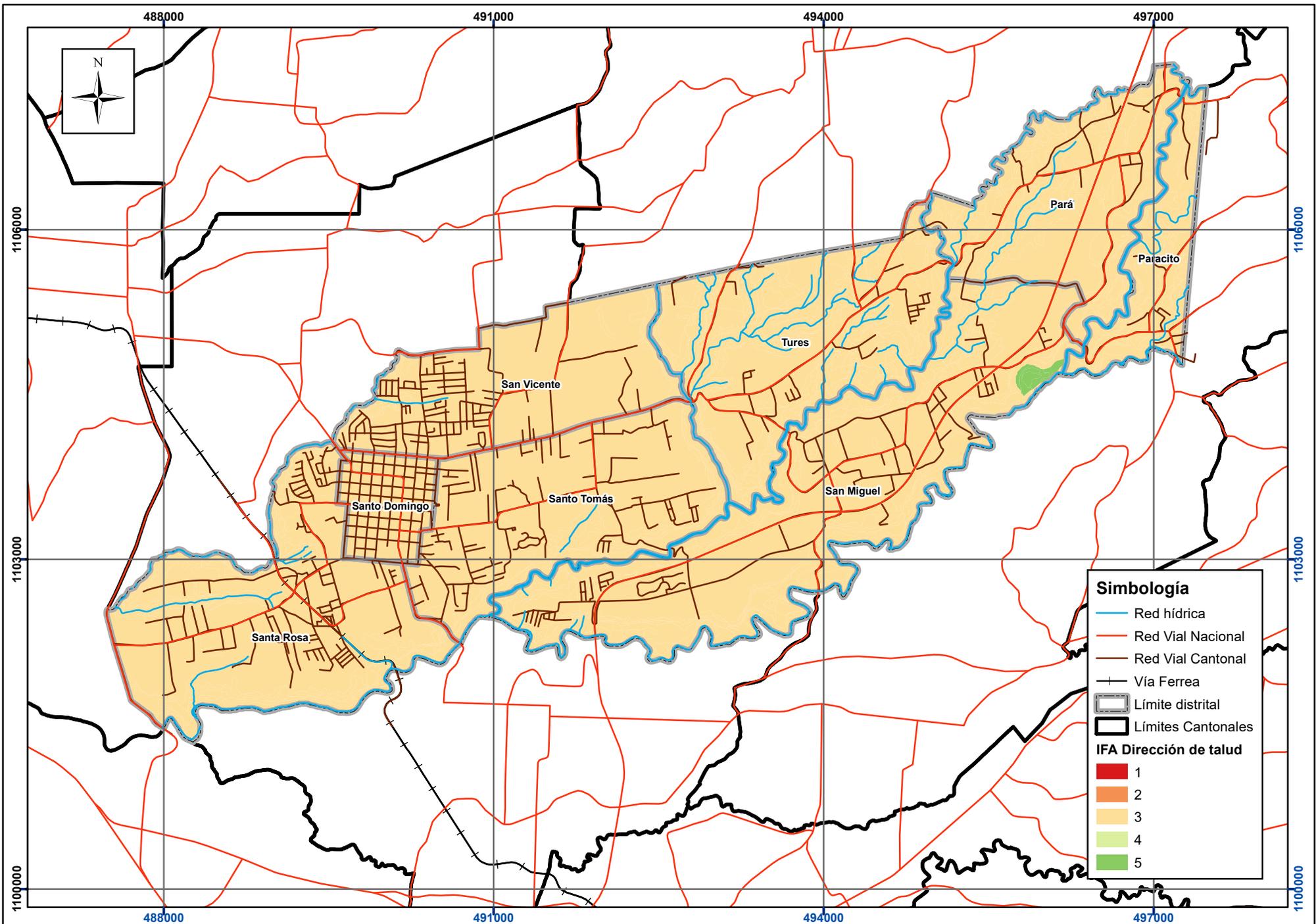
Mapa 1.4-1. Geoaptitud. Factor Estabilidad de ladera. Tres meses más lluviosos en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





Simbología

- Red hídrica
- Red Vial Nacional
- Red Vial Cantonal
- Vía Ferrea
- Límite distrital
- Límites Cantonales

IFA Dirección de talud

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

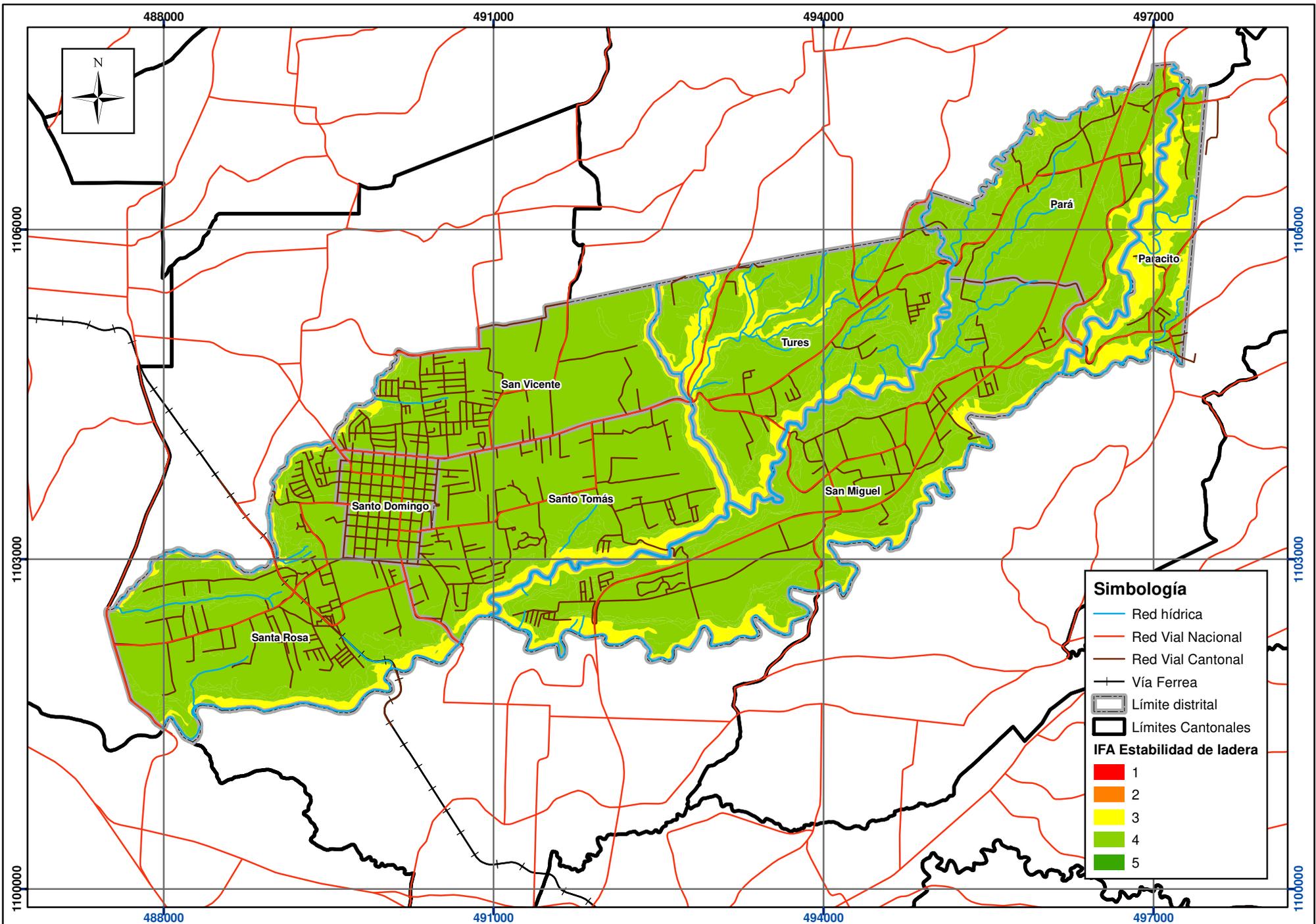
Mapa 1.4-2. Geoaptitud. Factor Estabilidad de ladera. Dirección de talud respecto a dirección de lineaciones en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)





Mapa 1.4-3. Geoaptitud. Factor estabilidad de ladera integrado en el cantón de Santo Domingo.
 Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)

1.5. Factor amenazas naturales

Geólogo José Daniel López

Este factor comprende algunos fenómenos o procesos fortuitos que modelan la superficie terrestre. Se evalúan siete variables que son:

- Sismicidad regional
- Sismicidad local
- Potencial de licuefacción
- Fallas activas
- Amenaza volcánica
- Tsunami
- Inundaciones

A continuación, se describe el procedimiento seguido para calcular cada una de ellas. Además, se incluye el diagrama de flujo que resume el cálculo de cada variable.

Al igual que en otros factores del IFA geopotencial, para el cálculo de amenazas naturales, no se presenta información contextual. Todas las variables se obtienen de registros históricos y de información geográfica del área de estudio.

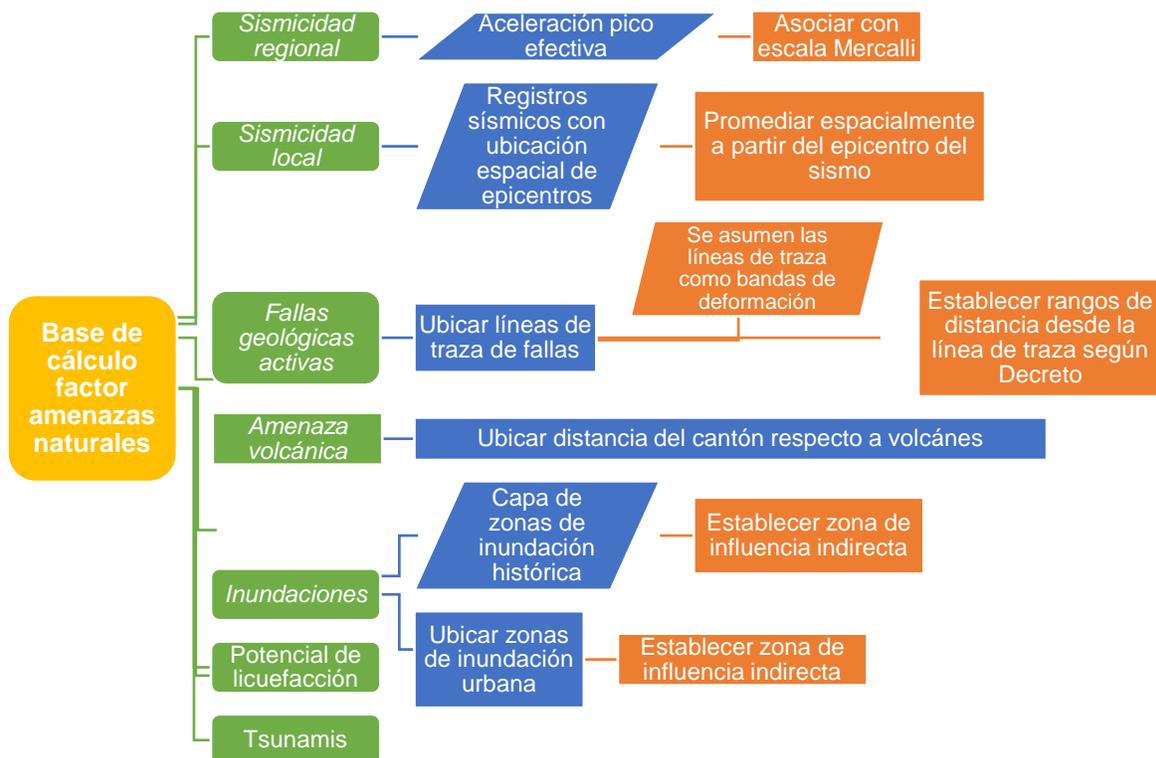


Figura 1-17. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del factor amenazas naturales

1.5.1. Potencial Sísmica Regional

Por su conformación sismotectónica y proximidad a límites convergentes de placas, Costa Rica se caracteriza por poseer una alta sismicidad de magnitud intermedia ($5,0 < M < 7,7$), que ha sido la causante de la ocurrencia de muchos sismos destructivos a lo largo de su historia. El último importante de ellos ocurrió en el año 1991 con una magnitud Mw 7,6 (Terremoto de Limón) que impactó severamente la región Caribe del país, causando daños en un área de 8 000 km², que incluyen el 80% del territorio costarricense y el 20% del de Panamá. Los daños y pérdidas más notables ocurrieron en líneas vitales, incluyendo carreteras, ferrocarriles, puentes, puertos y acueductos. En el país, fue necesario reconstruir 309 km de carreteras. En total los daños (en Costa Rica) ascendieron a 21 991,9 millones de colones (Climent et al, 2008).

Zonas con actividad sísmica importante incluyen el Cinturón Deformado del Norte de Panamá y la Zona de Fractura de Panamá. El potencial de daños de los sismos de la cadena volcánica es mayor que los de la zona de subducción por su foco somero y proximidad a centros poblados importantes.

Con respecto a la zona de estudio a pesar de no poseer fallas cuaternarias localizadas dentro del cantón, Santo Domingo, se ubica en la zona Sísmica, Cordillera Volcánica Central (Climent et al, 2008). Esta zona sísmica Incluye una serie de fallas distribuidas a lo largo del eje volcánico central de Costa Rica y en diversos sectores del Valle Central, limitando al sur con las estribaciones de la cordillera de Talamanca (Climent et al., 2008).

En el sector este y noreste, se localiza el sistema de falla de Cipreses, con la que se asocia el terremoto de Tres Ríos de febrero de 1912 (Ms 5,0). Otro es el sistema de falla Lara-Río Sucio, que representa una amenaza para poblaciones en el sector oeste y suroeste de las estribaciones del volcán Irazú. El terremoto del 2 de septiembre de 1841, que causó una enorme destrucción entre Cartago y San José, puede estar relacionado con esta falla. En esta zona ocurrió el terremoto de Patillos del 30 de diciembre de 1952 (Mw 6,3) (Climent et al., 2008).

Otra de las fallas que se ubica en dicho sector, es la Virilla, que ha sido relacionada con el terremoto ocurrido el 22 de diciembre de 1990, Mw 6,0 (Climent et al., 2008).

La evidencia histórica indica que el sismo máximo ocurrido en esta zona sísmica es de 6,5 sin embargo, considerando el tamaño de las fallas activas presentes, podría sugerirse magnitudes esperables cercanas a 6,8 Mw (Climent et al., 2008).

Factor Amenaza Sísmica Regional

Con base en la información obtenida, para la zona de estudio es posible la generación de un sismo de hasta 6.8 Mw con intensidades de entre VII -VIII.

Clasificando los valores de intensidades de acuerdo con la clasificación IFA sugerida en el anexo 2 del decreto 32967, se obtiene un potencial sísmico Regional para la zona de tipo Moderado (3).

Tabla 1-27. Clasificación del potencial sísmico Regional para la zona de estudio.

Potencial de sismicidad regional	> IX	VIII – IX	VII – VIII	VI – VII	V - VI
Categoría IFA	1 muy Alto	2 alto	3 moderado	4 bajo	5 muy Bajo

1.5.2. Potencial de sismicidad local

Registros sísmicos localizados dentro del área de estudio

Luego de consultar los registros sísmicos del OVSICORI, durante un periodo de entre el año 2011 a enero de año 2023 se reportaron un total de 10 sismos a un radio menor de 3 km del estudiado, su distribución abarca principalmente los distritos de Santo Domingo y Santo Tomás, así como la sección más hacia el este de los distritos de Pará y San Miguel.

De los 10 sismos reportados, únicamente 4 se localizan dentro del cantón, con respecto a las magnitudes reportadas para los sismos locales corresponden a valores menores a los 3,8 Mw, siendo un promedio de magnitud de 2,5 Mw, lo que implica sismos de baja intensidad poco perceptibles para la población.

Con respecto a las profundidades, éstas varían desde 5 km hasta los 9 km, lo que implica sismos relacionados a fallamiento local.

Con respecto al sismo principal, de magnitud 3,8 Mw, éste se dio a 2,8 km al sureste del cantón el día 22 de diciembre de 2018, se ubicó a 8,3 km de profundidad, en el cantón de Coronado.

El sismo de mayor magnitud reportado desde 2011 dentro del cantón de Santo Domingo, ocurrió el día 15 de setiembre de 2019 en el centro de Santo Domingo, fue un sismo de, magnitud 3,2 Mw, el cual ocurrió a 7 km de profundidad.

En el anexo 3 se muestran los sismos registrados para el área de estudio.

Cálculo de la densidad sísmica dentro del cantón

Como parte del proceso de clasificación para el análisis de amenazas naturales del Potencial sísmico local, se realizó un análisis de densidad de sismos ocurridos dentro del cantón de Santo Domingo, esto es el cálculo de sismos reportados por kilómetro cuadrado.



Para calcular la densidad de sismos ocurridos en el cantón por kilómetro cuadrado, se ha utilizado el análisis espacial por medio del software Arcgis y la herramienta análisis de densidad por medio del método de Kernel.

La herramienta Densidad kernel calcula la densidad de las entidades (en este caso sismos) en la vecindad de esas entidades (en este caso por kilómetro cuadrado).

El algoritmo que se usa para determinar el radio predeterminado de búsqueda (en este caso se realiza por cada kilómetro cuadrado), también conocido como ancho de banda, es el siguiente:

1. Calcular el centro medio de los puntos de entrada.
2. Calcular la distancia desde el centro medio (ponderado) para todos los puntos.
3. Calcular la distancia media (ponderada) de esas distancias, D_m .
4. Calcular el valor de la Distancia estándar (ponderada), SD .
5. Aplicar la fórmula siguiente para calcular el ancho de banda:

$$SearchRadius = 0.9 * \min \left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)} * D_m} \right) * n^{-0.2}$$

donde:

SD es la distancia estándar

D_m es la mediana de la distancia

n es el número de puntos cuando no se usa campo de población, o la suma de los valores del campo de población cuando se utiliza.

La Densidad kernel calcula la densidad de las entidades de punto de alrededor de cada celda ráster de salida.

Conceptualmente, se ajusta una superficie curva uniforme sobre cada punto. El valor de superficie es más alto en la ubicación del punto y disminuye a medida que aumenta la distancia desde el punto y alcanza cero en la distancia Radio de búsqueda desde el punto.

Una vez realizado el cálculo se obtuvo un mapa de densidades sísmicas para el cantón estudiado.

El cálculo de las densidades sísmicas muestra que a nivel general el cantón presenta valores de índice de sismicidad que rondan entre 0 a 4,15 lo cual se consideran muy bajos a bajos.



Resultado Potencial sísmico Local

Los valores de densidad sísmica se reclasificaron según la clasificación del IFA del decreto 32967(Anexo 2) distribuyendo el Potencial Sísmico local para el área de estudio como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 1-28. Criterio de clasificación IFA Potencial sísmico Local. Fuente decreto 32967 (Anexo 2).

Potencial de sismicidad local	Muy Alto	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
(Índice de Sismicidad)	(> 10)	(8 – 10)	(6 – 8)	(4 – 6)	(< 4)
Valor IFA	1	2	3	4	5

1.5.3. Factor Amenazas por Licuefacción

El código de cimentaciones de Costa Rica, basado en lo que mencionan los autores Seed e Idriss, establece que “la licuación es el fenómeno por medio del cual los depósitos no arcillosos, principalmente arenas, pierden temporalmente su resistencia y se comportan más bien como un líquido viscoso en lugar de un sólido”.

Además, establece que: “La licuación se genera en un suelo sin cohesión, flojo y saturado, cuando las ondas sísmicas distorsionan su estructura y aumentan la presión de poros hasta anular las tensiones efectivas”. Adicionalmente, los autores Seed e Idriss, mencionan que el fenómeno de licuación generalmente se produce cuando coinciden las siguientes condiciones: un fuerte sismo (aceleración mayor a 0,15 g), suelo arenoso mal graduado con menos de un 20% de finos, tenerse un estrato mayor a un metro de profundidad de este tipo de material bajo el nivel freático.

De acuerdo con la descripción de amenazas naturales realizadas por la CNE (2022) para el cantón de Santo Domingo durante un sismo, no se determina la generación de este fenómeno en el área.

Además, para el análisis del potencial de Licuefacción para el cantón de Santo Domingo se utilizó el mapa de Potencial de Licuefacción para Costa Rica, Realizado por Mora & Saborio en 2017, escala 1:200 000, en el cual también se define este tipo de amenaza como nula para el cantón. Además para compaginar los resultados del Mapa de Susceptibilidad a Licuefacción con los criterios de clasificación IFA se realizó una comparativa con las unidades Geomorfológicas y Litológicas identificadas en el área de estudio, asignado el valor identificado a una unidad geomorfológica según la pendiente y el tipo de litología presente.

Análisis de la Geomorfología en la incidencia del proceso de licuefacción

Este método establece una correlación entre los sitios donde ha ocurrido licuación y criterios geológicos y geomorfológicos. Con la ayuda del criterio se pueden inferir áreas probables de susceptibilidad de licuación. Un ejemplo es la clasificación de Iwasaki et al

(1982), quienes, a partir del análisis de terremotos históricos en Japón, desarrollaron un criterio de análisis de licuación a partir de las unidades geomorfológicas (Batalla, 2002), el cual se resume en el siguiente cuadro.

Tabla 1-29. Susceptibilidad a la licuefacción de las unidades geomorfológicas.

Rango	Unidad Geomorfológica	Potencial de Licuación
A	Depósitos recientes y antiguos de ríos, pantanos, tierras inundadas.	Probabilidad alta de Licuación.
B	Abanicos, dunas de arena, llanuras de inundación, playas y otras planicies.	Posibilidad de Licuación.
C	Terrazas, colinas y Montañas.	Muy baja probabilidad de licuación.

Analizando las características de potencial de licuefacción en función a la geomorfología definida en el cantón, se obtiene el siguiente cuadro para el área de estudio.

Tabla 1-30. Criterios de potencial de licuefacción para el área de estudio en función de la geomorfología.

Unidad Geomorfológica definida en el presente estudio	Características	Susceptibilidad de licuefacción según Mora & Saborío (2017)	Amenaza por licuefacción Clasificación IFA Licuefacción
Cañones Fluviales	Alta pendiente, compuestos por lavas e ignimbritas	Nula	5 Muy Baja
Terrazas Fluviales	Arenas, Arcillas, y bloques de lavas e ignimbritas, Nivel freático superficial	Nula	3 Moderado
Laderas Denudacionales de Alta Pendiente	Alta pendiente, compuestos por arcillas lavas e ignimbritas, nivel freático profundo	Nula	5 Muy Baja
Laderas Denudacionales de Moderada Pendiente	compuestos por arcillas lavas e ignimbritas, nivel freático profundo	Nula	5 Muy Baja
Meseta Ignimbrítica	Arcillas, e ignimbritas soldadas, nivel freático muy profundo	Nula	5 Muy Baja

Generación del mapa de Amenaza por Licuefacción

Con base en los resultados obtenidos de la comparación realizada, así como las características geomorfológicas de la zona de estudio se desarrolló el mapa por amenaza por licuefacción.

Tabla 1-31. Criterio de clasificación para el factor amenaza por licuefacción.

Amenaza por licuefacción	Muy alta 1	Moderada 3	Muy Baja 5
--------------------------	---------------	---------------	---------------

1.5.4. Potencial de fractura en superficie por falla geológica activa

Para la zona de estudio y de acuerdo con el mapa de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) y la información recopilada, no existen fallas activas cartografiadas y limitadas hasta la fecha que tengan una representación en superficie para el cantón de Santo Domingo.

Determinación de potencial de fractura en superficie por falla geológica activa

Para el cantón de Santo Domingo, en el caso de factor por fractura en superficie, la asignación del valor del subfactor IFA se utiliza por medio del criterio de distancia desde la traza de falla, con el objetivo de obtener una zona de amortiguamiento mayor considerando el potencial sísmico regional que las domina. Como no han trazos definidos de fallamiento neotectónico dentro del cantón se asigna un valor IFA de 5 para toda el área de estudio.

Tabla 1-32. Valor y rango de afectación del subfactor potencial de fractura en superficie por falla geológica activa.

Distancia desde la traza de la Falla	SOBRE	0-15m	15-30 m	30-50 m	Mayores a 50 m
Distancia desde la zona de Deformación	SOBRE	0-50 m	50-100m	100-200 m	Mayores a 200 metros
Valor IFA	1	2	3	4	5

1.5.5. Amenaza volcánica

De acuerdo con el mapa de amenazas para de la Comisión Nacional de Emergencias (2023) este cantón, es vulnerable a ser afectado por actividad volcánica. Por su ubicación, es especialmente vulnerable a sufrir la caída de cenizas provenientes de erupciones del volcán Irazú.

Los efectos más relevantes que podría ocasionar una erupción volcánica sobre el cantón de Santo Domingo, serían (CNE, 2003):

Caída de ceniza afectando las regiones agrícolas del cantón, además provocaría la contaminación de ríos y efectos en la salud de la población.

Si el volumen de ceniza llega a ser importante, puede causar el colapso de las estructuras.

Corrientes de lodo por aquellos cauces que descienden de la parte alta de la cordillera Volcánica Central, como: Virilla, Pará, Tibás, Bermúdez

Para el cálculo del potencial de amenaza volcánica, el criterio IFA se basa en la cercanía de la zona al foco de deyección.

De acuerdo con la metodología IFA, se buscan rangos de distancia establecidos respecto a los volcanes activos presentes en el país, estos rangos y su valoración según la escala IFA se muestra la siguiente tabla a continuación

Tabla 1-33. Valor y rango de afectación del subfactor de amenaza volcánica.

Distancia desde el foco volcánico	< 3 Km	De 3 a 5 Km	De 5 a 10 Km	De 10 a 20 Km	De 20 a 30 Km
Valor subfactor IFA	1	2	3	4	5

Resultados de Amenaza Volcánica

Como resultado de la zonificación por amenaza Volcánica, y con base en la distancia al foco Volcánico, el mapa de amenazas de la comisión Nacional de Emergencias (2023) se ha asignado un factor IFA de 5 para el 85,7 % del área correspondiente, mientras que el 14,3 % restante se le ha asignado un valor de 4, esta zona corresponde con la zona este del cantón principalmente con los distritos de Pará y Paracito.

1.5.6. Amenaza por Tsunami

El cantón de Santo Domingo se localiza a una distancia mayor de 50 km de una zona costera, por lo cual esta amenaza no será analizada en el presente estudio.

1.5.7. Inundaciones

En cuanto a la variable de amenaza por inundaciones, para la asignación de valores, la metodología IFA sugiere la utilización de información como la disposición de los cauces y las terrazas aluviales que se encuentran en las márgenes de los ríos, así como también de la altura del espejo de agua de todos los ríos del cantón. Sin embargo, existe una importante dificultad para reunir dicha información, ya que ésta existe para apenas una decena de los cientos de ríos que tiene el país y generarla con la suficiente certeza estadística en cuanto a la variabilidad del comportamiento de los ríos requeriría más de 10 años de registro.

Ante tales circunstancias y amparado en la premisa que señala el Decreto N°32967 sobre la posibilidad de proponer nuevas formas de calcular las variables, siempre que éstas mantengan su objetivo y mejoren su precisión, se propone calcular la variable de inundaciones a partir de la de la capa de inundaciones dada por la Comisión Nacional de Emergencias (CNE).

A la mancha de inundación de la CNE se le asignó una puntuación de 2 (fragilidad alta) dadas las condiciones del cantón y el historial de inundaciones (no demasiado

frecuentes). Al resto de la zona de estudio se le asigna un valor de 5 (bajo). Ver Mapa 1.5-5.

1.5.8. Factor amenazas naturales integrado

Finalmente, el factor de amenazas naturales se calcula como la suma de las 7 y su posterior reclasificación (ver Mapa 1.5-8).

La sumatoria y reclasificación se ajusta a lo señalado en el Decreto. Específicamente para este factor que reúne 5 variables, el valor máximo obtenible sería de 25; por lo tanto, la reclasificación de la sumatoria se expone en la siguiente tabla.

Tabla 1-34. Categorías de reclasificación de la sumatoria para el cálculo factor amenazas naturales

Sumatoria de las 7 variables	Categoría	Valor reclasificado
7 – 12	Muy Alto	1
13 – 18	Alto	2
19 – 24	Moderado	3
25 – 30	Bajo	4
31 – 35	Muy Bajo	5

Limitaciones y potencialidades técnicas

Tabla 1-35. Limitaciones y potencialidades técnicas del factor amenazas naturales

IFA	Limitaciones	Potencialidades
4	Fragilidad moderada por licuefacción y amenaza sísmica regional Zonas propensas a inundaciones.	Zonas de protección de recursos naturales.
5		Zonas sin limitaciones al desarrollo urbano por amenazas naturales

Certidumbres técnicas

A continuación, se presenta la tabla de certidumbres técnicas para este factor. El valor estimado de certidumbre fue de **193**, lo cual lo coloca en un rango muy alto.

Tabla 1-36. Certidumbres técnicas del factor amenazas naturales

Valores Criterios y su peso	Muy alto (5)	Alto (4)	Moderado (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)
Sismicidad Regional (6)		24			
Sismicidad local (6)		24			
Potencial de licuefacción (4)		16			
Potencial de fractura en superficie (6)		24			
Amenaza Volcánica (9)	45				
Tsunamis (4)	20				
Inundaciones (10)		40			
Sumatoria	65	128			
Resultado final	225 - 189	188 - 153	152 - 117	116 - 81	80 - 45

Referencias

- ALVARADO, G.E. & GANS, P.B., 2012: Síntesis geomorfológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. Rev. Geol. Amér. Central, 46: 7 – 122.
- BATALLA, M Y BURCALLA, P 2002: Licuefacción de los suelos. Informe Final del Proyecto de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Fidelitas 126p.
- BGS & SENARA, 1985: Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica. - Escala 1:50.000, E.S.R. Limited, Inglaterra.
- CLIMENT, A., ROJAS, W. & ALVARADO, G. (2008): Evaluación de la Amenaza Sísmica en Costa Rica. Informe editado en la Universidad Politecnica de Madrid, Mayo 2008. 127 p.
- COMISIÓN NACIONAL DE EMERGENCIAS, 2023: Mapa de amenazas Naturales del Cantón de Santo Domingo, Escala 1:50 000.
- ECHANDI, E., 1981: Unidades volcánicas de la vertiente norte del río Virilla.- 123 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis de Lic.].
- FERNÁNDEZ, M., 1969: Datos generales sobre manantiales y brotes localizados durante los reconocimientos geológicos de las partes norte y este de la cuenca del río Virilla. -14 págs. SENAS, San José [Inf. Interno 54].
- PARDO PASCUAL, J.E. & PALOMAR, J. (2002): «Metodología para la caracterización geomorfológica de los barrancos del sur de Menorca mediante perfiles transversales». En X Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, Valladolid.
- PÉREZ, W., 2000: Vulcanología y petroquímica del evento ignimbrítico del Pleistoceno Medio (0,33 Ma) del Valle Central de Costa Rica.- 170 pág., Univ. Costa Rica, San José [Tesis Lic.].

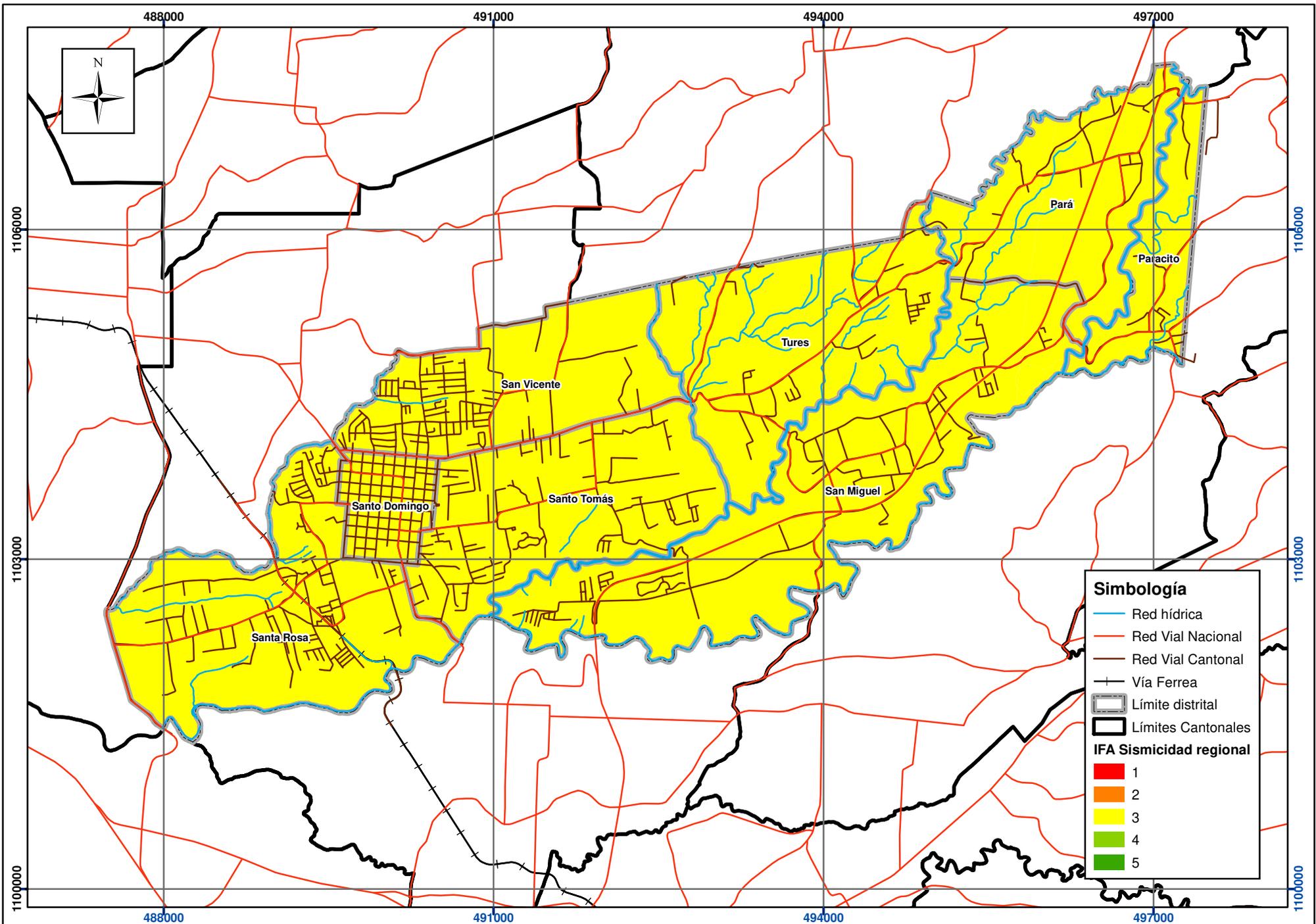


- PÉREZ, W., ALVARADO, G. & GANS, P., 2006: The 322 ka Tiribí Tuff: Stratigraphy, geochronology and deposition of the largest and most recent ignimbrite in the Valle Central, C.R.-Bull. Volcanology, 69-:25-40
- RAMOS, V., 2001: Análisis de la vulnerabilidad a la contaminación de los recursos hídricos subterráneos de un sector al Noreste del Valle Central, Costa Rica. - 78 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- Rodríguez-Gonzales & Fernández-Turiel, 2015: Las geoformas volcánicas y su modelado morfométrico con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Universidad de Girona Enseñanza de las Ciencias de la Tierra 23(1): 40-48 .
- SOTO, G.J. & ARREDONDO, S.G., 2007: Chronostratigraphic summary of Barva Formation (Costa Rica). – Workshop to Integrate Subduction Factory and Seismogenic Zone Studies in Central America: 102
- VARGAS, A., 1994: Evaluación de características químicas de aguas superficiales e hidrogeológicas en las subcuencas parte alta río Virilla y río Durazno, cantón de Vásquez de Coronado, Provincia de San José, Costa Rica.-239 págs. Universidad de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- WILLIAMS, H., 1952: Historia Volcánica de la meseta Central Occidental de Costa Rica.- Universidad de California Publicaciones en ciencias Geológicas. 29(4): 145-180.

Anexos

Base de datos de sismos registrados, periodo 2012 – 2022. Fuente: OVSICORI (2023).

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD	LOCALIZACIÓN	ORIGEN	REPORTADO	Long_Crtm	Latit_Crtm
5/5/2022	1,70	7,0	Centro de Moravia	Tectónico por falla local.	Moravia, Guadalupe y Tibas	494945,597	1101917,957
22/11/2018	3,80	8,3	San Antonio de Coronado, San Jose	Tectónico por falla local.	Provincia de San Jose, Cartago, Heredia y Alajuela	498136,145	1102393,217
23/11/2018	2,30	8,0	San Antonio de Coronado	Fallamineto Local	Leve en Pavas, Escazú, Tres Ríos	497851,106	1102758,202
22/10/2013	2,10	2,0	1 Km Sur Este del Parque Central de Sto. Domingo de Heredia.	Fallamiento Local.	Heredia	490680,928	1103201,722
10/7/2019	2,60	9,0	Santo Domingo Centro	Fallamiento Local	Santo Domingo, San Luis, San Rafael, Concepción de San Rafael, Heredia Centro. Tibás Desamparados, Escazú Alajuelita.	490428,888	1103666,294
15/9/2019	3,20	7,0	Centro de Santo Domingo de Heredia	Tectónico por falla local.	Santo Domingo, Heredia, San José, Alajuela, Cartago	489990,400	1103854,426
1/5/2011	2,80	5,0	2,5 km al sur de San Isidro de Heredia	Fallamiento local	San Isidro	495165,318	1105224,765
11/1/2020	2,20	9,0	San Pablo de Heredia	Fallamiento Local	Leve en Zapote	490188,284	1105856,174
21/6/2020	1,60	8,0	1 km al Suroeste de San Jerónimo de Moravia	Fallamiento Local	Moravia	497774,552	1105888,091
12/11/2015	3,30	7,0	1 km Sur de la Iglesia de San Isidro de Heredia	Fallamiento Local	Heredia, San Isidro, Escazú, Goicoechea, Coronado, San Pedro	494518,680	1106408,243

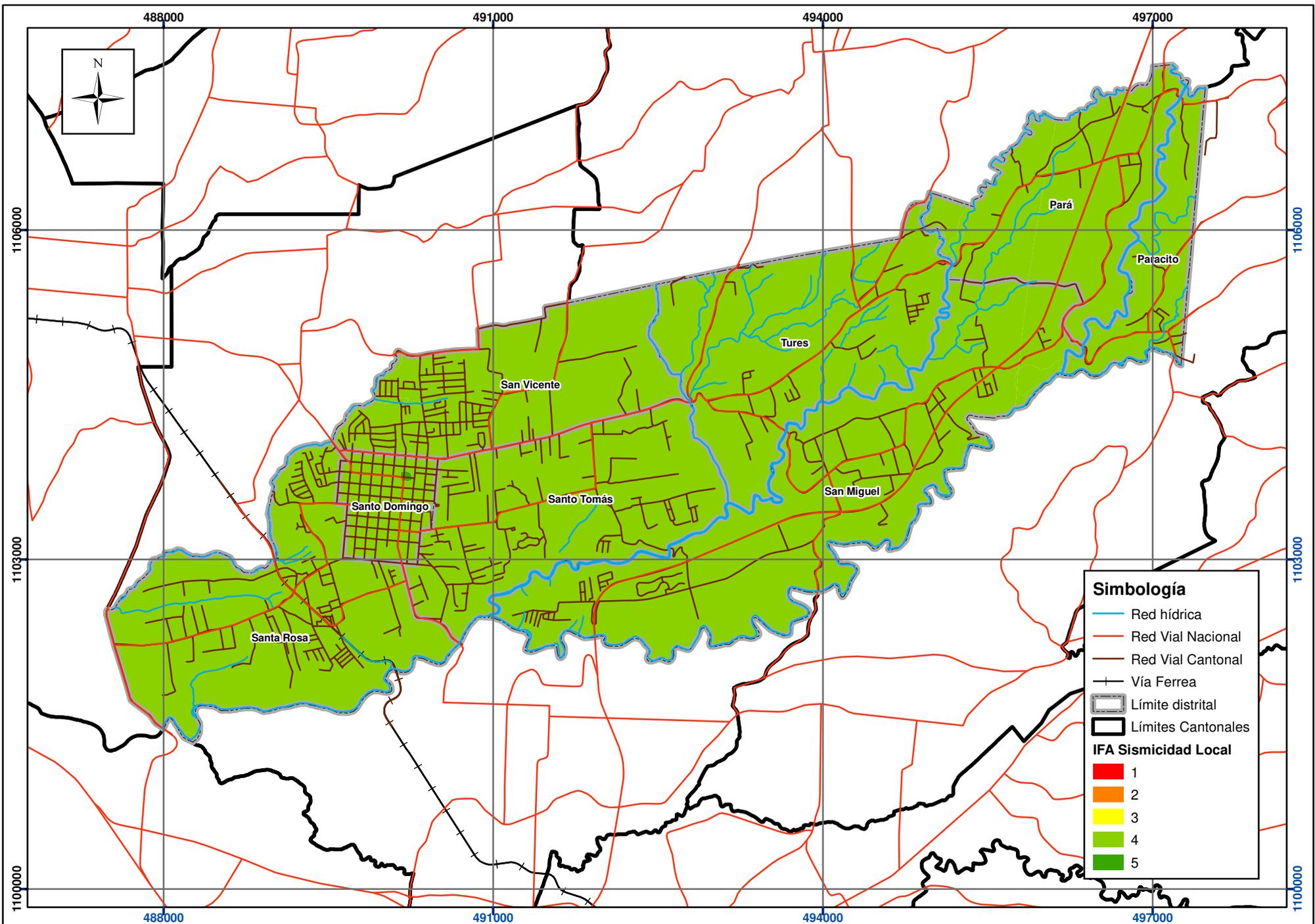


Mapa 1.5-1. Geoaptitud. Factor Amenazas Naturales. Sismicidad regional en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)



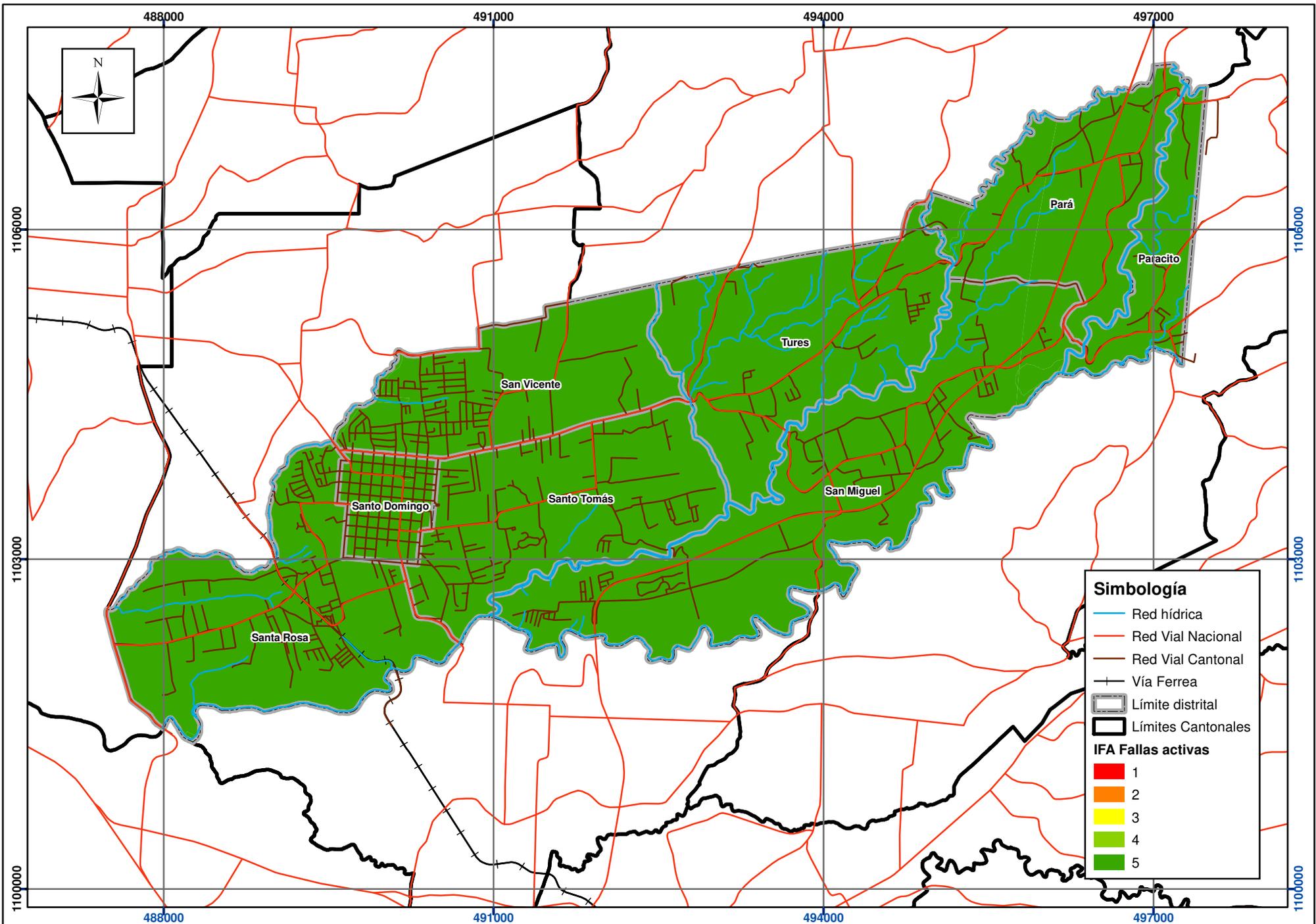
Mapa 1.5-2. Geoaptitud. Factor Amenazas Naturales. Sismicidad local en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
SNIT 1:25.000,
SNIT: CENIGA 2019;
ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





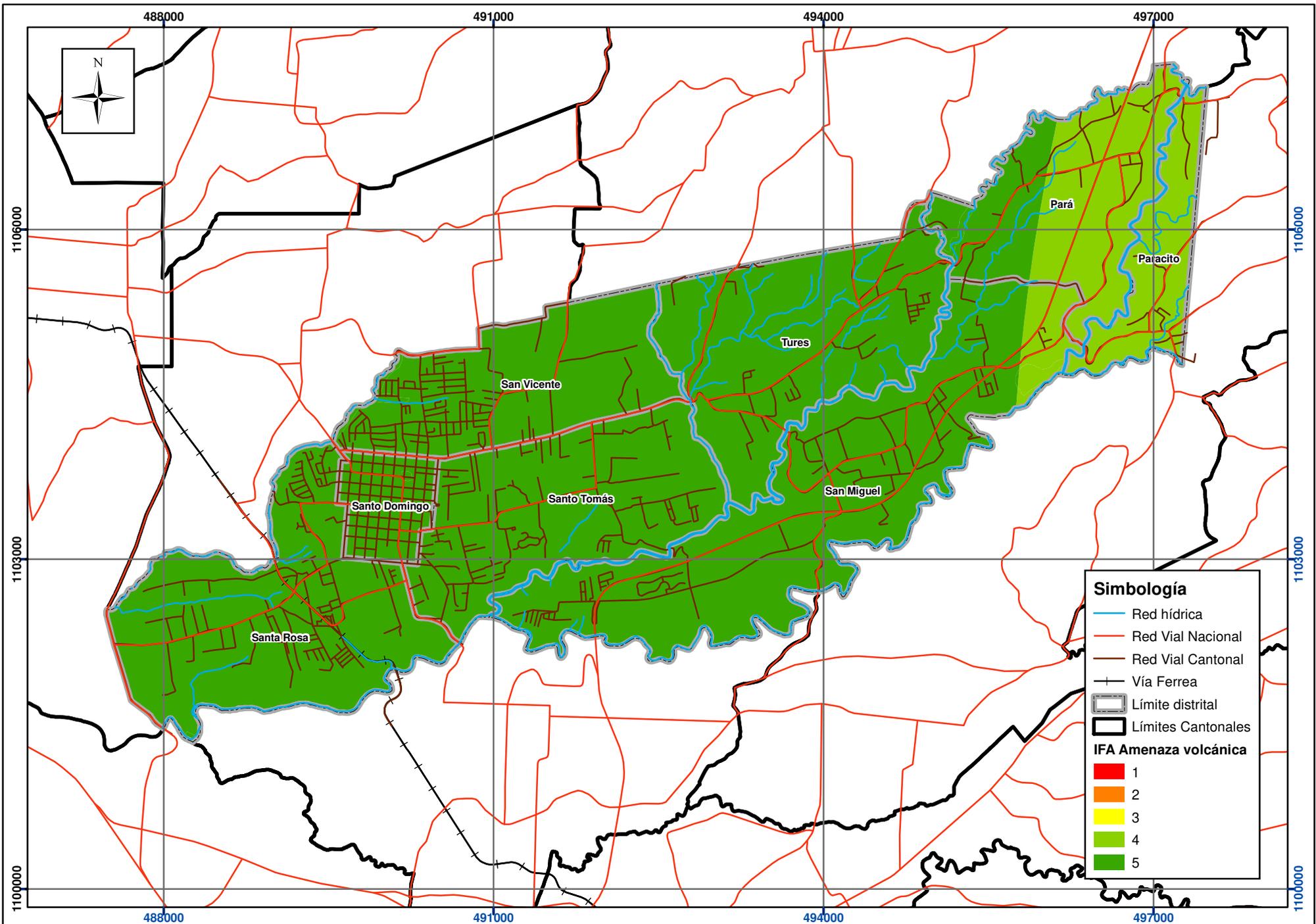
Mapa 1.5-3. Geoaptitud. Factor Amenazas Naturales. Cercanía a fallas activas en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





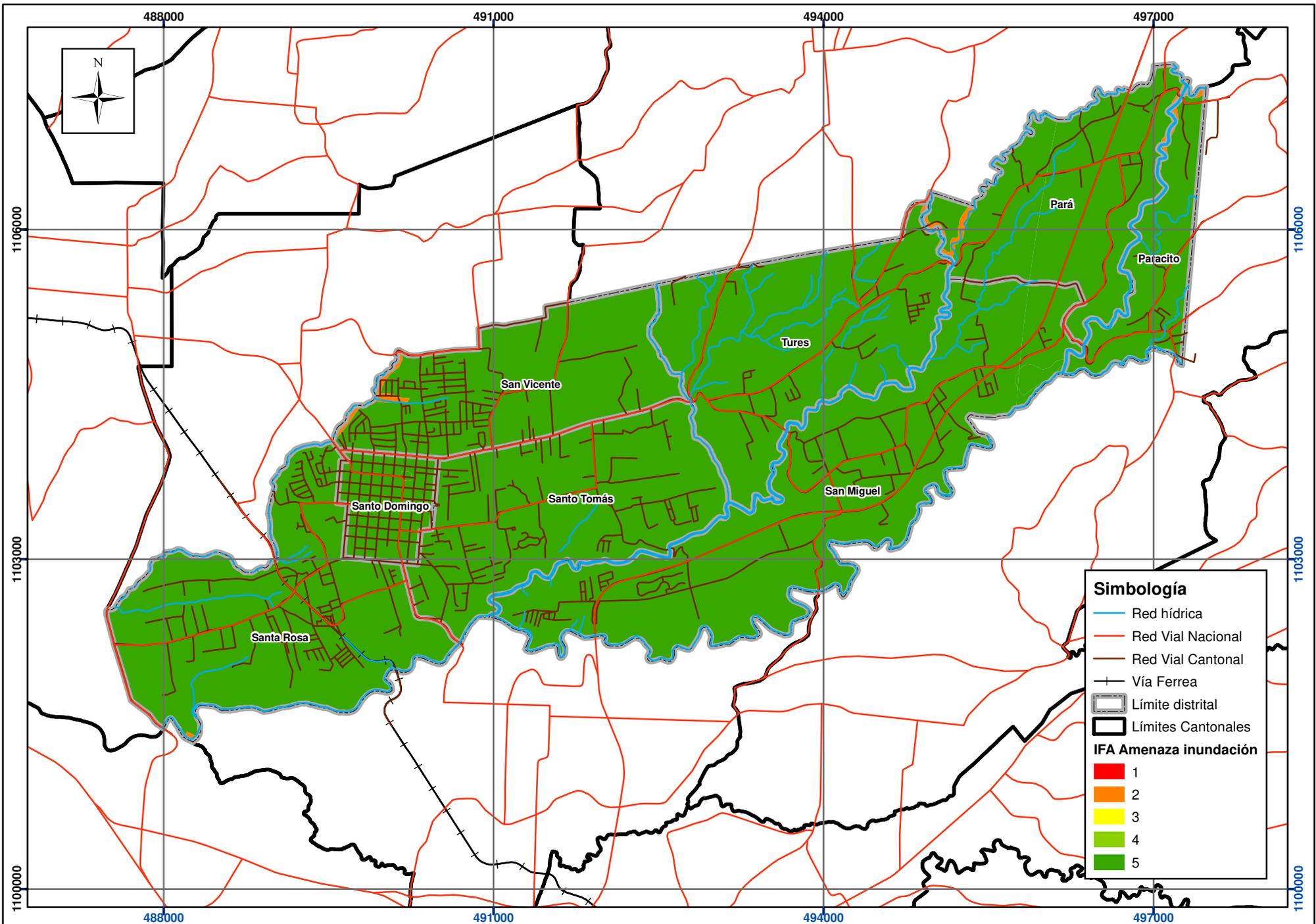
Mapa 1.5-4. Geoaptitud. Factor Amenazas Naturales. Amenaza volcánica en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





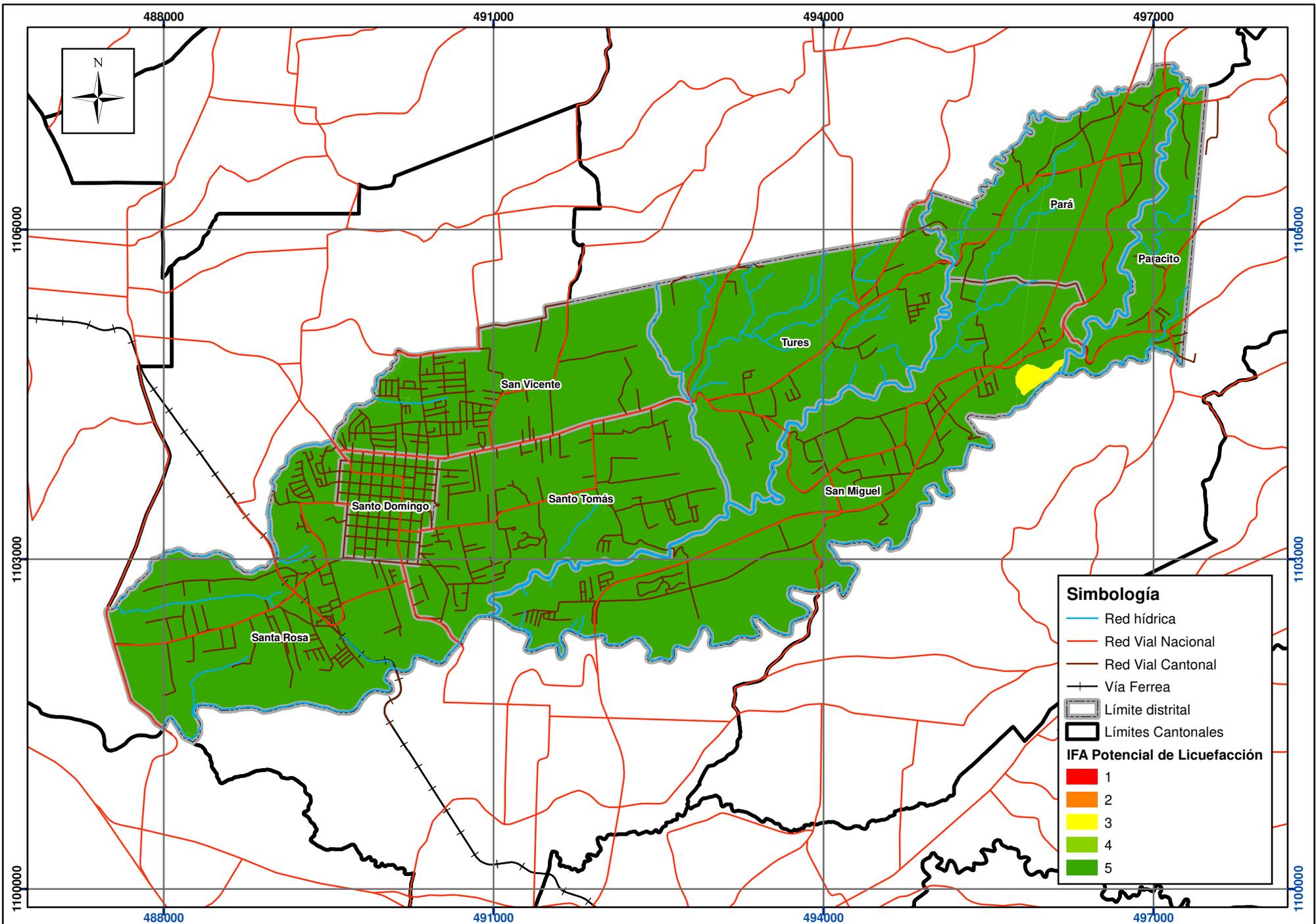
Mapa 1.5-5. Geoaptitud. Factor Amenazas Naturales. Amenaza de inundación en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)





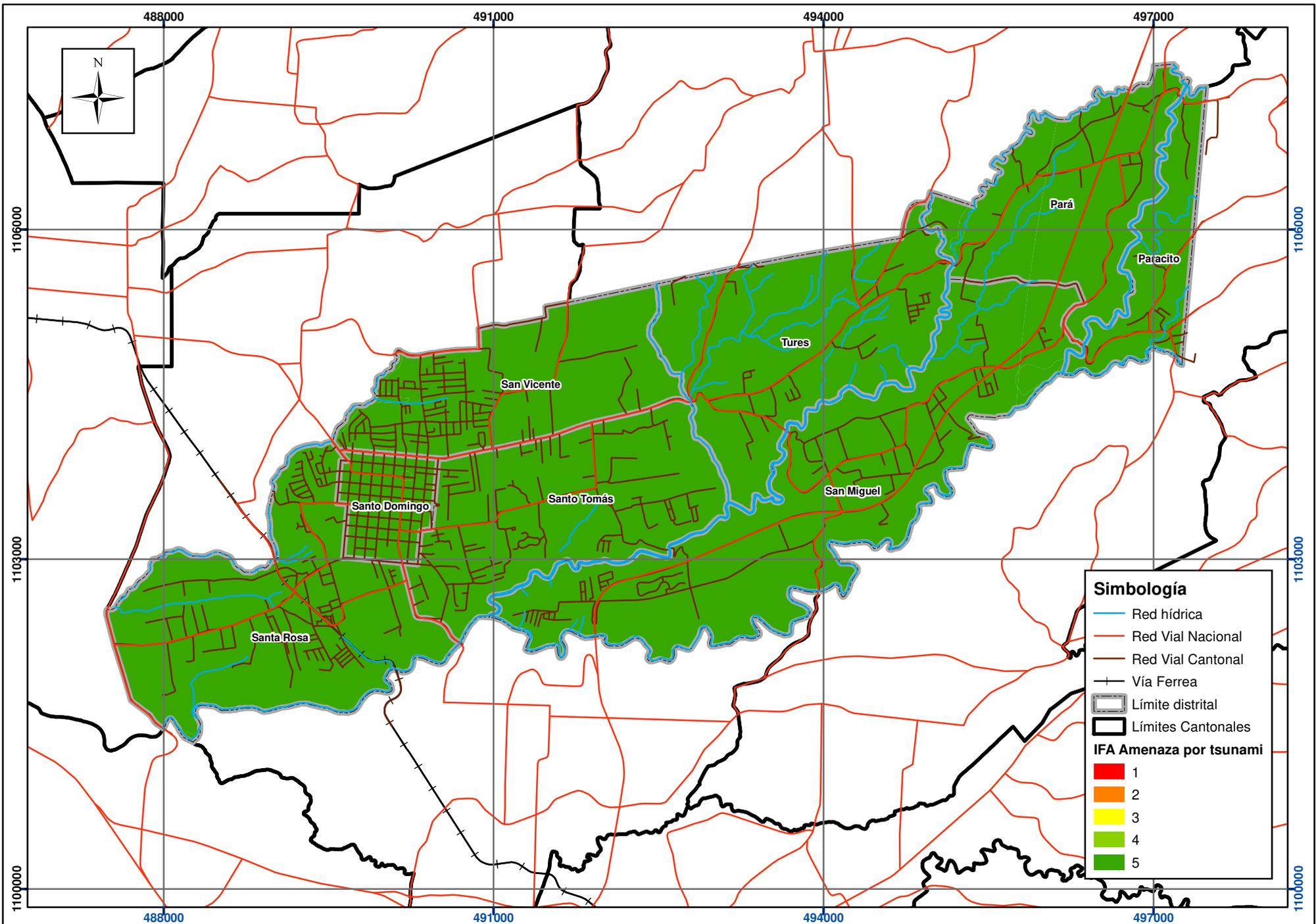
Mapa 1.5-6. Geoaptitud. Factor Amenazas Naturales. Potencial de licuefacción en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





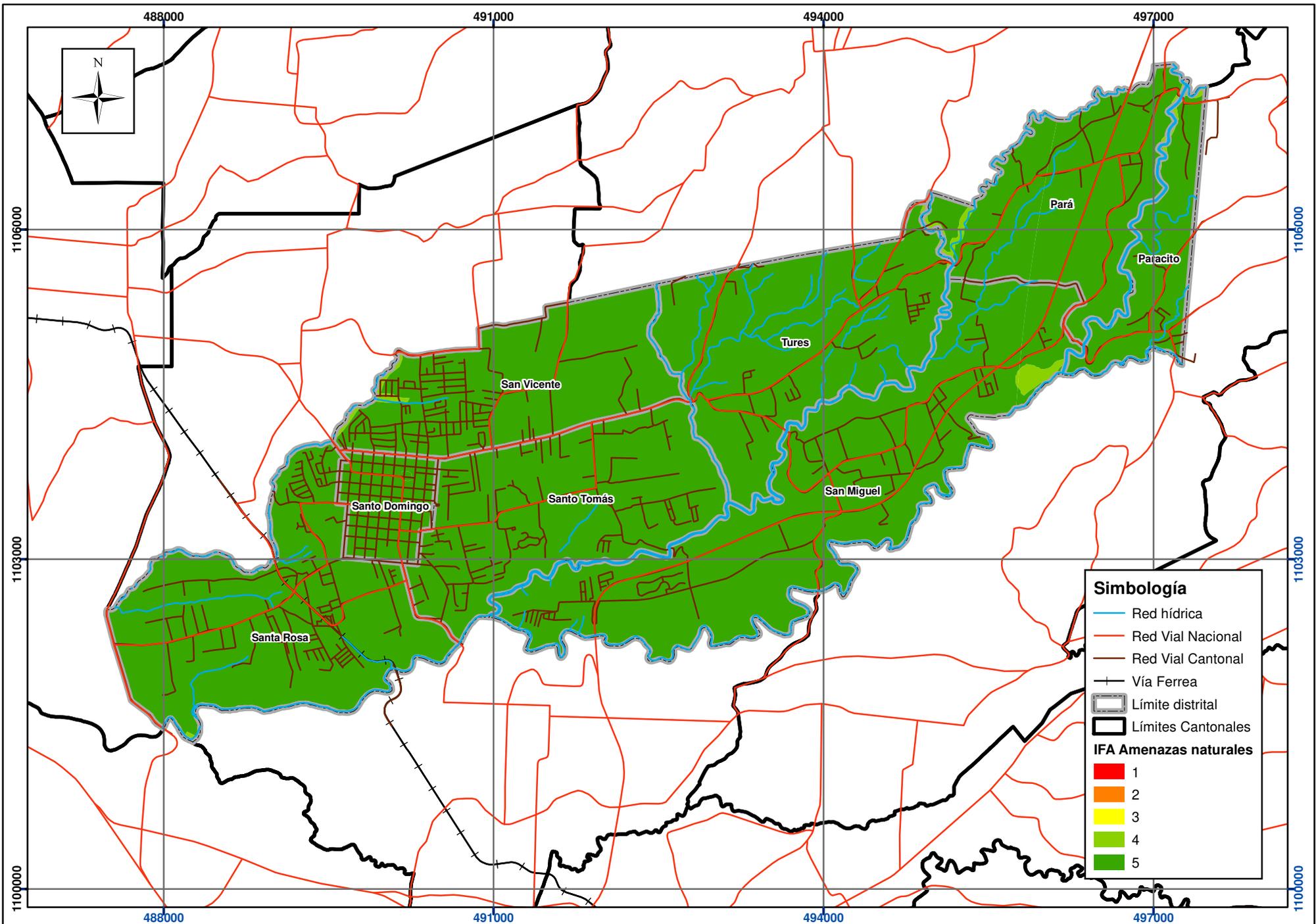
Mapa 1.5-7. Geoaptitud. Factor Amenazas Naturales. Amenaza por tsunami en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT: CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)



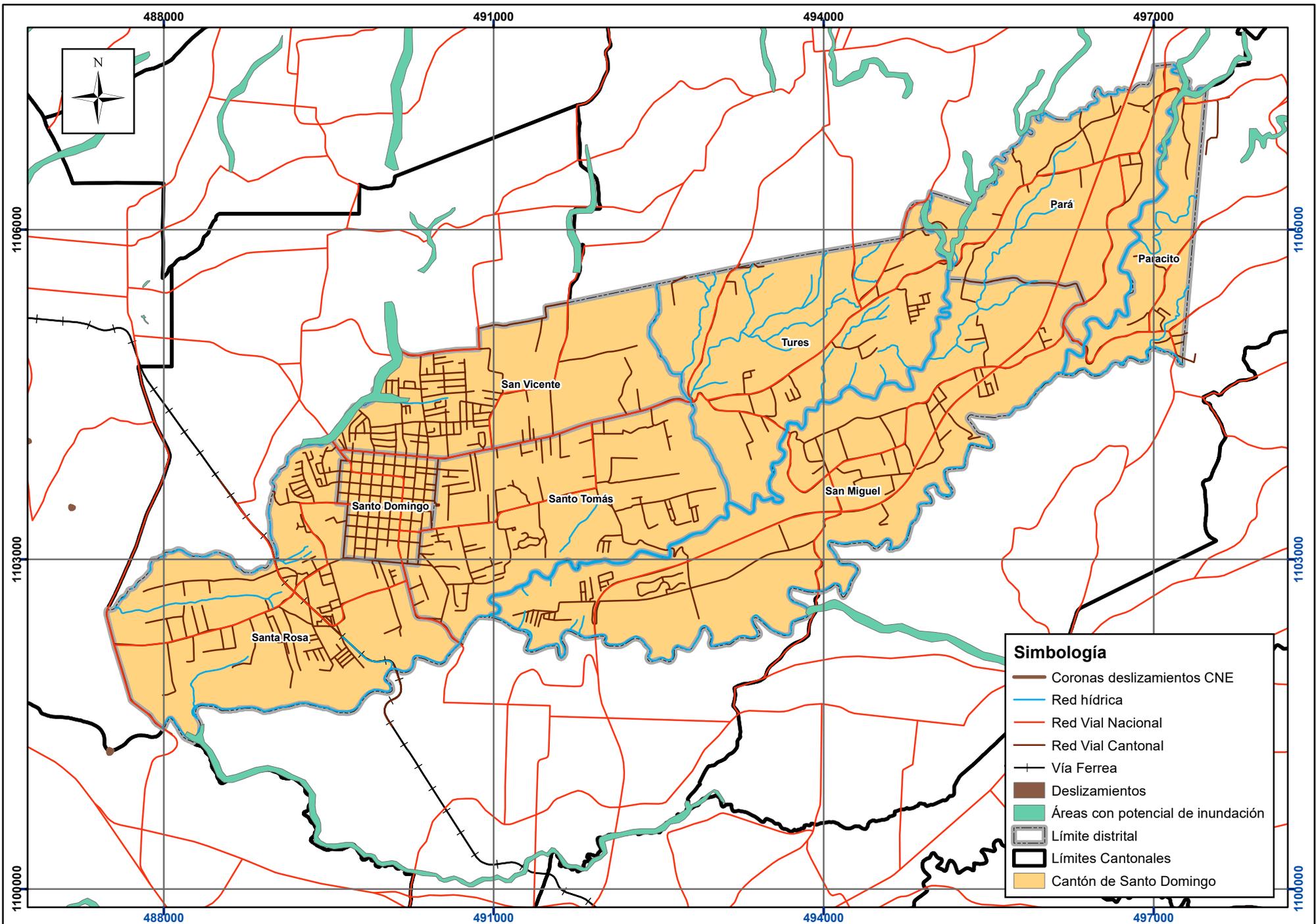


Mapa 1.5-8. Geoaptitud. Factor Amenazas Naturales integrado en el cantón de Santo Domingo.
 Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)





Mapa 1.5-9. Geoaptitud. Amenazas Naturales reportadas por la CNE en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)

1.6. IFA Geoaptitud integrado

El IFA geoaptitud integrado se obtiene de la suma de las cinco capas que incluyen valores normalizados (entre 1 y 5) de fragilidad para los distintos factores (litopetrofísico, geodinámica externa, hidrogeológico, estabilidad de ladera o deslizamientos y amenazas naturales,) y la posterior reclasificación con base en 5 agrupaciones como señala el Decreto.

$$IFA_{\text{Geoaptitud Integrado}} = IFA_{\text{Litopetrofísico}} + IFA_{\text{Geodinámica Externa}} + IFA_{\text{Hidrogeológico}} + IFA_{\text{Deslizamientos}} + IFA_{\text{Amenazas}}$$

La sumatoria y reclasificación se ajusta a lo señalado en el Decreto y específicamente en este componente que reúne 5 variables el valor máximo obtenible sería de 25; por lo tanto, la reclasificación de la sumatoria se ajusta tal y como se detalla en la Tabla 1-37.

Tabla 1-37. Categorías de reclasificación de la sumatoria para el cálculo del IFA geoaptitud integrado

Sumatoria de las 5 variables	Categoría	Valor reclasificado
5 – 9	Muy Alto	1
10-13	Alto	2
14 - 17	Moderado	3
18 – 21	Bajo	4
22 - 25	Muy Bajo	5

El resultado final se muestra en el Mapa 1.6-1. Se observa que la mayor parte de la zona de estudio dio como resultado un valor IFA de 4, mientras que las áreas más montañosas y de mayor pendiente se encuentran en las zonas de IFA de moderada fragilidad. Otras zonas de moderada fragilidad corresponden a áreas de peligro de inundación y deslizamientos.

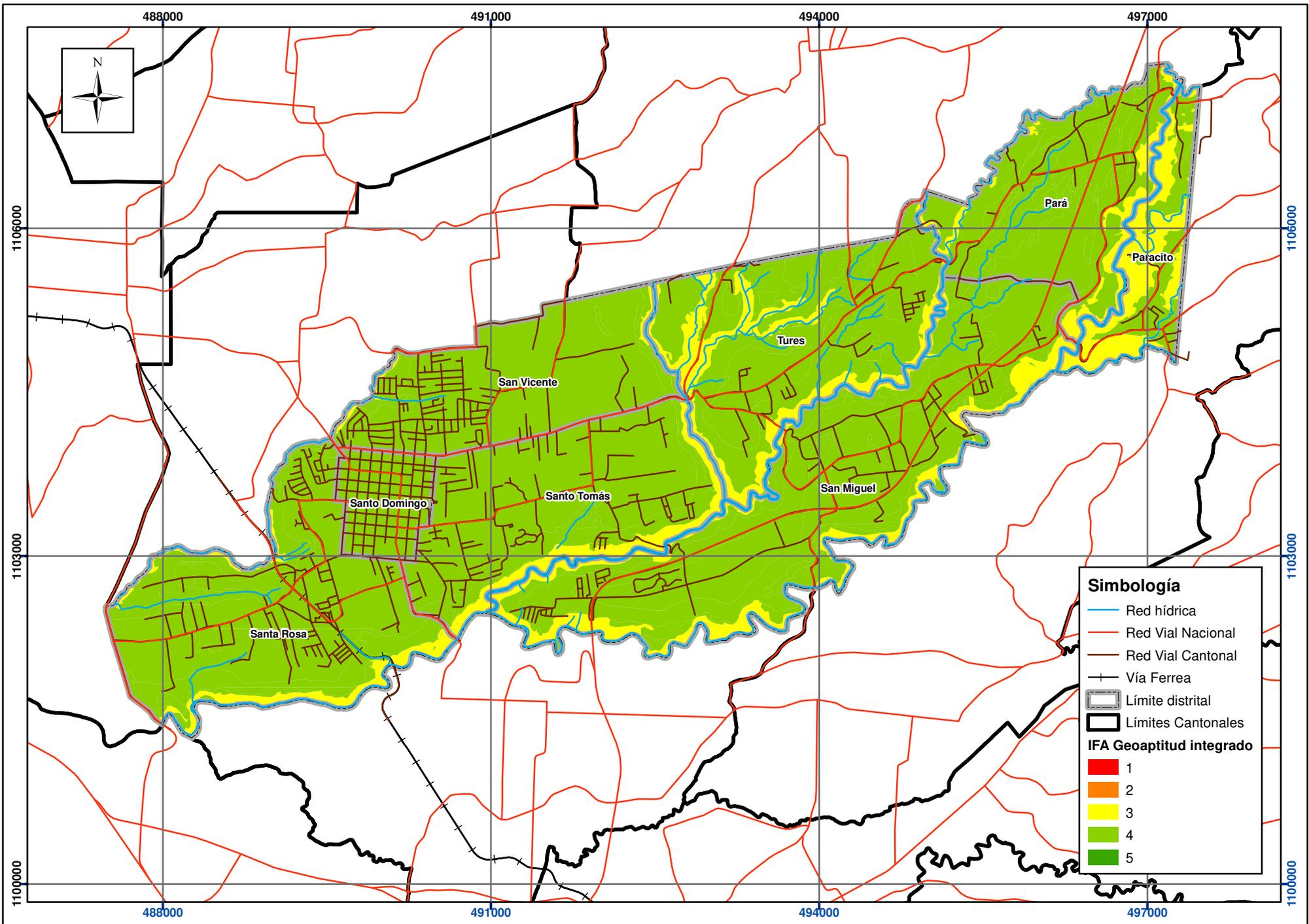
Limitaciones y potencialidades técnicas

A continuación, se presenta un resumen de las principales limitaciones y potencialidades del IFA geoaptitud. Éstas se desprenden de la representación de los factores y las interacciones que se dan entre ellas. Las limitaciones y potencialidades que se muestran a continuación están asociadas únicamente al conjunto de variables que forman parte de este factor, así que es posible que en una localización este factor no represente una limitación significativa mientras que para otro factor o eje IFA sí se encuentren limitaciones significativas al desarrollo humano.



Tabla 1-38. Limitaciones y potencialidades técnicas para el IFA geoaptitud

Valor IFA geoaptitud	Limitaciones	Potencialidades
2	Fragilidad alta en las siguientes variables: geodinámica externa, hidrogeología, deslizamientos y litopetrofísico. Limitaciones significativas al desarrollo humano.	Usos de protección de recursos naturales y conexos como ecoturismo.
3	Fragilidad moderada en el IFA integrado de geoaptitud. Las principales limitaciones se dan en las zonas de fragilidad alta por hidrogeología y geodinámica externa debido a las zonas de vulnerabilidad GOD alta y alta pendiente.	Protección de recursos naturales y desarrollo de baja densidad para las zonas de fragilidad alta por hidrogeología y geodinámica externa. Desarrollo urbano de densidad baja y media para el resto de las zonas
4	Fragilidad baja.	Desarrollo Urbano de densidades media y alta.



Mapa 1.6-1. IFA Geoaptitud integrado en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)



2. IFA Bioaptitud

El IFA bioaptitud pretende evaluar y cuantificar la información biológica del cantón; para ello se sirve de una serie de capas de información y una caracterización biológica. Para su cálculo se solicitan tres capas de información: cobertura biótica, áreas silvestres protegidas y potencial de corredor biológico.

A continuación, se resume mediante un diagrama de flujo el procedimiento de asignación y agrupación de variables empleado para este IFA. Este diagrama incluye información contextual que, además, sirve como fuente de información para el cálculo de las variables del IFA bioaptitud.

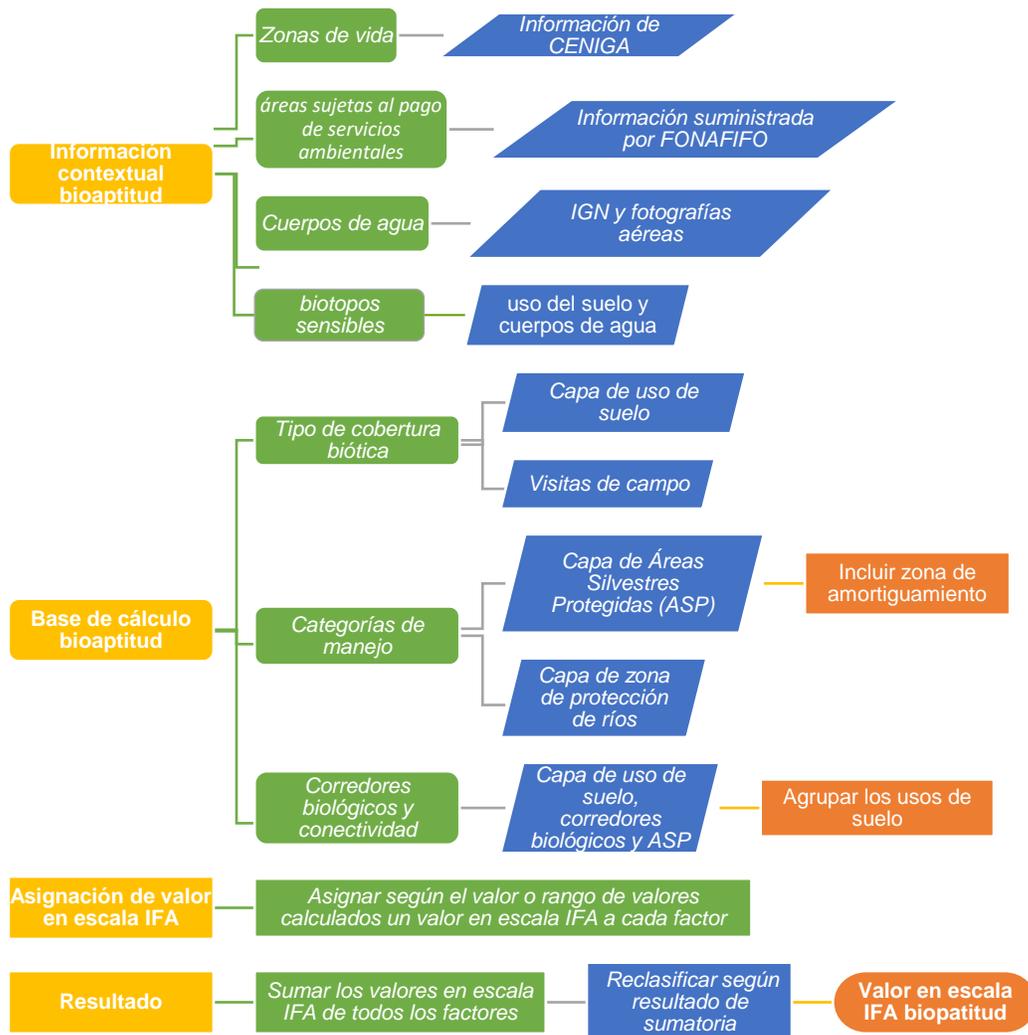


Figura 2-1. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del IFA bioaptitud.

Como parte de la integración de la información biológica del área de estudio dentro del proceso de generación de mapas de IFA, se hace necesario tomar en cuenta no solo la información cartográfica que pueda colectarse directamente en el campo, sino también toda aquella otra información técnica disponible en publicaciones oficiales, particularmente mapas, artículos científicos y normativa legal, así como lo referente a la aplicación de las regulaciones de protección ambiental que se hayan definido para espacios geográficos, tales como áreas en diferentes categorías de protección o similares formalmente establecidas por medio de instrumentos jurídicos.

La incorporación de la información biológica deberá realizarse por medio de mapas a la escala con que se esté trabajando el respectivo mapa de IFA, de la misma forma en que se ha realizado el trabajo con los mapas de Geoaptitud analizados anteriormente en este documento.

2.1 Cuerpos de agua y biotopos sensibles

El cantón de Santo Domingo presenta una cuenca hidrográfica compuesta por afluentes de los ríos Pará, Virilla, Tibás, Parasito, y algunas otras quebradas sin nombre, las cuales permiten mantener pequeñas áreas riparias, que podrían mantener condiciones favorables para la permanencia de diversos grupos taxonómicos de animales y plantas, principalmente aves y pastos respectivamente. Es probable que puedan permanecer especies acuáticas en los cauces de los ríos o quebradas, favoreciendo la cadena trófica de algunos organismos, así como algunas especies de herpetología (anfibios y reptiles) que serían fuente alimenticia de otros grupos de organismos. En algunos sectores se mantienen pequeños remanentes de árboles, que podrían estar colaborando en la estabilización de los terrenos, principalmente en aquellas áreas donde la topografía y pendiente del suelo es más pronunciada.

Respecto a biotopos sensibles, las márgenes de los cauces de ríos y quebradas son las áreas más expuestas a sufrir alteraciones por el crecimiento constante de la infraestructura urbana y la actividad agrícola, de ahí la importancia de la vigilancia de las zonas riparias que aún se mantienen dentro del cantón. Los mapas 2.1 y 2.2 muestran los biotopos sensibles y los cuerpos de agua existentes en el cantón.

2.2 Zonas de Vida

Según el sistema de zonas de vida de Holdridge, en el cantón se registran dos Zonas de Vida: Bosque Muy Húmedo Premontano y Bosque Húmedo premontano en alturas entre los 1000 y 1600 metros sobre el nivel del mar.

El cantón presenta un régimen de precipitación típico del Valle Central, con estaciones seca (diciembre-abril) y lluviosa (mayo-noviembre) bien definidas. La precipitación media anual oscila entre 2000 y 4.000 mm. Los meses de setiembre y octubre suelen ser los más lluviosos. La temperatura media anual se da entre los 18 y 24 °C.



En Zonas de Vida inalteradas o poco fragmentadas, se pueden encontrar especies animales como perezosos, martillas, coyotes, pizotes, mapaches, puerco espines, ardillas, algunos felinos como manigordo y yaguarondi, ratones, taltuzas y varios marsupiales entre otros como aves, anfibios y reptiles. Es muy probable que algunas especies puedan ser localizadas cerca de las zonas riparias, principalmente las que se encuentran en colindancias con bosques.

En estas zonas se presentan áreas de suelos volcánicos y fértiles, donde el bosque original mayormente ha desaparecido, un ejemplo de este bosque es el Valle Central, donde han quedando algunas especies de esta zona de vida como los géneros *Nectandra*, *Persea*, *Cinnamomun* de la Familia Lauraceae, *Cupania* de la Familia Sapindaceae, *Eugenia* de la familia Myrtaceae, *Cedrela salvadorensis* (cedro), *Cedrela tonduzii* (cedro dulce), *Albizia adinocephala* (carboncillo), *Dendropanax arboreus* (fosforillo), entre otras familias comunes como Elaeocarpaceae (Bolaños *et al.* 2005, Quesada 2007).

El bosque húmedo premontano posee un rango de precipitación amplio entre 2000 y 4000 mm como promedio anual, se extiende a lo largo de las cordilleras, en ambas vertientes, existiendo una gran variedad de condiciones edáficas. La vegetación del bosque original está constituida por especies como: *Scheffera morototoni* (fosforilo), *Vochysia allenii* (botarrama), *Ruopala montaña* (carne asada), *Cedrela odorata* (Cedro amargo), *Turpinia occidentalis* (cirrí, falso cristóbal).

En el bosque muy húmedo premontano existe diversidad de especies, el epifitismo es frecuente en con plantas de la familia Bromeliaceae, musgos líquenes, orquídeas, lianas, aráceas trepadoras, entremezcladas en la masa arbórea se levantan las palmas, los helechos arborescentes y los Guarumos blancos.

Estos bosques premontanos contienen gran importancia florística a nivel de familia como de especies, con la predominancia de árboles de la familia Moraceae y de la especie *Pseudolmedia oxyphillaria*, respectivamente. En este ecosistema el conjunto de especies presentes comparte tanto elementos de bosques secos como de bosques lluviosos de tierras bajas en el país, entre ellos: *Astronium graveolens*, *Bravaisia integerrima*, *Calophyllum brasiliense*, *Calycophyllum candidissimum*, *Exostema mexicana*, *Brosimum alicastrum*, *B.costaricanum*, *Manilkara chicle*, *Ocotea veraguensis* y *Terminalia oblonga*.

Aparte de lo anterior, es importante resaltar la presencia en este bosque, de especies arbóreas raras, con patrones de distribución restringidos o endémicas para el país, por ejemplo: *Acacia glomerata*, *Hauya lucida* o *Inga herrerae*; así como especies amenazadas o en peligro de extinción, tales como: *Astronium graveolens*, *Cedrela salvadorensis*, *Myroxylon balsamum* o *Sideroxylon capiri*, que hacen de este ecosistema un reservorio importante para la conservación de la biodiversidad en el nivel nacional y que justifica su seguimiento a largo plazo (Cascante y Estrada 2001).

Otras especies comunes en esta zona y que no se vieron en el recorrido porque ya el bosque primario y secundario se ha perdido quedando solo algunos remanentes ralos de bosque secundario pero con muy pocas especies son *Brosimum alicastrum*, *Calophyllum brasiliense*, *Cedrela odorata*, *Clarisia racemosa*, *Cojoba arborea*, *Ficus obtusifolia*, *Lafoensia puniceifolia*, *Manilkara chicle*, *Sapindus saponaria*, *Tapirira mexicana*, *Terminaria oblonga* y *Zinoweiwia integerrima*, típicas del estrato superior de los bosques secundarios enteros y primarios del bosque premontano.

En cuanto al estrato medio, es poco denso y se compone principalmente por individuos de *Allophylus psilospermus*, *Ardisia compressa*, *Capparis cynophallophora*, *Capparis discolor*, *Croton schiideanus*, *Cupania guatemalensis*, *Faramea occidentalis*, *Garcinia intermedia*, *Guarea glabra*, *Heisteria concinna*, *Ocotea veraguensis*, *Pseudolmedia oxyfillaria*, *Sorocea trophoides* y *Swartzia guatemalensis*. En el estrato inferior o sotobosque, que es bastante abierto y poco denso, hay un grupo de pequeñas palmas como *Chamaedora costaricana*, *Chamaedorea tepejilote* y *Bactris glandulosa*. Otras especies de este estrato son *Ardisia opegrapha*, *Ocotea atirrensis*, *Picamnia antidesma*, *Piper artanthopse*, *Piper marginatum* y *Ardisia revoluta* entre otras. Los helechos y las aráceas más importantes son *Adiantum sp.*, *Anemia sp.* y *Spatiphyllum phryniifolium*.

La caracterización de la cobertura vegetal de un lugar, permite valorar su estado de conservación o fragmentación, así como su autoregeneración, si se le permitiese una sucesión natural de su entorno. De ahí la importancia de anotar la identificación de cada una de las especies de árboles que son observadas en un área en particular. El mapa 2.3 muestra las zonas de vida del cantón.

2.3 Áreas sujetas a pagos por servicios ambientales

Según la base de datos del FONAFIFO, en cantón de Santo Domingo no presenta áreas sujetas a pagos por servicios ambientales en los últimos años que presentan registro, desde el 2018 al 2021.

2.4 Tipos de cobertura o usos del suelo desde el punto de vista biológico

2.4.1 Charral con árboles

En los recorridos realizados por el cantón Santo Domingo en los primeros días de enero del año 2023 se observó muy poca cobertura arbórea. Los árboles observados se encontraban de manera dispersa, ubicados a orillas de cursos de agua, altas pendientes y otros en zonas urbanizadas como parques, orillas de calles y patios de casas o instituciones (Figura 2-2).



Figura 2-2. Charrales con árboles pioneros en altas pendientes o zonas de protección en ríos.

Para una mejor valoración del tipo de cobertura boscosa que presenta un lugar o sitio específico, se deben identificar las especies existentes, así se logra predecir qué tipo de bosque hubo o que remanente de árboles se mantienen de lo que existió en la zona, de ahí que se identificaron algunas especies de estos árboles de zonas alteradas como fueron jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), mango (*Mangifera indica*), robles de sabana y corteza amarillo (*T. rosea*, *Tabebuia ochracea*), cítricos (*Citrus sp*), laurel (*Cordia eriostigma*), vainillo (*Tecoma stans*), llama del bosque (*Spathoidea campanulata*), cirrí (*Turpinia occidentalis*), níspero (*Eriobotrya japonica*, guayaba y guísaro (*Psidium guajaba*, *P. guineense*, *P. friedrichsthalianum*), aguacate (*Persea americana*), güitite (*Acnistus arborescens*), higueros (*Ficus benjamina*, *F. aurea*), sauce llorón (*Salix babylonica*), eucaliptos (*Eucaliptus deglupta*, *E. globulus*), *Conostegia xhalapensis*, *Heliconia*, bambu



(*Bambusa vulgaris*), tuete (*Montanoa hibiscifolia*), higuera (*Ricinus comunis*), jinocuabe (*Bursera simaruba*), lengua de vaca (*Miconia argentea*), colpachí (*Croton niveus*), cedro nogal (*Juglans regia*), Gravilias (*Grevillia robusta*), entre otros.

Los sectores visitados de charrales con árboles dispersos, plantaciones de café, cebolla, pastos y zonas urbanizadas fueron zona de protección de ríos como Virilla, Pará, Tibás, Parasito, Quebradas, Calle Ginia, Urbanización La Zamora y San Miguel, Santa Rosa y San Luis, como los más representativos.

2.4.2 Reductos de Bosque secundario

En lo que respecta a categorías de bosque se observaron muy pocos reductos de bosque secundario, que fueron dando espacio a los cafetales, charrales y urbanización (Figura 2-3). En ocasiones formando parte de una angosta franja de la zona de protección de cauces. Para mencionar algunas especies observadas en campo, identificamos el capulín (*Trema integerrima*), guácimos (*Goethalsia meiantha*, *Guazuma ulmifolia*), cirrí (*T. occidentalis*), aguacatillo (*Ocotea sinuata*), el guarumo (*Cecropia peltata*), poró (*Erythrina poeppigiana*), mango (*Mangifera indica*), aguacate (*Persea americana*), níspero (*E. japonica*), Targuá (*Croton draco*), laurel (*Cordia alliodora*), higuera (*Ficus elástica*, *F. golmeyerii*, *F. costarricana*), *Pinnus*, zotacaballo (*Zygia longifolia*), yos (*Sapium glandulosum*), dama (*Citharexylum donnell-smithii*), uruca (*Trichilia havanensis*), tucuico (*Ardisia revoluta*), *Ocotea caerulea*, peine de mico (*Apeiba membranacea*), nance macho (*Clethra mexicana*), cacho de venado (*Dendropanax arboreus*), cedro (*Cedrella tonduzii*), *Eugenia* sp., chaperno (*Lonchocarpus phaceolifolius*), guijarro (*Stenmadenia grandiflora*), manteco (*Cupania glabra*), árbol de cera (*Morella cerifera*), papaturro (*Coccoloba caracasana*), guaba (*Inga densiflora*), *Ocotea veraguensis*, quebracha (*Lysiloma divaricatum*), entre otros.

Los sectores visitados con cobertura boscosa dentro del cantón Santo Domingo, se ubican dentro de la zona de protección del río Pará, otro sector pequeño dentro de la zona de protección del río Tibás hacia el fondo de la urbanización La Zamora y en la misma situación una parte de la zona de protección en una quebrada a la altura de San Miguel.



Figura 2-3. Algunos sectores con remanentes de bosque secundario.

2.4.3 Cultivos

Las zonas cultivadas o con uso de suelo agrícola aprovechadas por la población para sustento, se encuentran entre urbanizaciones o muy cerca de zonas de protección de los cauces visitados. También están cercanas a charrales con árboles dispersos de especies pioneras como las mencionadas y algunos reductos pequeños de bosque secundario. Se observaron bastantes zonas con cafetales y cultivo de cebolla, tomate, maíz, plátano, otras áreas de repastos en su mayoría abandonadas o con charral inmerso y algunos árboles aislados (Figura 2-4).



Figura 2-4. Zonas de cultivos en el cantón Santo Domingo, café, tomate, cebolla, pastos.

2.4.4 Áreas protegidas establecidas

No se observan áreas protegidas dentro del cantón excepto una propiedad del Sinac, antiguas instalaciones del INBio, la cual se mantiene con la tutela gubernamental.

2.4.5 Áreas con potencial como corredores biológicos

No se observaron áreas con potencial para corredor biológico. Solo un parche y remanentes de Bosque secundario en un corredor biológico ya propuesto que baja por el río Pará hacia su desembocadura en el río Virilla. Este sector se encuentra con cobertura de bosque secundario en la mayoría de la zona de protección de este río. En varios sectores sobre todo cerca de la desembocadura, esta zona de protección es una franja angosta presionada por urbanizaciones, cafetales y pastos, aunque muchos abandonados convertidos ya en charrales con árboles (mapa 2-5).

Se recomienda gestionar la restauración de bosque en la zona de protección que conforma este corredor del cantón Santo Domingo, específicamente río Pará y Virilla. Además también se sugiere iniciar un programa de educación ambiental municipal, con las urbanizaciones y casas aledañas así como con los estudiantes de escuelas y colegios para difundir la importancia del corredor biológico y su conservación, a la vez desarrollar la sana convivencia con fauna silvestre que habita en esa zona. Dentro de esa educación

ambiental se deben incluir prácticas sustentables, aislamiento de sus áreas de cultivo, no alimentación a la fauna silvestre local, y eventualmente planear proyectos de turismo rural comunitario, donde puedan verse beneficiadas las comunidades locales.

2.5 IFA bioaptitud integrado

Finalmente, el IFA bioaptitud se calcula sumando y reclasificando las tres variables evaluadas, a la escala de categorías IFA, el resultado de esta operación se muestra en el Mapa 2.7.

Como se menciona en la introducción la sumatoria y reclasificación se ajusta a lo señalado en el Decreto, específicamente en este factor al reunirse 3 variables el valor máximo obtenible sería de 15; por lo tanto, la reclasificación de la sumatoria se ajusta a la siguiente tabla.

Tabla 2-2. Categorías de reclasificación de la sumatoria para el cálculo del IFA bioaptitud

Sumatoria de las 3 variables	Categoría	Valor reclasificado
3 – 5	Muy Alto	1
6 – 8	Alto	2
9 – 11	Moderado	3
12 -13	Bajo	4
14 – 15	Muy Bajo	5

El IFA integrado de bioaptitud muestra que la mayoría del cantón presenta una fragilidad muy baja, representada principalmente por la zonas de cultivo. Por otro lado la zona con potencial como corredor biológico son las que presentan fragilidades moderada o alta.

Limitaciones y potencialidades técnicas

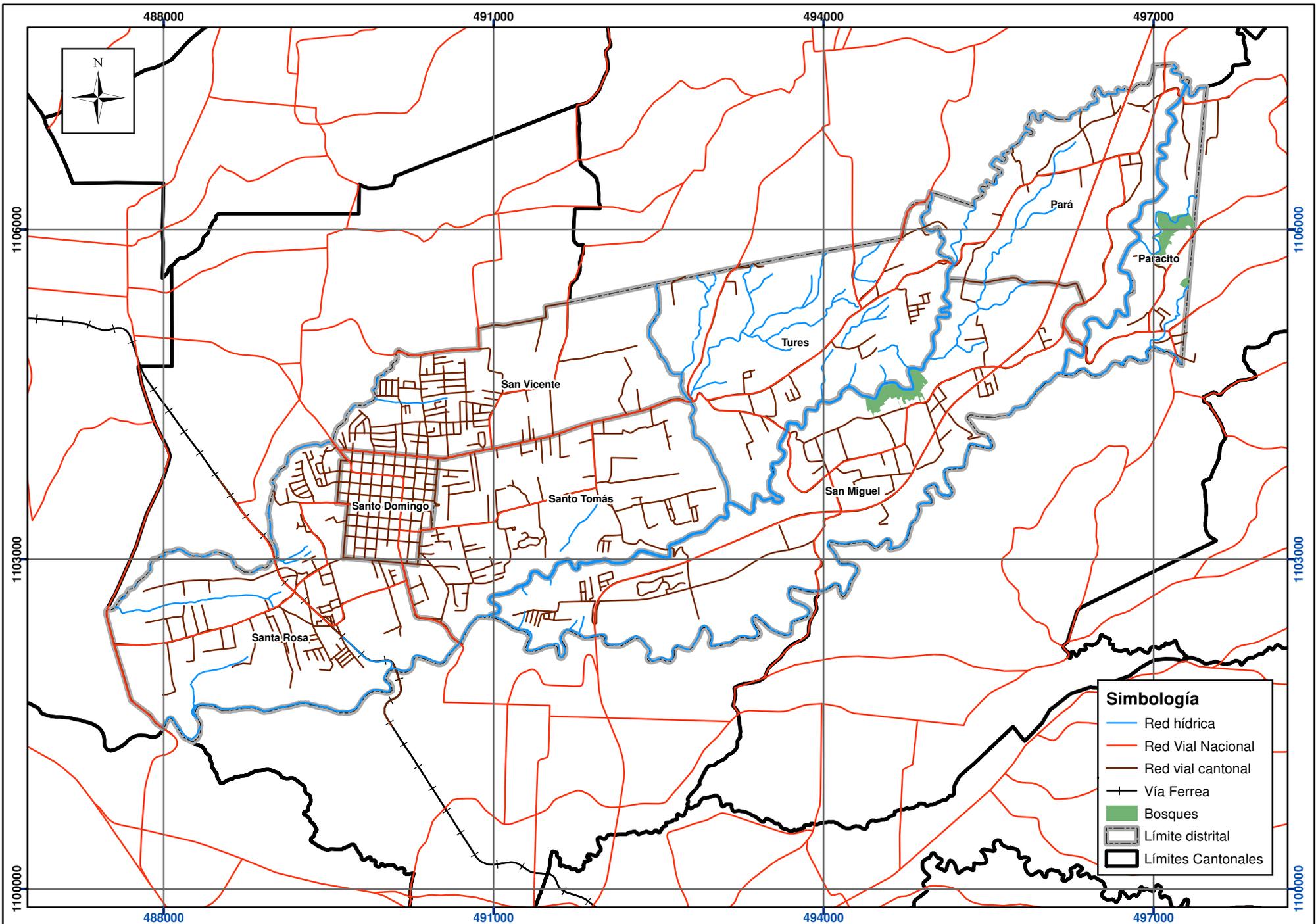
A continuación, se presenta un resumen de las principales limitaciones y potencialidades del eje IFA bioaptitud. Éstas se desprenden de la representación de los factores y las interacciones que se dan entre ellas. Tanto las limitaciones como las potencialidades expuestas están asociadas únicamente al conjunto de variables que forman parte de este factor, así, es posible que una localización de este factor no represente una limitación significativa mientras que para otro factor o eje IFA sí se encuentren limitaciones significativas al desarrollo humano.

Tabla 2-3. Limitaciones y potencialidades técnicas para el IFA bioaptitud

Valor IFA	Limitaciones	Potencialidades
1		
2	Áreas con ecosistemas que pueden ser alterados fácilmente, que se encuentran dentro de la zona de protección de ríos o son parches de bosque protegidos por la Ley Forestal y dentro de corredores biológicos	Áreas aptas para la protección y recuperación forestal, en algunas regiones también para usos antrópicos eco sostenibles. Zonas aptas para Pagos por Servicios Ambientales.
3	Áreas actualmente intervenidas con actividades antrópicas que restringen la proliferación de biodiversidad. Muchas de las zonas corresponden a las zonas de protección de ríos y quebradas por lo que no pueden realizarse construcciones.	Áreas aptas para la recuperación vegetal o usos antrópicos con coberturas moderadas a bajas.
4		Áreas aptas para el uso antrópico de media-alta densidad
5		Áreas aptas para el uso antrópico de alta densidad

Referencias

- Bolaños, R.; Watson, V., y Tosi, J. 2005. Mapa ecológico de Costa Rica (Zonas de Vida), según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge), Escala 1:750 000. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Cascante M. Alfredo y Armando Estrada Ch. 2001. Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el Valle Central de Costa Rica. Rev. biol. trop vol.49 n.1 San José Mar.
- Quesada Ruperto. 2007. Los Bosques de Costa Rica. IX Congreso Nacional de Ciencias. Exploraciones fuera y dentro del aula 24 y 25 de agosto. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. Consultado en línea el 20/11/2022, <http://www.bio-nica.info/>.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2013. Plan General de Manejo 2016-2021- Refugio Nacional de Vida Silvestres Playa Hermosa-Punta Mala: 18-. Refugio Nacional de Vida Silvestres Playa Hermosa-Punta Mala -Área de Conservación Pacífico Central (ACOPAC). Aguirre-Costa Rica. 113 págs.



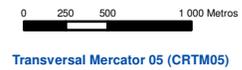
Simbología

- Red hídrica
- Red Vial Nacional
- Red vial cantonal
- +— Vía Ferrea
- Bosques
- Límite distrital
- Límites Cantonales

Mapa 2.1. Bioaptitud. Biotopos sensibles en el cantón de Santo Domingo.

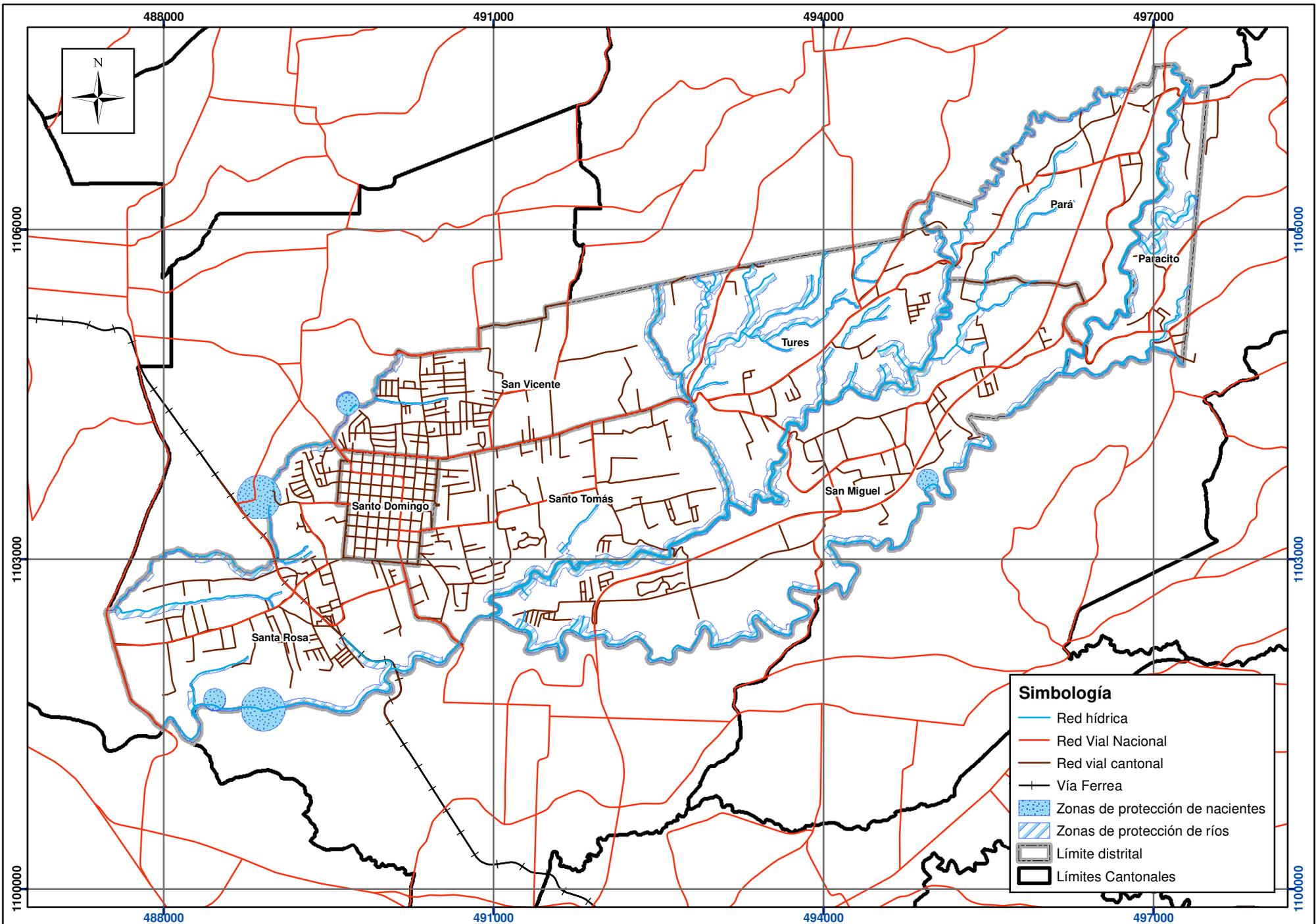
Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT- CENIGA 2019;
 Trabajo de campo, ProDUS-2023;
 ProDUS, 2023.



Transversal Mercator 05 (CRTM05)





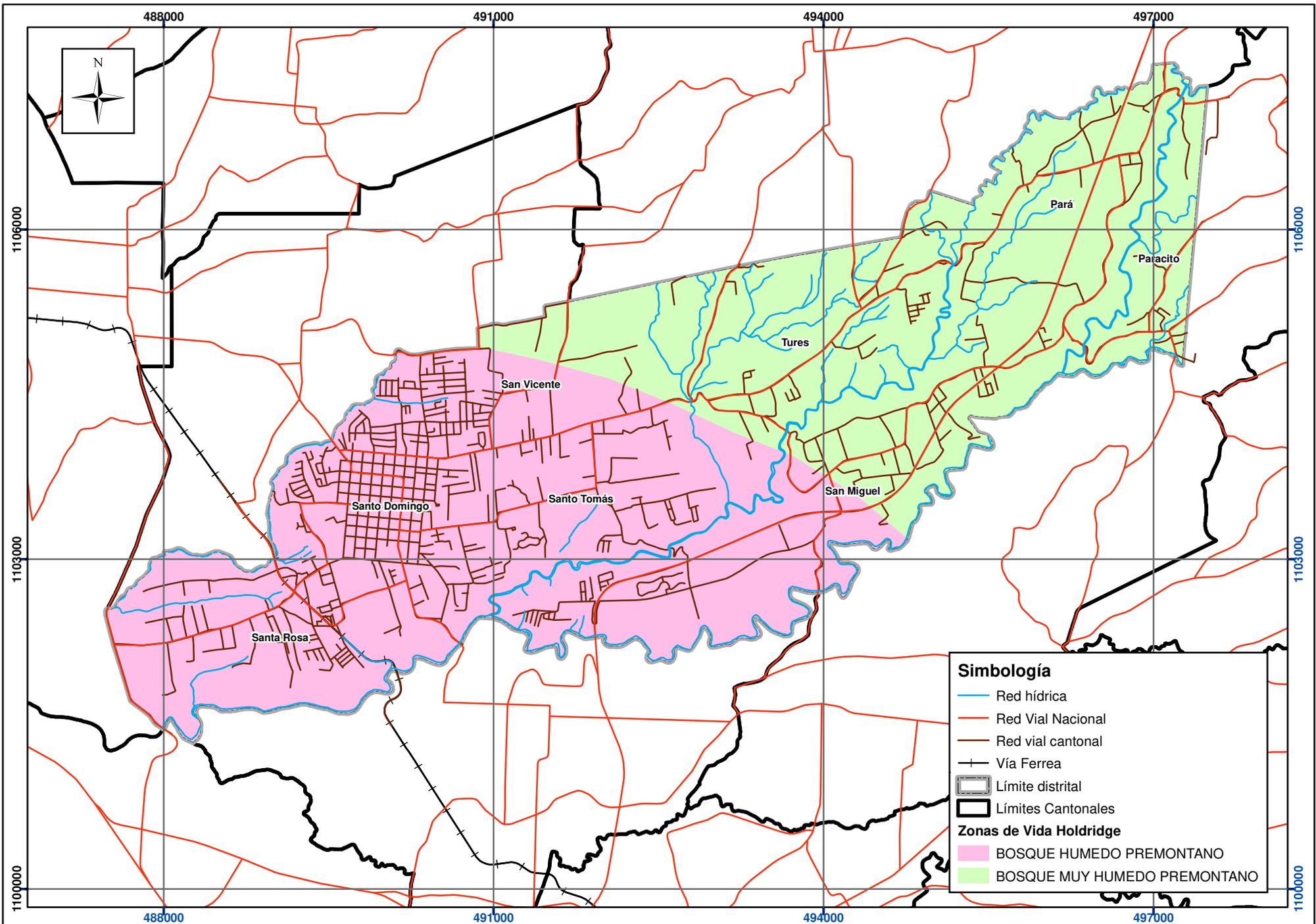
Mapa 2.2. Bioaptitud. Cuerpos de agua en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
SNIT 1:25.000,
SNIT- CENIGA 2019;
SINIGIRH, 2023;
ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





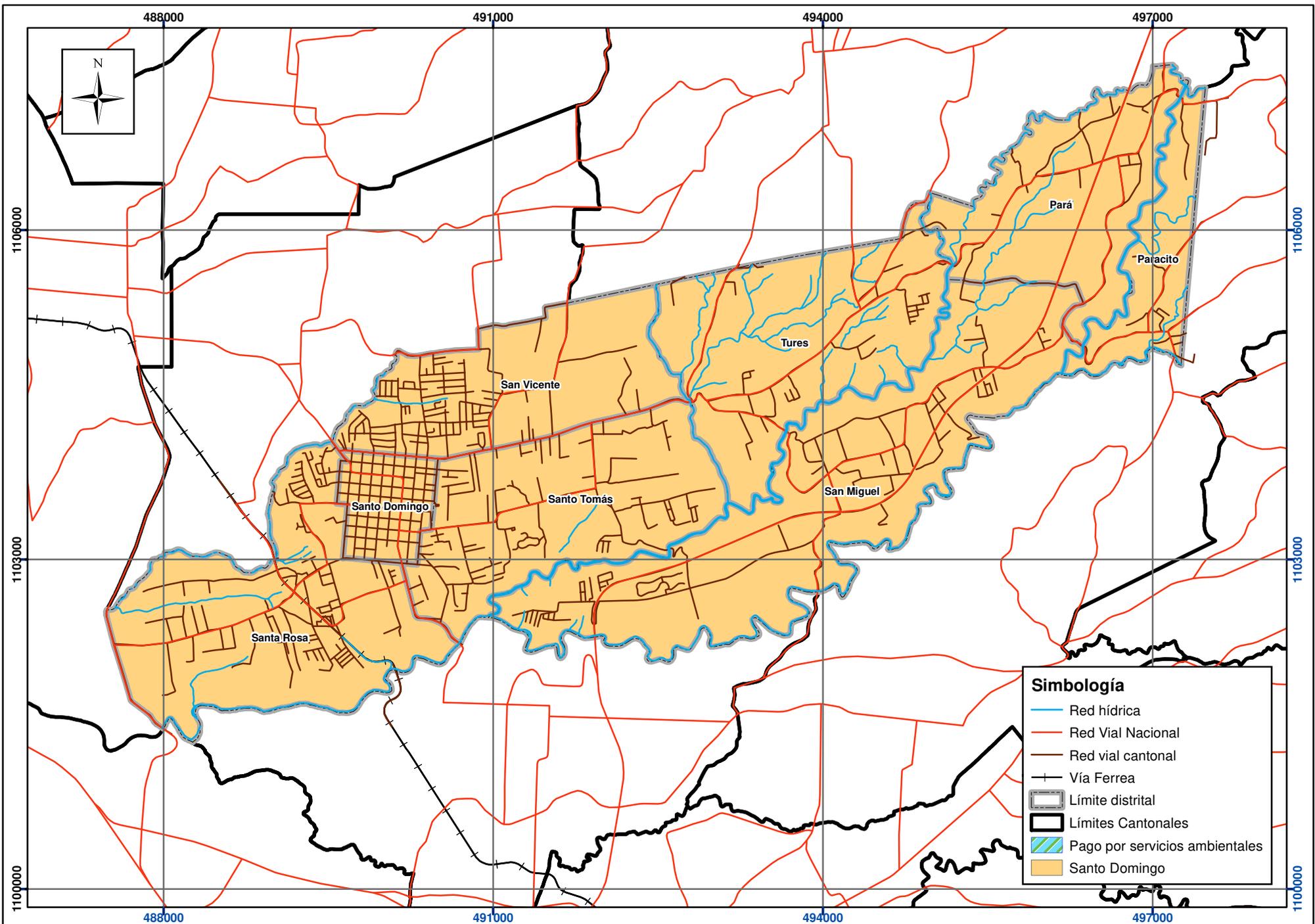
Mapa 2.3. Bioaptitud. Zonas de Vida en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
SNIT 1:25.000,
SNIT- CENIGA 2019;
ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





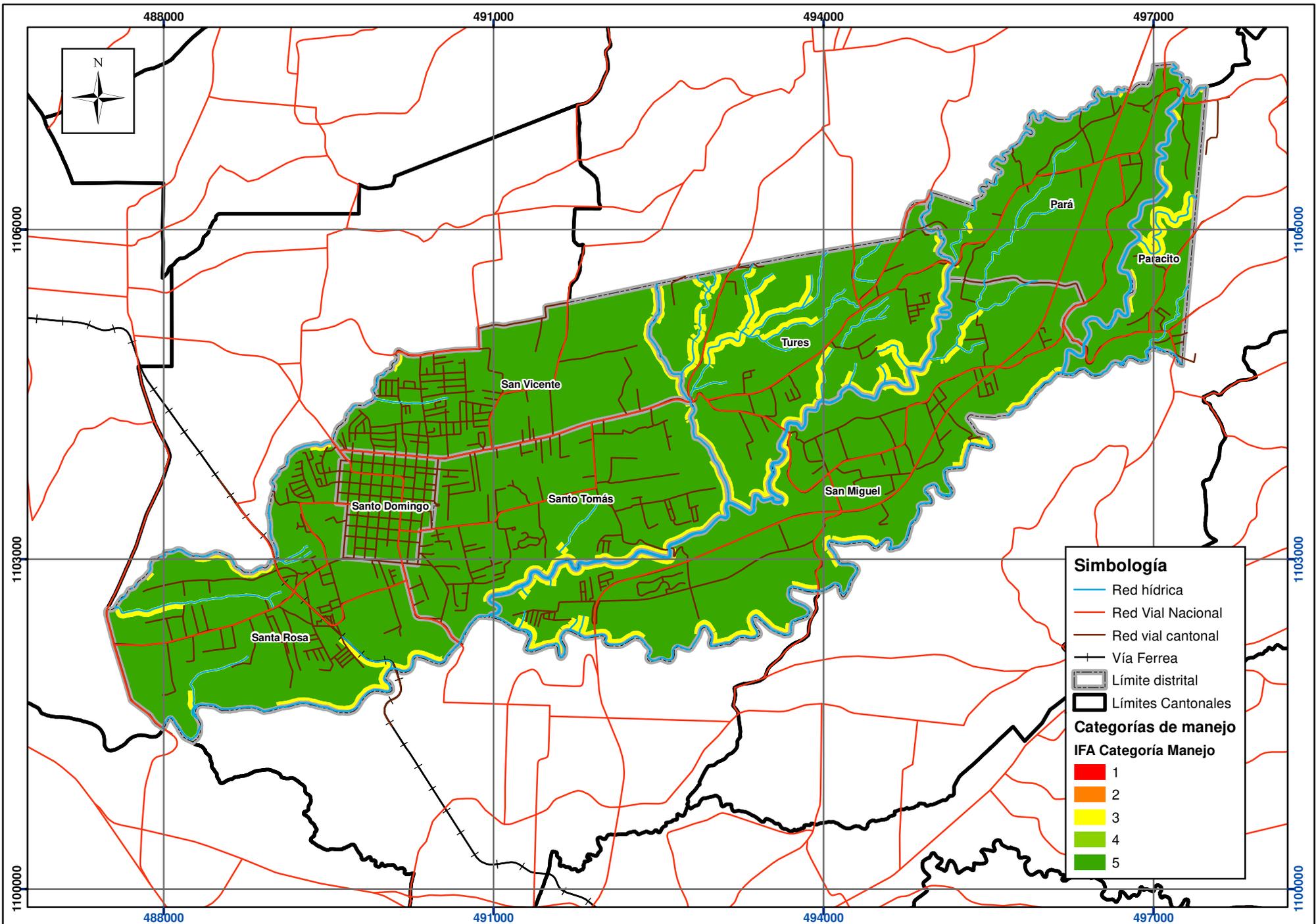
Mapa 2.4. Bioaptitud. Pago por servicios ambientales en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
SNIT 1:25.000,
SNIT: CENIGA 2019;
ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





Mapa 2.5. Bioaptitud. Categorías de manejo en el cantón de Santo Domingo.

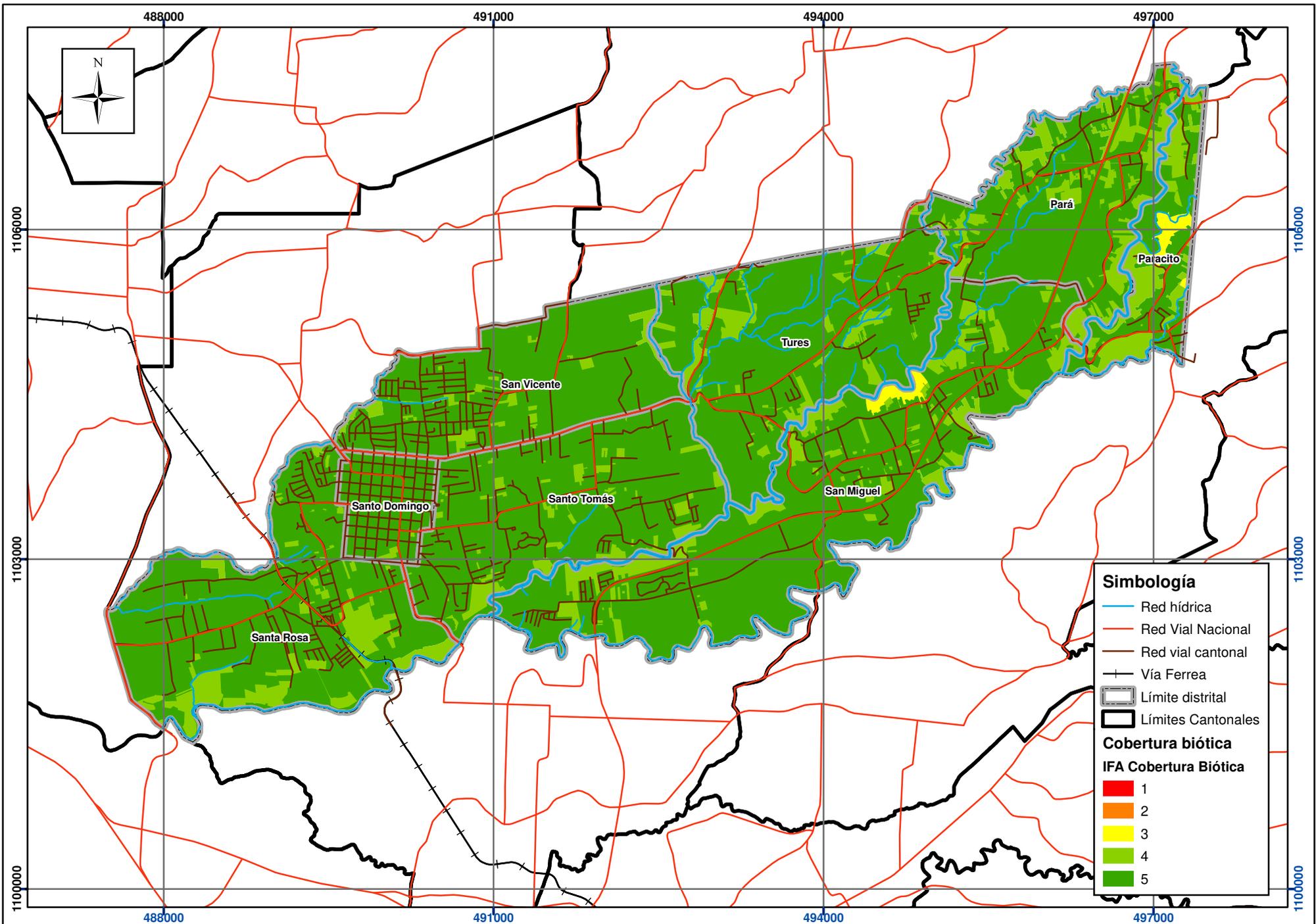
Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.



Transversal Mercator 05 (CRTM05)





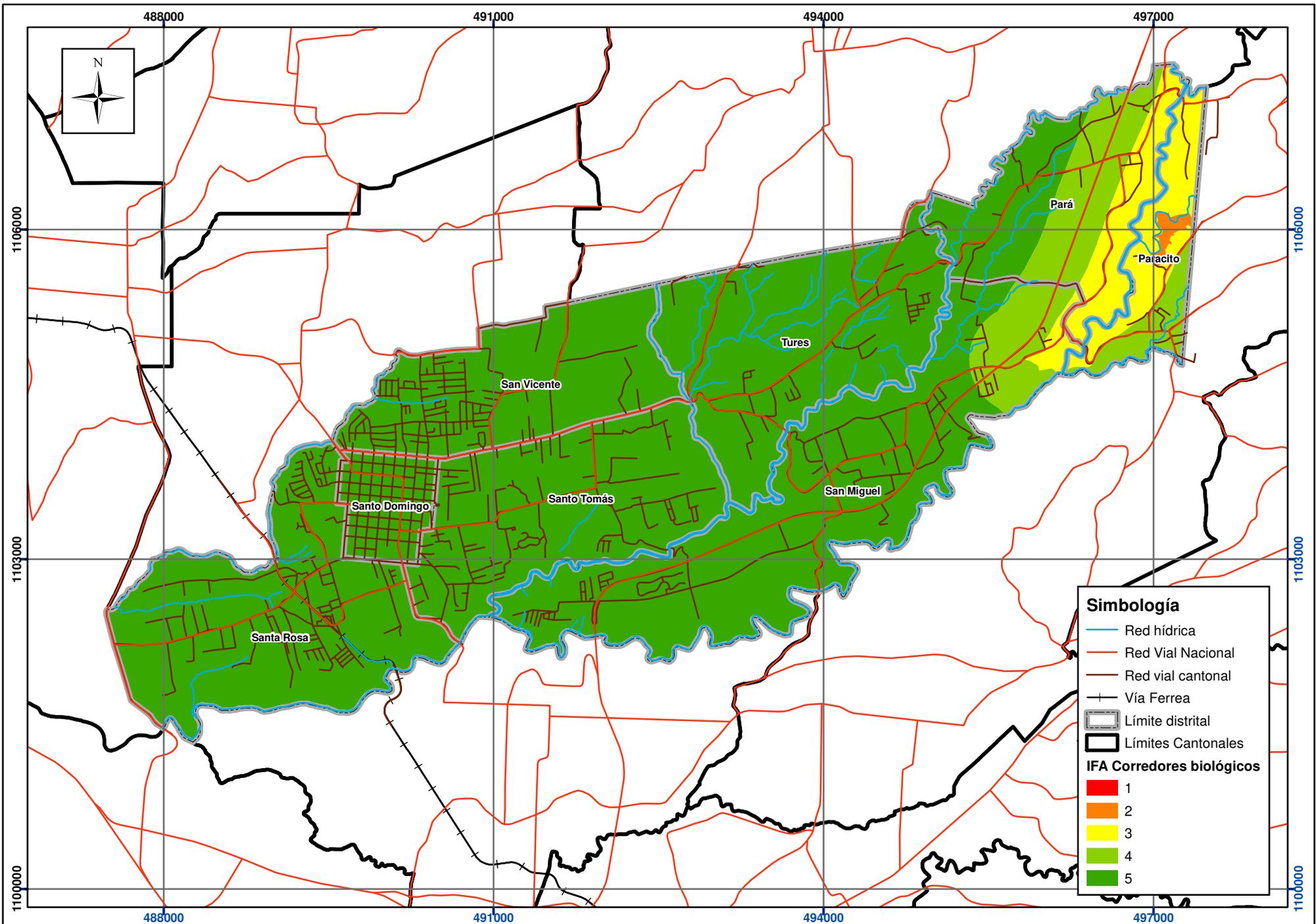
Mapa 2-6. Bioaptitud. Cobertura biótica en el cantón de Santo Domingo

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
SNIT 1:25.000,
SNIT- CENIGA 2019;
Trabajo de campo, ProDUS-2023;
ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Transversal Mercator 05 (CRTM05)



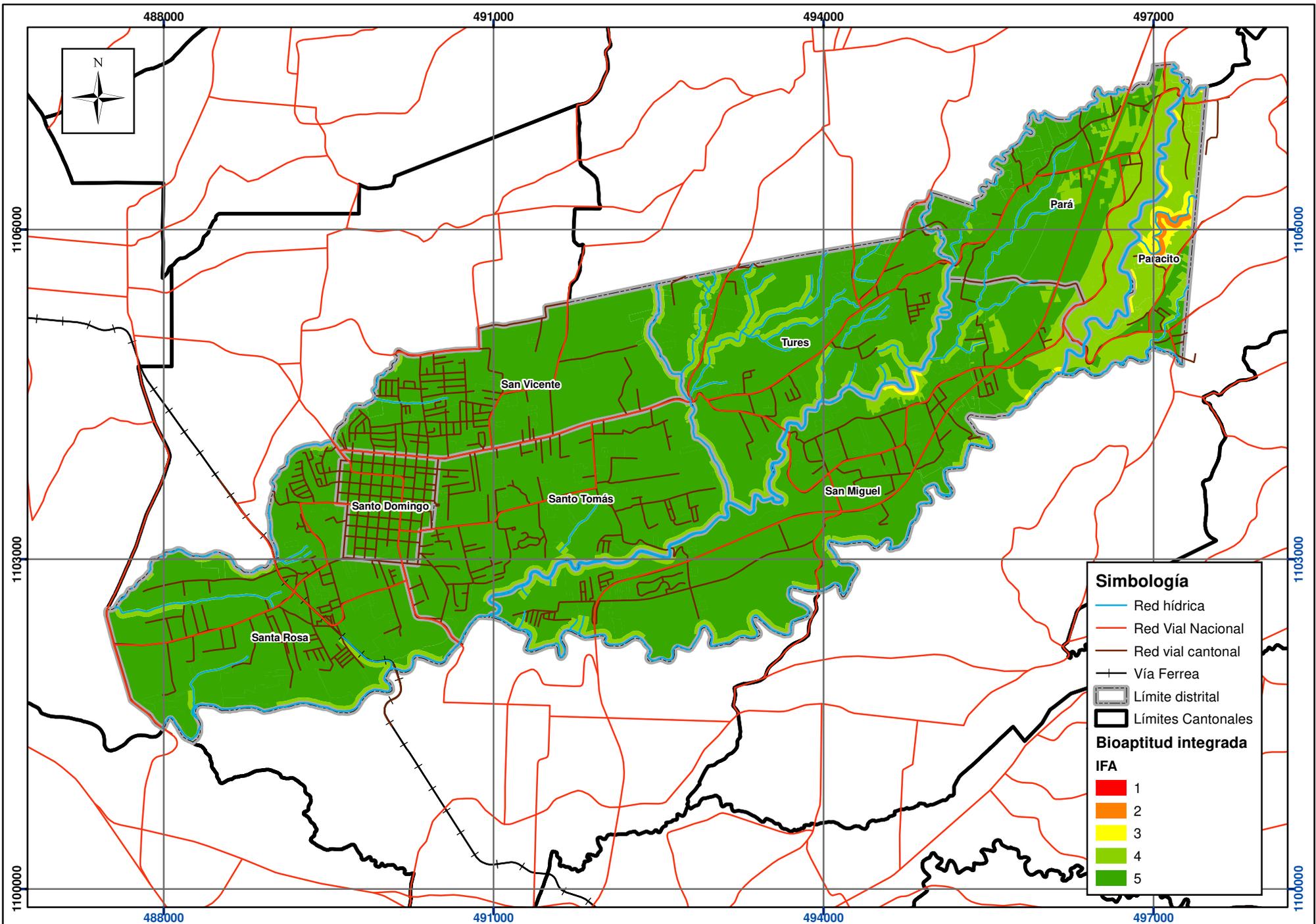


Simbología

- Red hídrica
- Red Vial Nacional
- Red vial cantonal
- Vía Ferrea
- Límite distrital
- Límites Cantonales

IFA Corredores biológicos

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5



Mapa 2-8. Bioaptitud. IFA bioaptitud integrada en el cantón de Santo Domingo

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
SNIT 1:25.000,
SNIT: CENIGA 2019;
ProDUS, 2023.

0 250 500 1 000 Metros
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





3. IFA Edafoaptitud

De acuerdo con el decreto N°32967-MINAE GACETA N°85, 4 de mayo, 2006, el índice de edafoaptitud es “la condición de aptitud natural que tiene un terreno dado, respecto a las condiciones de la capa de suelo que lo recubre, tomando en cuenta aspectos tales como tipo de suelo, potencial agrícola del mismo y su capacidad de uso del suelo en función de su aptitud forestal.” Según la metodología establecida, un índice de edafoaptitud bajo corresponde numéricamente a 1 lo que indica la presencia de muchas restricciones edáficas o condiciones de cuidado del suelo para fines de producción agrícola, por lo tanto, su capacidad de producción agrícola es baja o incluso nula, limitada y requiere cuidado para su manejo, por ende, con alta fragilidad ambiental. Un índice alto cuyo valor máximo es 5 indica una alta capacidad de producción agrícola, pocas limitaciones técnicas de parte del suelo y del entorno implicando muy baja fragilidad ambiental pero que requiere de cuidados para su sostenibilidad agrícola.

Los mapas fuente fueron tomados de Mata et al. (2016) a escala 1:200 000 (taxonomía de suelos a nivel de suborden) y del Atlas Digital de CR (Ortiz 2008) para los mapas: geomorfológico, geológico, capacidad de uso de Tierras, zonas de vida del sistema Holdridge y meses secos al año.

La capa de Capacidad de Uso de Tierras se revisó de acuerdo a la “Determinación de la capacidad de uso de las tierras Agroecológicas de Costa Rica” llamada desde ahora CUTA en este documento (modificación al Decreto Ejecutivo N° 23214-MAG-MIRENEM del 13 de abril de 1994, publicado en La Gaceta N° 107 del 6 de junio de 1994) cuya metodología fue revisada y modificada ligeramente (Decreto Ejecutivo N° 41960-MAG-MINAE del 18 de julio de 2019, publicado en La Gaceta N° 251 del 12 de noviembre de 2019) en clasificación de algunas de las 14 unidades de manejo distribuidas en las subclases: erosión (e), suelo (s), drenaje (d) y clima (c).

Dada las condiciones de topografía quebrada principalmente en los márgenes de los ríos y al norte del cantón. En la capa anterior de capacidad de uso de Tierras (CUT), la pendiente tuvo un papel importante como una de las principales limitantes en la subclase erosión (e) a lo largo de la riera. La zona de vida de bosque muy húmedo limita al noreste del cantón hacia una clase II en CUT. Para obtener detalle de pendientes, se procedió a levantar un DEM (Digital Elevation Model o MED por sus siglas en español) a partir de curvas de nivel cada 10 m (como capa vectorizada, fuente original IGN 2013) y el uso de interpolación con TIN. Luego del DEM se procedió a separar por pendientes de acuerdo con las categorías dadas por orden de capacidad de uso de Tierras agroecológicas. La unidad de manejo e_1 que corresponde a pendiente del terreno, por tanto, se procedió a categorizar en: $\leq 3\%$, 3 a 8%, 8 a 15%, 15 a 30%, 30 a 55%, 55 a 75% y $\geq 75\%$. Estos rangos de pendiente ayudan a separar por capacidad de uso a nivel de orden (I a VIII, excepto la V para la cual la pendiente no es determinante, como si lo son profundidad efectiva, textura, pedregosidad, toxicidad de cobre, salinidad, drenaje, riesgo de inundación, zona de vida, neblina y viento). En cuanto a erosión (e_2), no se puede evaluar en toda la zona, pero se sabe que siempre está presente (categoría leve al menos) que limita desde clase II o superior. Y la información de meses secos



consecutivos al año limita hasta clase II cuando está entre 3 y 4 meses (suroeste del cantón) sin embargo esta limitante con disponibilidad de riego es superada de inmediato, por tanto clasificaría como clase I por esta unidad de manejo.

Los suelos (mapa 3.1) desde de la parte central del cantón hacia el suroeste son de origen volcánico con materiales formadores del suelo del cuaternario (hace aprox. 2,5 millones de años hasta la actualidad), sin embargo, gran parte del área está cubierta por zona urbana. Hacia el noreste hay asociación de ultisoles con inceptisoles, donde estos últimos están presentes en partes de alta pendiente, erosionados y por tanto material parental expuesto o poco meteorizado. En el mapa 3.1 lo que se menciona como categoría de suelos urbanos, esta no corresponde a un tipo de suelo, sino más bien a un uso, donde por la misma condición de construcciones civiles, el suelo debió ser decapitado (remoción del horizonte superior) y esto anula la posibilidad de clasificarlo taxonómicamente, pero fueron volcánicos (Andisoles).

La textura (s_2) de muestras de suelo tomadas a lo largo del cantón fue medida en 7 muestras de campo y complementadas con 2 de calicatas en el borde norte tomadas de Mata et al (2016) y descritas por Mata y Ramirez (1999) y Alpízar (1977). Las texturas predominantes son francas como se observa en el Cuadro 4. Continuando con las unidades de manejo, s_3 (pedregosidad) no fue evaluada, pero por apreciaciones de recorrido de campo, no es común, salvo en bordes de río con bordes de riveras extensas o en suelos pocos profundos y de alta pendiente en montañas; la fertilidad (s_4) se evaluó en 9 diferentes puntos y se explica más adelante (Cuadro 4); la toxicidad de cobre (s_5) y salinidad (s_6) no son condiciones limitantes en la zona, lo que se refuerza con los resultados de análisis de laboratorio de suelos. En cuanto a drenaje (d_1) y riesgo de inundación (d_2) tampoco son limitantes fuertes, excepto en márgenes de ríos con pendientes de rivera muy baja que puedan facilitar desbordes. Y en cuanto a clima, la zona de vida (c_1) si limita la condición de potencial agrícola al noreste por condiciones muy húmedas, periodo seco (c_2) limita por ser de 4 a 5 meses secos consecutivos (Atlas 2008), neblina (c_3) no es limitante, el viento (c_4) estaría entre ausente y moderado donde este último limitaría a clase II.

3.1 Categorías de uso de la tierra

La zona de estudio presenta un uso agrícola muy limitado en área dada la alta presión de la expansión urbana. Con los datos recopilados recientemente mediante imagen satelital, los nuevos usos a 2021 son los que se observan en el siguiente cuadro 3-1.

Tabla 3-1. Distribución por áreas según el uso de suelo en el cantón de Santo Domingo, Heredia. 2022.

Usos del suelo	Área (ha)	Porcentaje
Café	562,2	22,2%
Hortalizas y granos	0,1	0,003%
Otros cultivos	258,9	10,21%
Pasto	107,1	4,22%
Pastos con árboles dispersos	163,1	6,43%
Plantación forestal	0,4	0,02%
Árboles	166,4	6,56%
Charral	44,9	1,77%
Parque y zona verde	3,0	0,12%
Urbano	840,6	33,16%
Autopista/autovía/carretera	191,3	7,55%
Curso fluvial	67,6	2,67%
Industrial	129,7	5,11%
Total	2535,4	100%

En el siguiente gráfico (Figura 3-1) se puede observar la distribución de área según el índice de Fragilidad Ambiental para el factor edafaptitud de acuerdo a Categorías de uso de la Tierra.

El Cantón de Santo Domingo presenta un mayor porcentaje (52,1%) de área bajo fragilidad Baja seguida por Moderada con 33,6% del área, una proporción similar y baja entre Muy Alta y Muy Baja y bajo fragilidad Alta con poca participación proporcional (9,1%). Esto significa que el cantón tiene alrededor de 4 quintas partes de su territorio con un buen potencial agrícola, y las zonas de pendiente deben ser cuidadas para lograr y mantener su potencial agrícola.

Fragilidad

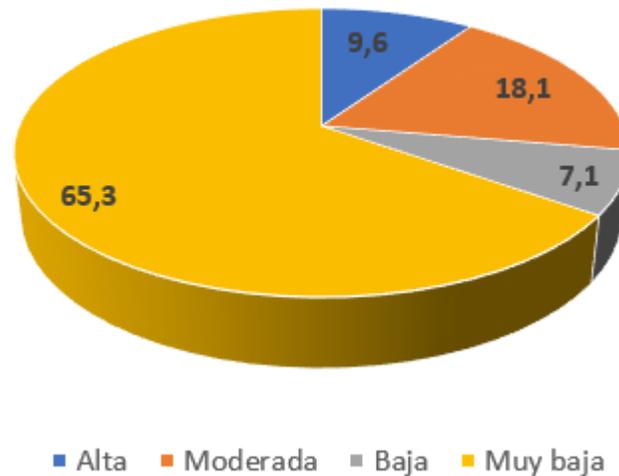


Figura 3-1. Porcentaje de área de estudio según fragilidad ambiental por el factor de Categorías de uso potencial de la Tierra. Santo Domingo.

En el siguiente cuadro se puede observar la distribución de áreas según el resultado de Fragilidad Ambiental por Categorías de uso de la Tierra.

Tabla 3-2. Distribución porcentual de áreas según Fragilidad Ambiental Categorías de uso de la Tierra.

Índice de Fragilidad Ambiental	Porcentaje
Alto (Zona II)	9,6
Moderado (Zona III)	18,1
Bajo (Zona IV)	7,1
Muy Bajo (Zona V)	65,3
Total	100

3.2 Potencial agrícola por fertilidad del suelo

Para potencial de uso agrícola por fertilidad, en la nueva metodología de Capacidad de uso de Tierras Agroecológicas (2019), la subclase fertilidad consta de 4 parámetros de fertilidad del suelo para su clasificación desde Muy baja hasta Alta quedando resumido en el siguiente Tabla 3-3 las condiciones para clasificación. Es importante aclarar que, si las condiciones de parámetro para una categoría no se cumplen del todo, la más limitante movería la categoría a la inferior que si la contenga, lo cual concuerda con la mecánica de la metodología de capacidad de uso de tierras agroecológicas para determinar la clase principal.

Tabla 3-3. Categorías y parámetros de fertilidad requeridos de acuerdo con la metodología "Determinación de la capacidad de uso de las tierras Agroecológicas de Costa Rica" (Decreto Ejecutivo N° 41960-MAG-MINAE del 18 de julio de 2019, publicado en La Gaceta N° 251

Parámetro de fertilidad	Categoría			
	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Bases (cmol(+))/L	>15	>5	<5	<5
Acidez	<0,3	<0,5	0,5-1	>1
pH	6,5-7,0	5,5-6,5	4,5-5,5	<4,5
% SA	< 10	<30	<50	>50

Nota: en la categoría para Bases, Baja y Muy Baja ambas se determinan a < 5 cmol(+)/L limitando la categoría general la presencia de mayor acidez, menor pH y/o %SA >50.

En la metodología para edafaptitud se recomienda medir la fertilidad de un suelo lo más cercano a condiciones naturales, es decir sin intervención antrópica (por el ser humano). Todos los puntos de muestreo fueron seleccionados donde la influencia por prácticas agrícolas o contaminación fuese mínima o nula. En algunas ocasiones el muestreo de lotes sin nivelación o tacotales fueron la mejor opción. Los puntos de muestreo fueron realizados con la toma de muestra compuesta de suelo producto de 3 a 5 barrenadas en un área de 4 a 9 m² y de 0 a 30 cm de profundidad.

El muestreo se realizó en un día completo de recorrido de campo (febrero 2023). En vista de que el tipo de suelo en todo el cantón es muy homogéneo, Andisoles, Ultisoles/Inceptisoles, se seleccionaron puntos equidistantes en la medida de lo posible para cubrir el área y de esta forma fuese representativo para la zona. La zona urbana más central no se consideró debido a lo difícil de que hubiese remanente de suelo no disturbado, y de haberlos, serían puntos muy pequeños como para considerarlos en una planificación agrícola del cantón. Al ser el área efectiva del cantón (sin áreas protegidas) alrededor de 24,8 km², con 9 puntos (7 muestreados para este estudio y dos complementarios de estudios previos realizados en la zona) ofrecía una densidad de 0,36 observaciones por cada km² lo cual ofrece un levantamiento cercano al 4to orden, es decir correspondiente a una escala entre 1:50 000 y 1:100 000 (Cortés y Malagón, 1984). Los paisajes de cada uno de los 7 puntos de suelo muestreados se muestran desde las figuras 4 hasta la 7, y las coordenadas geográficas se disponen en el Cuadro 4 de resultados de análisis de laboratorio. Los análisis fueron realizados en los laboratorios de: Suelos y Foliare, y el de Recursos Naturales del Centro en Investigaciones Agronómicas (CIA-UCR). La metodología de IFAS requiere fertilidad básica, lo que se puede interpretar como suma de bases solamente, sin embargo, la metodología para capacidad de uso de Tierras Agroecológicas requiere además de bases, pH, acidez, % de saturación de acidez (SA), por lo que es esta la que se aplica dado que es más rigurosa. Los análisis de suelo cubren otros elementos (P, Zn, Cu, Fe y Mn) utilizando solución extractora de Olsen modificado (KCl), además carbono y nitrógeno total (por medio autoanalizador de C/N por combustión seca), conductividad eléctrica y textura (distribución de partículas con base a arenas, arcillas y limos mediante método de Bouyucos).

La categoría de fertilidad predominante fue Media (8 de 9 lo que limita a Clase de Capacidad de Uso Potencial de Tierras Agroecológicas de II. Sin embargo, la fertilidad es una condición

que en la mayoría de las ocasiones es fácil de mejorar mediante el uso de fertilizantes sintéticos, enmiendas e incorporación de materia orgánica.

En el Cuadro 4 se aprecia como el pH osciló entre 5,5 y 6,7, valores que no son de alerta para fines agrícolas (Bertsch 1995). La acidez no presentó valores altos, ni críticos. En cuanto a la suma de bases fue siempre mayor a 5 cmol(+)/L y el %SA simple por debajo de 5. En cuanto a materia orgánica (MO) se estimó a partir de carbono total, esta presentó valores con tendencia alta a partir de 4,6% hasta 11,1%.

El P (fósforo) a pesar de ser un elemento típico de deficiencia en muchos suelos (Bertsch 1995) los valores bajos (<10) fueron pocos, sin embargo, para fines agrícolas es uno de los que siempre se debe considerar para suministrar al suelo en caso de producción comercial.

El Fe está en niveles altos y el Mn tienden a estar por encima de lo recomendado de 5 ppm, sin embargo, los resultados de Fe y Mn en laboratorio no se recomiendan para hacer diagnósticos (Bertsch 1995).



Figura 3-2. Paisajes de los suelos muestreados en los puntos 1 y 2, Santo Domingo de Heredia.



Figura 3-3. Paisajes de los suelos muestreados en los puntos 3 y 4, Santo Domingo de Heredia.

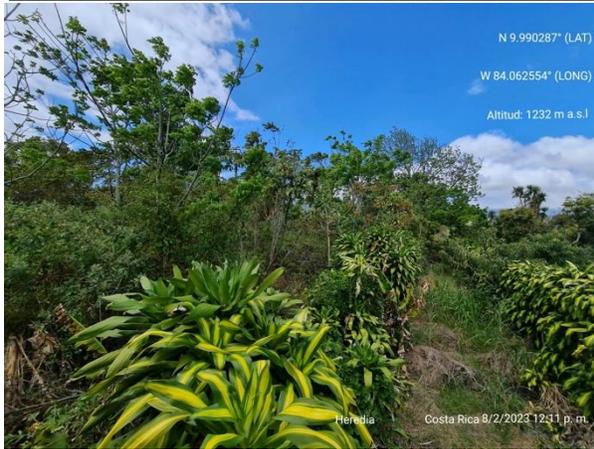


Figura 3-4. Paisajes de los suelos muestreados en los puntos 5 y 6, Santo Domingo de Heredia.



Figura 3-5. Paisajes de los suelos muestreados en el punto 7, Santo Domingo de Heredia.

Tabla 3-4. Resultados químicos y físicos (textura) de muestras de suelo provenientes del cantón de Santo Domingo, Costa Rica. KCl-Olsen modificado como solución extractora. Metodología Bouyucos para textura. Muestreo: febrero 2023.

Pt	Coord. Geográficas		pH	cmol(+)/L					%		mg/L					%		Tex.	Fert.
	N	E	H ₂ O	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	MO	N			
			5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5					
1	9,9660	-84,1091	6,0	0,13	9,62	2,02	1,54	13,3	1	33	8,9	15	156	8	6,6	0,3	F	M	
2	9,9698	-84,0939	6,7	0,09	13,2	2,86	1,44	17,6	0,5	66	10,4	10	64	5	8,5	0,5	F	A	
3	9,9812	-84,0817	6,3	0,13	8,59	1,79	0,57	11,1	1	6	3,9	5	68	2	11,1	0,6	F	M	
4	9,9810	-84,0637	5,6	0,36	6,87	1,38	0,71	9,3	4	47	71,9	16	222	10	5,3	0,3	F	M	
5	9,9903	-84,0626	6,1	0,09	10,2	2,40	0,74	13,5	0,7	14	15,6	14	149	20	5,9	0,4	F	M	
6	9,9966	-84,0479	5,5	0,58	5,42	0,99	0,20	7,2	8	17	5,9	9	163	5	8,6	0,5	F	M	
7	9,9983	-84,0312	6,4	0,10	10,4	2,54	1,43	14,5	0,7	13	8,3	19	122	29	4,6	0,3	FA	M	
C1	9,9944	-84,0822	5,9	0,4	5,8	1,4	0,97	8,6	4,7	61	21,2	163	5,9	16	13,1		F	M	
C2	9,9969	-84,0708	6,4	0,2	14,5	3,1	0,85	18,6	1,1	0	0	0,31	25	0	0	-	-	M	

Se midió conductividad eléctrica y resultó entre 0.1 y 0.3 mS/cm (>1.5 mS/cm se considera como alta presencia de sales). mS: milisiemens

C# representa las calicatas como información complementaria.

MO: Estimado mediante %C x 1.43 (R² de 0,95). Nombres texturales: FA es Franco arcilloso y F es franco.

Tex. Es textura y Fert. es fertilidad determinada de acuerdo la metodología CUTA oficial, y las categorías con A y M para Alta y Media respectivamente.

3.3 IFA Integrado Edafoaptitud

En el mapa 3.2 y 3.3 se aprecia la distribución espacial de los polígonos de Capacidad de Uso potencial para Tierras Agroecológicas (revisado por pendientes, zona de vida y periodo seco) y el otro para edafoaptitud en donde los índices predominantes fueron 5 y 3 (CUTA: II y IV) que corresponde a fragilidad ambiental muy baja y moderada respectivamente, cuyos porcentajes de área fueron 65,3% y 18,1%, es decir cerca de un 83,4% de la zona de estudio (mapa 3.2). Luego en un tercer lugar (9,6) por extensión de área resultó el índice de edafoaptitud de 3 (CUTA: III) por tanto fragilidad alta (mapa 3.3). Estas Tierras clase VI son restrictivas para fines agrícolas con uso de cultivos perennes sumado a prácticas y estructuras de conservación de suelos.

En la parte Oeste el índice edafoaptitud clasificó como 5 en algunos sectores correspondiendo a potencial de uso de Tierras clase II (mapa 3.3), cuya limitante principal fue la pendiente del terreno. La pendiente puede ser modificada mediante construcción de terrazas (a un alto costo monetario) pero, aunque se logre bajar para pasar incluso como clase I o II, la zona de vida sigue limitando a clase II.

A pesar de que la fertilidad media puede limitar hasta clase II de capacidad de uso de Tierras agroecológicas, este puede ser manejada y lograr una mejora en condición en poco tiempo (< 1 año o incluso menos).

El IFA de Edafoaptitud (mapa 3.3) concuerda con los resultados del factor de Categorías de uso de la tierra, donde las fragilidades ambientales van desde altas a muy bajas.

En el Cuadro 5 se presentan las potencialidades y limitantes técnicas de la zona de estudio con respecto al resultado del IFA de Edafoaptitud. Y en el Cuadro 6 se presentan los usos recomendados y no recomendados de acuerdo al potencial agrícola.

Tabla 3-5. Índices IFA Edafaptitud para el cantón de Santo Domingo, limitantes y potencialidades técnicas vinculadas.

Índice	Limitantes técnicas	Potencialidades técnicas
2	<p>Relieve ondulado con pendientes de 30 a 55% a lo largo del cantón especialmente a los márgenes del río Tibás. La erosión hídrica y los deslizamientos pueden suceder en especial bajo Bosque muy húmedo al Este. Hay suelos de textura media y fina, que sin cobertura tiene índices de erodabilidad altos (fácilmente disturbados y lavados). Las altas pendientes limitan fuertemente su potencial agrícola para cultivos anuales e incluso perennes.</p>	<p>Posibilidades de cultivos perennes con sistema de drenaje por canales, uso de cobertura permanente y prácticas de conservación intensivas en las zonas. Las acequias de ladera son una buena opción (pendientes < 40%) pero mejor aún terrazas de banco con protección de taludes (2:1) Puede haber potencial para producción de cultivos en invernadero con un manejo adecuado de aguas residuales que no causen escorrentía erosiva pendiente abajo sino encausadas a flujos naturales, como riachuelos, quebradas o ríos.</p> <p>Ganado confinado estabulado (especialmente doble propósito) de tal forma que no se le permita transitar por las áreas potenciales de erosión y compactación. Además, hacer uso de pasto de corta evitando menor tránsito del ganado.</p>
3	<p>Zona de pendientes variadas (15-30%) coincidiendo en su mayoría con zonas aledañas a riberas. La fertilidad es media a baja con una posible caída de bases intercambiables y bajo contenido de fósforo bajo uso agrícola intensivo. Su mayor restricción es pendiente y fertilidad.</p>	<p>Cultivos anuales bajo prácticas y estructuras intensas de conservación de suelos. Preferiblemente cultivos perennes (aguacate (<i>Persea americana</i>), en general anuales de buena cobertura vegetal. Cuando la rentabilidad lo permita, algunas de estas áreas podrían seguir utilizándose en ganadería de doble propósito con baja carga animal (<2 cabezas/ha) o uso pecuario estabulado. En el caso de ganadería es indispensable el manejo de escorrentía localizada en caminos entre apartos. La disponibilidad de agua para riego mejoraría su potencial agrícola durante la época seca (noviembre a mayo).</p>
4	<p>Las pendientes son entre 8-15% en sectores muy localizados y de poca extensión en área. La fertilidad es media. Las condiciones de zona de vida muy húmeda limita un poco al este del cantón.</p>	<p>Gran parte del área es ondulada, por lo tanto son suelos con potencial agrícola bajo prácticas y técnicas de conservación de suelos. Cultivos de raíz superficial como anuales y cultivos permanentes serían ideales. También podrían utilizarse cultivos ornamentales. Producción bovina es viable preferiblemente con manejo de apartos para evitar pisoteo excesivo y deterioro de estructura del suelo.</p> <p>El suministro de agua de riego (por aspersión o goteo preferiblemente)</p>



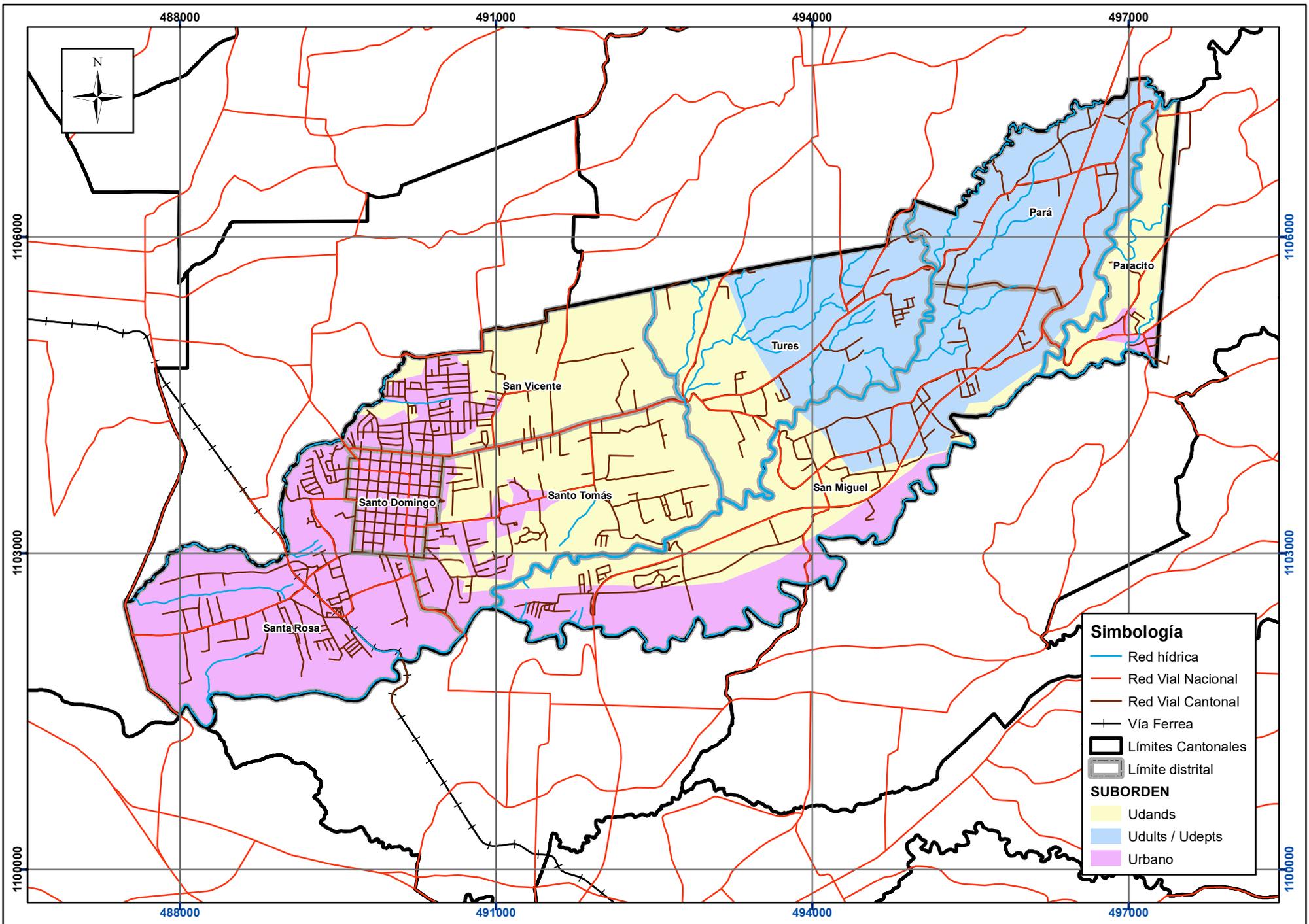
		ayudaría a incrementar el potencial agrícola en época de escasez de agua (noviembre a mayo)
5	<p>Las pendientes oscilan entre 0-8%. La fertilidad es media sobre todo por pocas bases y bajo en fósforo. La zona de vida muy húmedo al este limita un poco por precipitación alta. La baja pendiente no es limitante para su capacidad agrícola, pero el drenaje sin manejo lo puede ser provocando erosión significativa ($>10 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Al oeste del cantón predominan texturas francas (bajas en arcilla), que sin buena cobertura tienen baja erodabilidad, por tanto, fácilmente erosionables por lluvia.</p>	<p>Suelos aptos para fines agrícolas, su potencialidad se debería enfocar más en aprovechar las pocas áreas disponibles (actualmente muy urbanizado y zona industrial al oeste). Cultivos anuales de hortalizas son los recomendados (tales como tomate, chile dulce, papa, zanahoria, remolacha). Además, se pueden considerar cultivos perennes tipo cítricos, aguacate, frutales, entre otros aptos para este clima.</p>

Tabla 3-6. Índices IFA Edafaptitud para el cantón de Santo Domingo, usos no recomendados y usos recomendados.

Índice	Uso recomendado	Uso no recomendado
2	Producción forestal. Habitacional de baja densidad. Cultivos perennes bajo uso intensivo de estructuras de conservación de suelos y cobertura vegetal. Bosques, reservas privadas.	Uso agrícola de cultivos anuales. Actividad de producción animal como avícola, porcina por contaminación de aguas abajo del cantón y de acuíferos para consumo humano. Industrial, Urbano de alta densidad
3	Cultivos anuales y perennes. Habitacional / urbano de baja densidad. Pecuario, pero con estabulación y uso de pastos de corta.	Industrial, Urbano de alta densidad
4	Cultivos anuales y perennes. Habitacional / urbano. Pecuario estabulada con pasto de corta. Industrial.	Urbano debido a desplazar áreas potenciales de producción agrícola que ayudan a la seguridad alimentaria.
5	Producción agrícola de anuales y perennes, no tiene restricciones mayores para actividades agrícolas.	Urbano debido a desplazar áreas potenciales de producción agrícola que ayudan a la seguridad alimentaria.

Referencias

- Bertsch F. 1995. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. 2da. ed. San José, Costa Rica; Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. 82 p.
- Cortés, A. y Malagón, D. 1984. Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Editor Jorge Tadeo Lozano, Universidad de Bogotá. 360 p.
- Holdridge L.R. 1964. Ecología basada en zonas de vida. Ed. Prov., San José, Costa Rica, Centro Científico Tropical. 116 p.
- Instituto Geográfico Nacional. 2013. Base topográfica digital escala 1:25000. Costa Rica
- Mata R., Rosales A., Vasquez, A., Sandoval, D. 2016. Mapa de Subórdenes de Suelos de Costa Rica. 3a Ed. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Esc 1: 200.000. Color
- Ortiz M., E. 2008. Mapa Digital de CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC).
- Ortiz M., E. 2014. Mapa Digital de CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC).
- United States Department of Agronomy (USDA), 2010. Keys to Soil Taxonomy. 11th edition. Natural Resources Conservation Services.

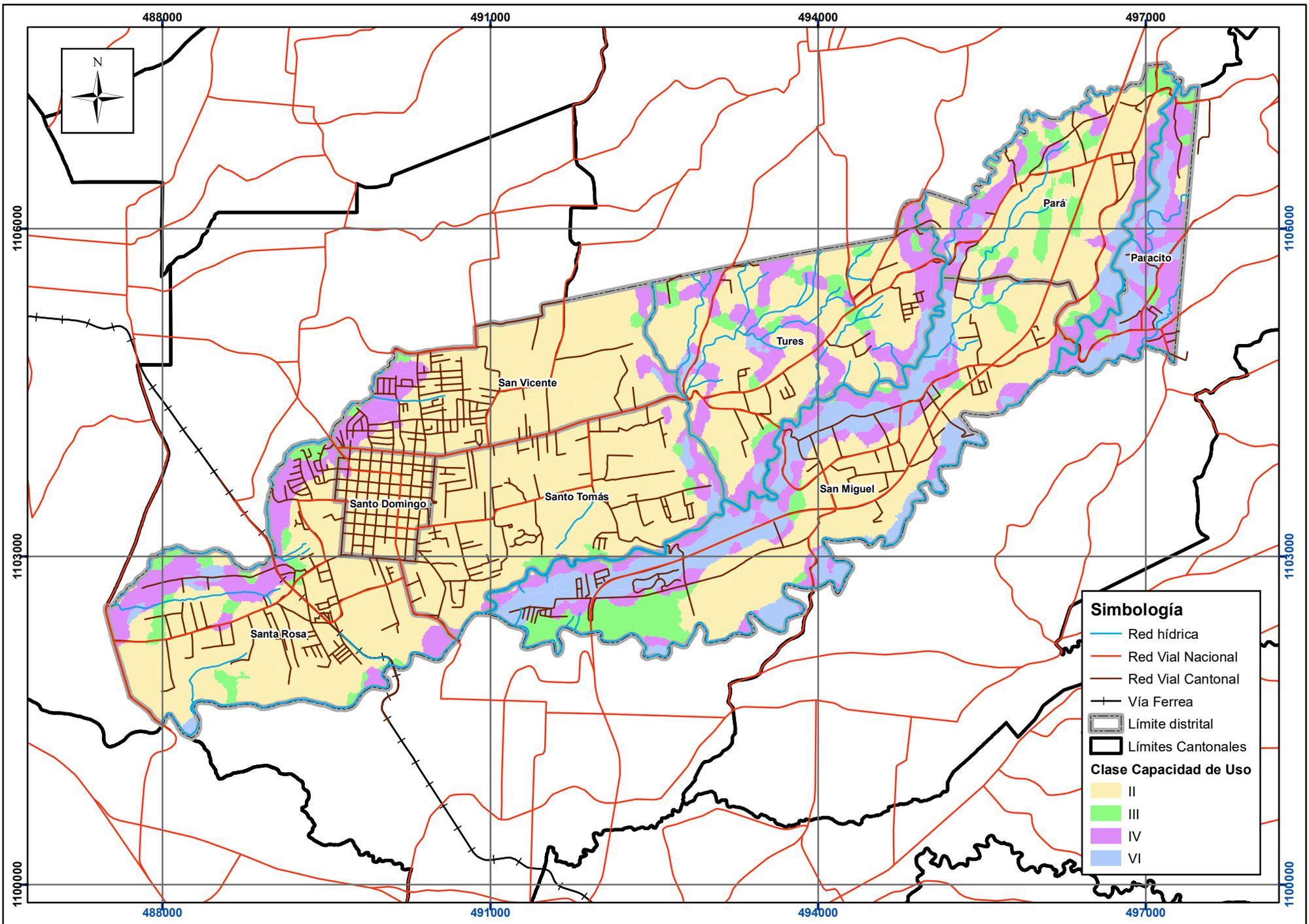


Mapa 3.1. Edafoaptitud. Tipo de suelo. Cantón de Santo Domingo.
 Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT- CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1 000 Metros
 Escala 1:46 637
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)





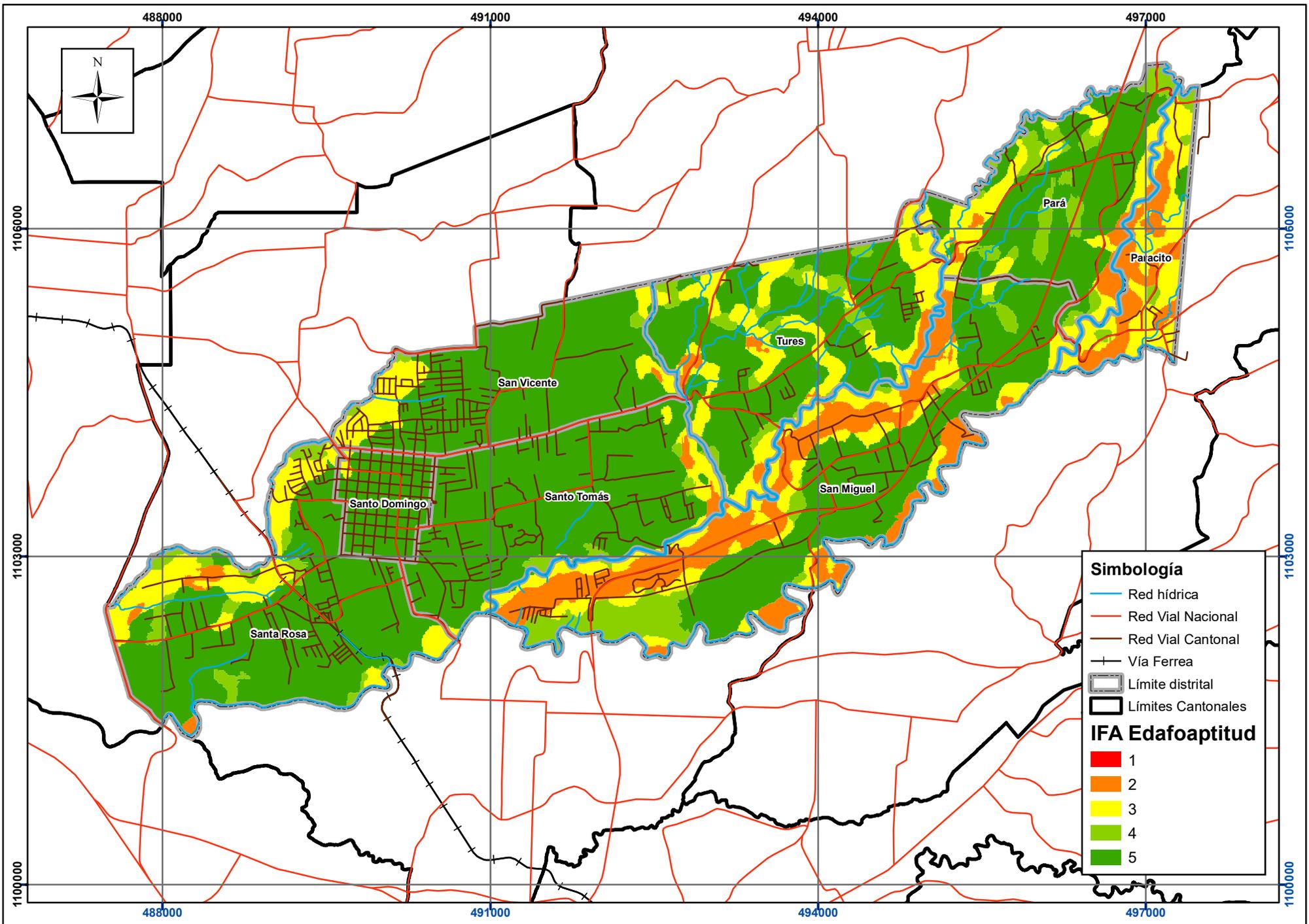
Mapa 3.2. Edafaptitud. Capacidad de uso del suelo. Cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT- CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)





Mapa 3.3. Edafoaptitud. IFA Integrado de Edafoaptitud. Cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT; SNIT 1:25.000, SNIT- CENIGA 2019; ProDUS, 2023.

Escala 1:45 000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)



4. IFA Antropoaptitud

Este IFA resulta de la combinación de dos variables: una evaluación del uso del suelo según ocupación antrópica y una evaluación paisajística. En el Anexo I del Manual, específicamente en el numeral 5.11.1, se definen los componentes que deben ser tomados en cuenta para el análisis de cada variable, mientras que en el Anexo II se expone cómo se crean las categorías para cada caso.

Cabe decir que algunos de los puntos que señala el artículo 5.11.1 no llegan a verse reflejados en la categorización, sin embargo, y de conformidad con el Decreto, en esos casos la información se incluye bajo el esquema de capa contextual.

La estimación de las dos variables se muestra en las siguientes secciones, al igual que los resultados del IFA integrado. A continuación, se muestra el diagrama general de cálculo respectivo.



Figura 4-1. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del IFA antropoaptitud

4.1 IFA uso antrópico

El IFA antropoaptitud de uso de suelo reúne los diversos procesos urbanos que modifican o afectan el territorio en su conjunto. La información que solicita el artículo 5.11.1 con respecto a esta capa es la siguiente:

- Áreas de desarrollo urbano de conformidad con la regulación vigente
- Uso del suelo antrópico
- Infraestructura vial
- Áreas de administración especial
- Sitios de interés cultural, arqueológico, científico e histórico
- Áreas de potencial ocupación a corto (0 a 3 años) y mediano (3-10 años) plazo

La extensión del territorio se evalúa en la variable de acuerdo con lo señalado en el Anexo 2 del decreto, tal y como se muestra a continuación.

Tabla 4-1. Categorización de la variable uso del suelo del IFA antropaptitud

Valor IFA	1 Muy alto	2 Alto	3 Moderado	4 Bajo	5 Muy bajo
Descripción	Sitios arqueológicos o culturales	Ocupación antrópica en áreas ambientalmente frágiles	Áreas de potencial ocupación humana a mediano plazo (3-10 años)	Áreas de potencial ocupación humana a corto plazo (0-3 años)	Áreas de ocupación antrópica actual

Analizar y comprender la interacción entre la población, la economía, las actividades antrópicas y la naturaleza en pro de un desarrollo sostenible, evaluando los impactos positivos y negativos de cada una de las partes del sistema, así como sus interacciones, corresponde con uno de los ejes transversales del diagnóstico realizado para la creación del plan regulador, por lo que la inclusión de un conjunto de variables que estudia la interacción antrópica en el IFA permite que esta herramienta de análisis igualmente sopesa el efecto de las actividades antrópicas actuales.

Aunque el Decreto no especifica cuál es el impacto que busca evaluar esta variable particularmente, es decir, si lo que se busca es determinar el impacto de las actividades humanas sobre el entorno propiamente antrópico (por ejemplo, impactos de las actividades humanas sobre los sitios de interés cultural o arqueológico), el impacto de los sistemas naturales sobre las poblaciones humanas (por ejemplo, consecuencias de desastres naturales), o bien, el impacto de las poblaciones humanas sobre el medio natural (por ejemplo, urbanización de zonas no urbanas), se hace un análisis general a partir de las capas solicitadas para construir un escenario global que refleje los procesos urbanos que se han dado en el territorio del cantón.

4.1.1 Áreas de desarrollo urbano de conformidad con la regulación vigente

De acuerdo con el decreto, estos sectores son las áreas de desarrollo futuro de corto (0 a 3 años) y mediano plazo (3 a 10 años) desde el punto de vista urbano, que estén registradas en algún documento oficial de la municipalidad o de alguna otra autoridad nacional. En este caso, el cantón de Santo Domingo no cuenta con un Plan Regulador. Ahora bien, las áreas de desarrollo futuro provistas en este análisis fueron estimadas a partir de las densidades de población actuales del cantón y las proyecciones de población vigentes del INEC. A partir de la densidad actual de población y las proyecciones de población se determinaron las áreas que se necesitan urbanizar para poder incluir dicho incremento poblacional. Ahora bien, una vez que se tiene claro la cantidad de área que se va a urbanizar a corto y mediano plazo debe determinarse donde se realizará dicha urbanización. Dada la falta de regulación urbana, dicho crecimiento debe darse de manera orgánica, siguiendo las fuerzas del mercado y las restricciones actuales al desarrollo. En el caso de Santo Domingo, el desarrollo reciente se viene dando en la zona oeste del cantón. Además, se cuenta con una lista de proyectos inmobiliarios que han sido recientemente presentados a la municipalidad para su desarrollo en el futuro cercano, lo cual se consideró como la base para determinar el desarrollo a corto plazo. Finalmente, el resto de las áreas necesarias para dotar al crecimiento poblacional esperado de viviendas en el cantón se determinaron dando prioridad a las zonas “vacías” dentro de los desarrollos urbanos existentes. El Mapa 4.1 muestra las áreas de desarrollo futuro.

4.1.2 Infraestructura vial

A continuación, se presenta un análisis de la vialidad del cantón de Santo Domingo.

Red vial

La configuración de las vías de un cantón es un factor preponderante en su desarrollo, esta determina la calidad del sistema de transportes en la región, sistema que interactúa de forma directa y bilateral con el uso del suelo. De lo anterior se tiene que mejoras en la infraestructura vial del cantón propician incrementos en la actividad comercial y reducen los costos productivos y de logística de actividades industriales y agropecuarias entre otras.

El contar con un adecuado nivel de redundancia permite que los ciudadanos disfruten una mejor calidad de vida, ya que fomenta el desarrollo de sistemas de producción más rentables y permite contar con múltiples alternativas a los diferentes actores del sistema, los cuales presentan diferentes necesidades y recursos disponibles. La redundancia además favorece la existencia de rutas alternas ante eventos excepcionales que requieran el cierre de rutas, reduciendo el impacto de estos sucesos en el tiempo de viaje de los usuarios, el consumo energético del sistema de transportes y la calidad del medio ambiente.

El cantón de Santo Domingo tiene un sistema vial cuya columna vertebral está conformada por las carreteras nacionales. De ellas, la más importante es la Ruta 5 que conecta a Santo Domingo con Tibás y San José al sur y San Pablo y Heredia al norte. Esta ruta pasa por el centro de la ciudad de Santo Domingo y está altamente congestionada. Otra ruta nacional de gran importancia para Santo Domingo es la Ruta 32. Esta ruta da gran accesibilidad a los distritos de San Miguel, Pará y Paracito y conecta con el distrito de Tures con la vía nacional 117; también conecta con Santo Tomás por medio de una ruta de travesía. Otras rutas nacionales de importancia en el cantón son la Ruta 3 que va de La Uruca a Heredia, pero pasa por el límite oeste del cantón, la ruta 103 que conecta el centro de Santo Domingo con Santa Rosa y La Valencia (Ruta 3), la Ruta 116 que conecta Santo Domingo con Santo Tomás, Ángeles (Tures) y el cantón de San Isidro, la ruta 117 que conecta Ángeles y San Miguel (sección central de cantón) con el cantón de Moravia, la Ruta 220 que conecta San Miguel con Paracito y la Ruta 504 que conecta Tures con San Luis (Pará). El Mapa 4.2 muestra la Red vial del cantón de Santo Domingo.

4.1.3 Áreas de administración especial

Del decreto se extrae que estas áreas son aquéllas en donde ya existe una decisión especial sobre el uso del suelo, y menciona ejemplos como parques nacionales, reservas biológicas absolutas y similares. Adicionalmente, este concepto necesariamente debe concordarse con la regulación de zonas especiales contenida en el artículo 25 de la Ley de Planificación Urbana, la cual indica lo siguiente haciendo referencia al reglamento de zonificación:

Artículo 25. En dicho reglamento figurarán como zonas especiales, las que soporten alguna reserva en cuanto a su uso y desarrollo, como en el caso de los aeropuertos, los sitios con importancia histórica o los recursos naturales conservables y las áreas demarcadas como inundables, peligrosas o necesarias al propósito de contener el crecimiento urbano.

Ante los conceptos expuestos anteriormente, se concluye que las áreas de administración especiales son todas aquellas extensiones sobre las cuales existe una ordenanza de uso o una restricción taxativa de desarrollo.

Es importante identificar estas zonas para su inclusión en el plan regulador, ya que, de acuerdo con su categoría, así son los objetivos específicos planteados de acuerdo con las regulaciones de cada una de ellas.

4.1.4 Áreas Silvestres Protegidas (ASP)

Las ASP se definen en la legislación nacional vigente como: “Espacio geográfico definido, declarado oficialmente y designado con una categoría de manejo en virtud de su importancia natural, cultural y/o socioeconómica, para cumplir con determinados objetivos de conservación y de gestión”. (DE-34433, Reglamento Ley de Biodiversidad, artículo 3, inciso a). En el cantón de Santo Domingo no existen Áreas Silvestre protegidas.

4.1.5 Uso del suelo antrópico

El Mapa 4.4 presenta el uso del suelo actual para el cantón de Santo Domingo. En el cantón se reconocieron los grupos de usos del suelo que se enlistan seguidamente:

1. Uso Comercial
2. Uso Industrial
3. Urbano (Residencial)
4. Educación y cultura
5. Hortalizas y granos
6. Café
7. Frutal
8. Otros cultivos
9. Pastos
10. Bosque (árboles dispersos)
11. Cuerpos de Agua.

El mapa muestra una concentración de usos industriales en el distrito de Santa Rosa, aunque también hay pequeños grupos de industria en otros distritos. Los usos comerciales se concentran en la parte central del cantón en los distritos de Santo Domingo, Santa Rosa, San Vicente y Santo Tomás, aunque se presentan también alrededor de la ruta 32 y en San Miguel. La zona urbana residencial se concentra en Santo Domingo y sus alrededores, Santo Tomás, Santa Rosa y San Vicente. Además, se concentran alrededor de los centros distritales de San Miguel, Tures (Ángeles), Paracito y Pará (San Luis). Existen además manchas de cultivo de café distribuidas por todo el cantón, pero principalmente hacia el centro, en San Vicente, Tures y Santo Tomás. También existen zonas importantes de pastos en el centro y este del cantón. Finalmente, existen pequeñas manchas de bosque y árboles concentrados en los márgenes de los ríos Virilla, Tibás, Tures y Pará.

4.1.6 Sitios Arqueológicos

Lic. Gustavo Adolfo Gómez Quesada

Presentación

Los bienes que integran el patrimonio arqueológico a menudo entran en conflicto con lo que comúnmente se ha denominado desarrollo económico y social del país (p.ej.: obra pública, infraestructura industrial, crecimiento urbano y cambios en el uso tradicional del suelo). Lo anterior a dado como resultado la destrucción total o parcial del recurso arqueológico y afectando con ello la sostenibilidad de la triada: patrimonio - identidad - conservación. A ésto hay que sumarle el hecho de que la destrucción de los bienes culturales es irreversible, pues no son un recurso de carácter renovable.

Dado que actualmente los movimientos de suelo son la principal causa a través de la cual los proyectos de infraestructura impactan directa e indirectamente la conservación de los bienes culturales. Resulta de suma importancia contar con los instrumentos de gestión apropiados para prevenir y mitigar, la afectación de bienes patrimoniales en un territorio determinado.

En vista de que la planificación y la gestión del territorio deben integrar la variable arqueológica en armonía con el desarrollo económico y social de las actuales poblaciones. Se propone el establecimiento de *Zonas de Fragilidad Arqueológica (ZdFA)*, como una herramienta para la adecuada gestión del recurso cultural. Las *ZdFA* junto a las *Zonas con Alto Potencial Arqueológico (ZcAPA)*, deben ser consideradas al momento de planificar y ejecutar obras de infraestructura, o bien, al momento de desarrollar actividades que conlleven un cambio en el uso tradicional del suelo. El objetivo principal de establecer dichas zonas es procurar reducir los efectos negativos, que las actividades humanas causan al patrimonio cultural de la nación.

Al establecer zonas o territorios arqueológicamente frágiles, se configura un procedimiento o más precisamente un instrumento útil y necesario, para fundamentar con base en datos empíricos la toma de decisiones. Coadyuvando a su vez con la tarea de valorar de manera sistemática y global, los efectos potenciales que un determinado proyecto, obra o actividad tienen sobre el medioambiente y las personas que lo habitan.

Si se logran incorporar las *Zonas de Fragilidad Arqueológica* en la toma de decisiones, se pueden anticipar los futuros impactos culturales de las acciones humanas, sean éstas de carácter negativo, positivos o neutro. Al incorporar la variable arqueológica a la gestión del territorio, se pueden maximizar los beneficios y disminuir los impactos o efectos no deseados, de un determinado proyecto o actividad, y por consiguiente asegurar un desarrollo ambiental y socialmente sustentable para las actuales y futuras generaciones.

Principios Metodológicos

El presente diagnóstico se elabora para el cantón 03° Santo Domingo, provincia 04° Heredia, país Costa Rica. El estudio arroja información relacionada a los 32 monumentos (sitios) arqueológicos registrados en la Base de Datos Orígenes de Sitios Arqueológicos del Museo Nacional de Costa Rica.¹ Así como para 6 inmuebles declarados patrimonio por el Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural del Ministerio de Cultura y Juventud.²

¹ <http://origenes.museocostarica.go.cr/miCuentaDetalle.aspx>

² <https://www.patrimonio.go.cr/>

Para desarrollar la investigación se consultaron entre otras fuentes: informes de campo, informes de evaluación arqueológica y rescate arqueológico, tesis de grado, así como, la Base "Orígenes" de Sitios Arqueológicos que administrada el Departamento de Antropología e Historia del Museo Nacional de Costa Rica, actualizada al mes de febrero del año 2023. Asimismo, se realizaron visitas de campo a los sitios arqueológicos con el objetivo de valorar su estado de conservación actual y registrar las condiciones de uso del suelo en sus alrededores.

Para identificar los bienes inmuebles declarados de interés histórico-arquitectónico, se consultó la base de datos del Centro de Conservación del Patrimonio Cultural de Costa Rica. Igualmente se realizó una visita a cada uno de los inmuebles para levantar un registro fotográfico actualizado. Toda la información fue integrada dentro de un sistema de información geográfica,³ con el fin de generar productos cartográficos que contribuyan a la gestión del recurso arqueológico y patrimonial del cantón de Santo Domingo de Heredia.

Como ya se mencionó, la información procedente de fuentes secundarias (p.ej.: informes, fichas de registro, etc.), fue complementada con un estudio de campo que metodológicamente corresponde a una prospección de superficie de tipo dirigida. La prospección tuvo como punto de partida las coordenadas asignadas por la Base Orígenes al punto central de cada sitio arqueológico.

Una vez ubicado en el campo el cruce de coordenadas, se procedió a realizar recorridos en las inmediaciones, procurando identificar material arqueológico en aquellos espacios donde la superficie del suelo era visible (p.ej.: cafetales, hortalizas, jardines, cortes de camino, etc.). Además, cuando fue posible se consultó a los vecinos o trabajadores en torno a la presencia o ausencia de restos arqueológicos en los alrededores. Cuando se logró identificar evidencia arqueológica en superficie, se procedió a registrar su ubicación geográfica mediante un dispositivo GPS Garmin MAP 60Cx.

Durante el proceso de revisión documental y posterior prospección de campo se rectificaron las coordenadas de referencia asignadas por la Base Orígenes, a la mayor parte de sitios arqueológicos del cantón herediano. Asimismo, se establecieron zonas denominadas "Localidades Arqueológicas", las cuales corresponden a espacios donde a escasa distancia se registra más de un sitio arqueológico. La información geoespacial actualizada se refirió al Departamento de Antropología e Historia del MNCR, a fin de actualizar y estandarizar la ubicación de los sitios arqueológicos dentro de la Base Orígenes.

La información recopilada durante la inspección ocular de los 32 monumentos arqueológicos, junto a la revisión exhaustiva de fuentes secundarias, permitió delimitar un polígono para la mayoría de los sitios registrados en Santo Domingo. Dicho polígono para efectos del presente estudio es denominado como: *Zona de Fragilidad Arqueológica (ZFA)* y, corresponde al área o espacio geográfico donde la probabilidad de registrar evidencia arqueológica es bastante alta.

Paralelamente, utilizando información disponible en SNIT y SIRI⁴ se establecieron lotes o parcelas catastrales que por sus características pueden potencialmente contener recursos de valor arqueológico aún no registrados. El criterio para establecer dichas áreas se basa en las siguientes variables:

³ QGIS Development Team, <YEAR>. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>.

⁴ <https://siri.rnp.go.cr/SIRI/index.jsp> <https://www.snitcr.go.cr/>

- 1) cercanía a un sitio arqueológico previamente registrado (coordenadas asignadas).
- 2) uso actual del suelo (p.ej.: no urbanizado o urbanizado en baja densidad).
- 3) antecedentes arqueológicos para la zona (p.ej.: estudios previos, hipótesis de trabajo).
- 4) información de campo (p.ej.: prospección, entrevistas a informantes locales)

Toda la información geoespacial se procesó mediante un sistema de información geográfica (en nuestro caso se utilizó el software QGIS versión 3.28.0-Firenze). Ello permitió generar mapas con la ubicación actualizada de los monumentos arqueológicos, sus áreas de influencia directa e indirecta, así como los terrenos que por sus características físicas cuentan con potencial para conservar bienes de valor arqueológico no identificados hasta el momento, es decir, las *zonas de fragilidad arqueológica*.

Inventario de Sitios Arqueológicos

Los lineamientos metodológicos utilizados para dar forma a este apartado, toman como referencia los trabajos de Gianotti, Dabazies y Casheda (2007) y Herrera (2019). El punto de partida para inventariar, catalogar y describir los 32 monumentos arqueológicos localizados en el cantón Santo Domingo, fue la consulta realizada a la Base "Orígenes" de Sitios Arqueológicos, administrada por el Departamento de Antropología e Historia del Museo Nacional de Costa Rica, actualizada al mes de febrero del año 2023.⁵

Cada sitio arqueológico registrado en la Base de Datos Orígenes, cuenta con una ficha descriptiva estándar. No obstante, la información existente para cada sitio no siempre alcanza el mismo nivel de detalle, esta desactualizada, o bien, presenta errores en cuanto a la ubicación geoespacial de los yacimientos. Parte del trabajo fue precisamente actualizar y corregir la información geoespacial relativa a varios sitios registrados en Santo Domingo.

Un aspecto importante del estudio fue la consulta de informes de campo elaborados por los investigadores que originalmente registraron o intervinieron los sitios arqueológicos. Sin embargo, se debe señalar que buena parte de los sitios registrados cuentan únicamente con la información contenida en la ficha de registro estandarizada. La cual puede consultarse en la Base Orígenes de Sitios Arqueológicos del Departamento de Antropología e Historia del MNCR, y de la cual se adjunta una copia como anexo al presente trabajo. El diagnóstico aquí presentado, amplía y actualiza las variables descriptivas para cada sitio arqueológico, en lo que respecta a:

- *uso actual del suelo para el punto central asignado a cada sitio arqueológico.*
- *uso actual del suelo en la zona de influencia directa e indirecta del sitio arqueológico.*
- *estado actual de conservación del depósito arqueológico registrado.*

⁵ Los principales criterios arqueológicos establecidos por la Base "Orígenes" para registrar formalmente evidencia arqueológica (sitios) son: Clase: función dada al sitio, por ejemplo, habitacional, funerario, extracción de recursos, sitios con arte rupestre (petroglifos), taller o cueva (sin función específica). Temporalidad: describe el Período cultural o rango de tiempo adscrito. Tipo: combina función y temporalidad. Depósitos arqueológicos: superficiales, estratificados, ambos. Accesibilidad: se define a partir de niveles, a saber: fácil, moderado o difícil (en función a la distancia con caminos públicos, en propiedad privada o pública. Ubicación: coordenadas geográficas y proyección Crtm05. Área estimada: espacio a través del cual se registra dispersión de evidencia. Estado de Conservación: a partir de criterios como: arado, construcciones, huaquedo (saqueo), no alterado. Trabajo ejecutado: excavación sistemática, prospección, recolección de superficie. Material recuperado: cerámica, lítica, hueso, concha, otro. Levantamiento cartográfico: sí/no. Toda ésta información se consigna en una ficha estándar de sitio.

Además de la sistematización y actualización de la información geoespacial, se procedió a realizar un levantamiento fotográfico del paisaje circundante a cada sitio arqueológico, sí como de su zona de influencia más directa.

Localización y Delimitación de sitios Arqueológicos

La Base "Orígenes" de Sitios Arqueológicos administrada por el Depto. de Antropología e Historia del Museo Nacional de Costa Rica, registra para febrero del año 2023; un total de 32 sitios arqueológicos dentro de los límites territoriales del cantón Santo Domingo de Heredia.

Como parte del estudio se visitaron los 32 sitios registrados en Santo Domingo. Los sitios fueron reubicados siguiendo las coordenadas Proyección CrtmCR 05, indicadas en la ficha estándar de cada sitio (Fuente: Base Orígenes). Durante el trabajo de campo se establecieron zonas de fragilidad arqueológica asociadas a la mayoría de los sitios registrados en el cantón.

Tabla 4-2. Inventario: sitios arqueológicos registrados en Santo Domingo, Heredia.

Sitio	Clave	*Longitud	*Latitud	Distrito	Tipo Proyecto
San Luis	H-42 SL	496667	1106864	Pará	Inspección
Lino	H-120 Ln	496767	1106863	Pará	Inspección
Santa Elena	H-43 SE	496266	1105864	Pará	Excavación Aislada
Yurusti-2	H-168 Yu-2	496234	1105617	Pará	Subregional
Anselmo	H-129 An	493775	1103767	San Miguel	Inspección/Evaluación
La Isla	H-169 LI	493707	1103279	San Miguel	Subregional
El Socorro	H-97 ES	492736	1102521	San Miguel	Inspección/Evaluación
La Cancha	H-31 LC	495965	1104664	San Miguel	Inspección
Los Angeles	H-52 LA	491414	1102619	San Miguel	Excavación Aislada
Torre 12	H-112 T12	496148	1105243	San Miguel	Inspección
Turú	H-113 Tr	495765	1105114	San Miguel	Inspección
Quintana	H-27 Qt	491516	1105119	San Vicente	Regional
Vigui	H-86 Vg	490665	1104370	San Vicente	Evaluación/Rescate
La Cornelia	H-171 LC	492374	1104570	San Vicente	Inspección/Evaluación
1 de Mayo	H-158 1M	489514	1102722	Santa Rosa	Subregional
Beneficio Tournón	H-88 BT	489443	1103649	Santa Rosa	Excavación Aislada
El Montano	H-161 EM	489919	1101971	Santa Rosa	Subregional
Inbio	H-44 INBIO	489810	1102752	Santa Rosa	Regional/Evaluación
León XIII	H-156 LXIII	489104	1101786	Santa Rosa	Subregional
Parque Industrial	H-155 PI	488006	1102330	Santa Rosa	Subregional
Sasa	H-160 Sa	489588	1103229	Santa Rosa	Subregional
Tabaco	H-154 Tb	487911	1102198	Santa Rosa	Subregional
Zúñiga	H-162 Zñ	489524	1102950	Santa Rosa	Subregional
Tururúm	H-157 Tu	488817	1102523	Santa Rosa	Subregional/Evaluación
La Veranera	H-159 LV	489279	1103415	Santa Rosa	Subregional
Barquero	H-164 Br	491445	1103337	Santo Tomás	Subregional/Evaluación
Manzana de Agua	H-201 MA	491497	1103258	Santo Tomás	Evaluación/Rescate
Montealegre	H-163 Me	491488	1104056	Santo Tomás	Subregional
Zamora	H-165 Za	491264	1103459	Santo Tomás	Subregional
Quebradas	H-166 Qs	493146	1105583	Tures	Subregional
Tures	H-167 Tu	492990	1104505	Tures	Subregional
Carrillo	H-170 Cr	497379	1107175	Paracito	Subregional

Fuente: Base Orígenes Sitios Arqueológicos, DAH-MNCR, 2023. * Coordenadas al punto central del sitio, corregidas y actualizadas, por el autor.

Tabla 4-3. Temporalidad y funcionalidad: sitios arqueológicos registrados en Santo Domingo, Heredia.

Sitio	Clave	Funcionalidad	Fase Cultural	Registro
San Luis	H-42 SL	Funerario	Pa./Cu./Car.	1979
Lino	H-120 Ln	Habitación	s.d.	s.d.
Santa Elena	H-43 SE	Funerario	Bv./Pa.	1979
Yurusti-2	H-168 Yu-2	Funerario/Habitación	Bv./Pa./Cu./Car./Col.	1981
Anselmo	H-129 An	Habitación/Funerario	Pa./Cu./Car./Col.	2009
La Isla	H-169 LI	Funerario	Pa./Cu./Car.	1981
El Socorro	H-97 ES	sin dato	Pa.	2003
La Cancha	H-31 LC	Habitación	Cu./Car.	1992
Los Angeles	H-52 LA	Funerario/Habitación	Bv./Pa.	1996
Torre 12	H-112 T12	sin dato	Pa./Cu./Car.	2002
Turú	H-113 Tr	Habitación	Pa./Cu./Car.	2002
Quintana	H-27 Qt	Funerario/Habitación	Pa./Cu./Car.	1973
Vigui	H-86 Vg	Funerario/Habitación/Taller	Bv./Pa./Cu./Car./Col./Rep.	1981
La Cornelia	H-171 LC	Habitación	Pa.	2011
1 de Mayo	H-158 1M	sin dato	Pa./Cu./Car./Col./Rep.	1979
Beneficio Tournón	H-88 BT	sin dato	Pa.	s.d.
El Montano	H-161 EM	sin dato	Bv./Pa./Cu./Car./Col.	1981
Inbio	H-44 INBIO	Funerario/Habitación	Pa.	1989
León XIII	H-156 LXIII	sin dato	Bv./Pa./Cu.	1981
Parque Industrial	H-155 PI	Habitación/Funerario (?)	Pa.	1981
Sasa	H-160 Sa	sin dato	Pa./Cu./Col.	1981
Tabaco	H-154 Tb	Habitación	Col.	1981
Zúñiga	H-162 Zñ	Habitación	Col./Rep.	1981
Tururúm	H-157 Tu	Habitación	Bv./Pa./Cu./Col.	1981
La Veranera	H-159 LV	Habitación	Rep.	1981
Barquero	H-164 Br	Habitación	Bv./Pa./Cu./Col./Rep.	1981
Manzana de Agua	H-201 MA	Habitación	Pa./Rep.	2017
Montealegre	H-163 Me	sin dato	Pa./Col./Rep.	1981
Zamora	H-165 Za	Habitación	Rep.	1981
Quebradas	H-166 Qs	Habitación	Pa.	1981
Tures	H-167 Tu	Habitación	Col./Rep.	1981
Carrillo	H-170 Cr	Habitación	Rep	1981

Fase: 1500-500 a.C.: Barva _ 500 a.C.-300 d.C.: Pavas_300-800 d.C.: Curridabat_800-1550 d.C.: Cartago_1550-1821 d.C.: Colonia_1821-1950 d.C.: República.
Fuente: Base Orígenes, DAH-MNCR, 2023.

Metodológicamente para ubicar los sitios a nivel de campo se utilizó georreferenciación y navegación mediante GPS, siguiendo las coordenadas anotadas en la ficha de registro de la Base de Datos Orígenes DAH-MNCR. Una vez ubicada el área donde las coordenadas de referenciase X/Y se cruzan, se llevó a cabo un recorrido asistemático por los alrededores.

Durante tales recorridos se procuró ubicar cualquier tipo de evidencia arqueológica a nivel de superficie, por ejemplo: material cerámico expuesto en cortes de calle, en zonas aradas libres de vegetación, cafetales, terrenos cultivados, etc..⁶ Paralelamente se levantó un registro fotográfico del área circundante a cada sitio arqueológico. Cuando las condiciones de uso del suelo lo permitieron, se estimó un polígono para el sitio arqueológico visitado.

Mediante la consulta al SNIT y SIRI se lograron establecer las condiciones relativas al régimen de propiedad de los sitios. Los cuales se clasificaron según se ubicasen en espacios privados, público-institucional, o en una combinación de regímenes. Además, se determinó si el área asignada al punto central del sitio, estaba o no afectada por algún tipo de protección legal, si el área contaba con declaratoria patrimonial, o bien, si el yacimiento se emplazaba dentro de un área silvestre protegida, o dentro del área de protección de algún río, quebrada o arroyo (Art. 13, Ley Forestal Nº 7575). Para lo anterior se realizó una consulta formal a la Jefatura del Departamento de Antropología e Historia del Museo Nacional de Costa Rica - DAH_MNCR (se adjunta la nota de respuesta firmada por la Sr. Myrna Rojas Garro, Jefa del DAH-MNCR).

Finalmente, el estudio permitió actualizar el estado de conservación de los 32 sitios arqueológicos reportados en el cantón de Santo Domingo de Heredia. Este es un aspecto de suma importancia para la gestión del recurso de arqueológico, pues la mayoría de los sitios fueron registrados en la década de los 80's, cuando las condiciones de uso del suelo eran muy distintas a las observadas en la actualidad. Para determinar el grado de alteración del recurso arqueológico se utilizaron 2 categorías básicas de afectación:

1. *Afectación por factores biofísicos: erosión (fluvial) y bioturbación (hormigueros, madrigueras).*
2. *Afectación por factores antrópicos: urbanismo, ganadería, agricultura, huaquerismo, etc.*

⁶ El presente diagnóstico no contempló realizar ningún tipo de excavación arqueológica. En ocasiones el cruce de coordenadas ubicaban el punto central asignado al sitio en un espacio de difícil ingreso, propiedad privada o de acceso restringido, por lo que no fue posible su visita. No obstante, se procuró realizar los recorridos a la menor distancia posible del punto central de sitio.

Tabla 4-4. Contexto ambiental, área estimada, método de datación, estado de conservación y material excavado para los sitios arqueológicos registrados en Santo Domingo, Heredia.

Sitio	Elevación m.s.n.m.	Área m ²	Zona Vida	Método Datación	Uso Actual del Suelo	Trabajo de Campo	Material Excavado
San Luis	1300	s.d.	bmh-P	Cerámica	Cultivos/Arado	EX/RS/LR	C_L
Lino	1200	10000	bmh-P	s.d.	Cultivos/Arado	RS	C_L
Santa Elena	1300	s.d.	bmh-P	Cerámica	Cultivos/Arado	EX/LR	C_L_Ca_Fl_RC
Yurusti-2	1300	20000	bmh-P	Cerámica	PM	RS/LC/Bo	C_L_Lz
Anselmo	1220	30400	bh-P	Cerámica	Urbanizado	EX/RS/LC/Sond	C_L_Lz_Tj_Vd
La Isla	1180	25000	bh-P	Cerámica	PM	LC/RS/Bo	C_L_Lz
El Socorro	1200	22000	bh-P	Cerámica	Urbanizado	LC/EX/Sond/Bo	C_L
La Cancha	1260	12000	bmh-P	Cerámica	Arado	LC/RS	C_L
Los Angeles	1160	250000	bh-P	Cerámica	PM	EX/LC/Bo/CE/Sond	C_L_Fl_Tj
Torre 12	1300	25000	bmh-P	s.d.	Urbanizado	Fotografía	---
Turú	1300	s.d.	bmh-P	Cerámica	Urbanizado	s.d.	C
Quintana	1210	100000	bmh-P	Cerámica	Arado	EX/LC/RS/Bo/CE	C_L_Ac_Hi_Pc
Vigui	1186	22000	bh-P	Cerámica - C ¹⁴	Arado/Urbanizado	EX/LC/Bo/CE/Sond	C_L_Tj_Lz_Fa_Pc_Vd_RC_Ca
La Cornelia	1205	20000	bh-P	Cerámica	Mecanizado	EX/LC/Bo/CE	C_L
1° de Mayo	1.100	20.000	bh-P	Cerámica	Urbanizado	RS/LC/Bo	C_L_Lz_tj
Beneficio Tournón	1200	130000	bh-P	Cerámica	Urbanizado	EX/Sond	C_L
El Montano	1000	10000	bh-P	Cerámica	PM	RS/LC/Bo	C_L_Fa
INBIO	1120	450000	bh-P	Cerámica	PM/Cultivo	EX/RS/LC/CE/LR	C_L_Fl_Ac_Ca
León XIII	1000	s.d.	bh-P	Cerámica	PM	LC/RS/Bo	C_L
Parque Industrial	1100	s.d.	bh-P	Cerámica	PM/Arado	RS/LC/Bo	C_L
Sasa	1140	15000	bh-P	Cerámica	Arado/Urbanizado	RS/LC/Bo	C_L_Lz
Tabaco	1100	3750	bh-P	Cerámica	Arado/Urbanizado	RS/LC/Bo	C_L_Pc
Zúñiga	1100	72	bh-P	Rasgos	Cultivo	LC/Bo	Lz_Ad
Tururúm	1100	10000	bh-P	Cerámica	Urbanizado	RS/LC/Bo	C_L_Lz_Pc_Tj
La Veranera	1100	3750	bh-P	Teja/Loza	Urbanizado	RS/Bo	Lz_Pc_Tj_C
Barquero	1170	20000	bh-P	Cerámica	Urbanizado	RS/LC/Bo	C_L_Lz
Manzana de Agua	1200	31862	bh-P	Cerámica	PM	EX/Sond/LR	C_L_Ca
Montealegre	1170	s.d.	bh-P	Cerámica	PM	LC/RS/Bo	C_L_Lz
Zamora	1180	5000	bh-P	Rasgos	Arado	LC/Bo/Etnografía	RC
Quebradas	1220	s.d.	bmh-P	Cerámica	Cultivos	LC/Bo/LR	RC
Tures	1200	s.d.	bh-P	Rasgos	Cultivos	LC/Bo	Ad
Carrillo	1380	s.d.	bmh-P	Rasgos	Cultivos	Bo	--

Abreviaturas. L: Lítica_C: Cerámica_Lz: Loza_RC: Rasgo Cultural_Fa: Fauna_Vd: Vidrio_Ad: Adobe_Ac: Arcilla cocida_Fl: Flora_Ca: Carbón_Tj: Teja_Hi: Hierro_Pc: Porcelana_Cult: Cultivos_PM: Perturbación Múltiple_EX: Excavación_Sond.: Sondeo_RS: Recolección de Superficie_LC: Levantamiento Cartográfico_LR: Limpieza Rasgos_CE: Cala Estratigráfica_Bo: Bosquejo_bh-P: Bosque Húmedo Premontano_bmh-P: Bosque Muy húmedo Premontano. **Fuente:** Base Orígenes de Sitios Arqueológicos, DAH-MNCR. Consulta: Febrero, 2023.

Antecedentes Arqueológicos Escala Regional

La arqueología aborda el cambio cultural desde 2 variables: espacio y tiempo. La primera delimita la geografía en áreas y regiones, mientras que la segunda hace una secuenciación del tiempo, en períodos y fases⁷. Bajo esta visión generalista podemos establecer que el cantón Santo Domingo forma parte de un espacio geográfico y cultural denominado: Región Arqueológica Central de Costa Rica.⁸

La Región Arqueológica Central de Costa, a su vez ha sido sub-dividida en 4 sub-regiones: Pacífico Central, Llanuras del Norte, Caribe Central e Intermontano Central. Los terrenos adscritos a Sto. Domingo se inscriben específicamente en la Subregión Intermontano Central. Ésta subregión arqueológica contiene una secuencia cronológica de ocupación precolombina definida de la siguiente manera: Periodo Paleoindio (10.000-8.000 a.C.), Periodo Arcaico (8.000-1.500 a.C.), Complejo Cerámico Barva (1.500 a.C.-300 a.C.), Fase Pavas (500 a.C.-400 d.C.), Fase Curridabat (400 d.C.-800 d.C.) y Fase Cartago (800 d.C.-1500 d.C.).

El conocimiento arqueológico de las ocupaciones humanas para esta sección del país encuentra sus primeros antecedentes a finales del S.XVIII, siendo habituales en tales documentos las referencias a colecciones privadas, ajuares funerarios y rasgos arqueológicos de naturaleza arquitectónica principalmente (Alfaro 1892; Alfaro y Peralta, 1893; Navarrete, 1899). En tanto que otros documentos hacían referencia a aspectos temporales e iconográficos, registrados en excavaciones de campo (Hartman, 1901).

Para 1926 el arqueólogo norteamericano Samuel Lothrop, publicaba un estudio que incluía el análisis de algunas colecciones del valle central del país, las cuales en su mayoría estaban carentes de contexto de deposición. Con el advenimiento de la arqueología moderna el énfasis pasó de la descripción de objetos a su clasificación espacio-temporal. Por ejemplo, Carlos Aguilar (1972b, 1974, 1975, 1976) sugiere una primer secuencia cronológica para el espacio geográfico que hoy nos ocupa, proponiendo 3 fases culturales: Pavas (300a.C.-300d.C.), Curridabat (300-800d.C.) y Cartago (800-1.500d.C.). Posteriormente Michael Snarskis (1983:89), profundiza la cota de inicio de la secuencia propuesta por Aguilar, incluyendo el complejo cerámico Barva (¿2.000-1000?-300a.C.), coetáneo al complejo cerámico La Montaña, descrito por él mismo Snarskis para la Vertiente Atlántica del país.

El Intermontano Central registra gran cantidad de monumentos arqueológicos, debido primordialmente a sus condiciones climáticas, topográficas y edafológicas. Además el agresivo desarrollo urbano e industrial de la región a mediado en el masivo registro de sitios arqueológicos, en el marco de los Estudios de Impacto Ambiental (EslA). Durante los 70`s y 80`s se desarrollan múltiples excavaciones de rescate en la región; aquí destacan los trabajos realizados en sitios con arquitectura monumental, entre ellos: La Ribera (H-33 LR) (Artavia et al., 1997) y CENADA (H-26 CN) (Blanco y Salgado, 1986). Muchos de los trabajos de campo involucraron amplias excavaciones horizontales en espacios consignados comoviviendas, basureros, hornos y otro tipo

⁷ El concepto "Fase" permite clasificar las diferencias culturales en un tiempo y espacio determinado. La unidad enmarca aspectos como: cultura material, patrón de asentamiento, estrategias de subsistencia, etc. Para Castellanos (1990:29) "la fase es la combinación de distintos complejos como: complejo de artefactos líticos, complejos arquitectónicos, complejos de herramientas o utensilios, complejos cerámicos, etc."

⁸ Según Murillo (2016:36), originalmente Aguilar (1971, 1972a) restringía el concepto de Intermontano Central a los "valles de San José y Cartago" (Aguilar 1976:75 en Murillo 2016: 36).

de rasgos culturales. En años posteriores se intervinieron sitios que ampliaron el conocimiento arqueológico de la zona.

Algunos sitios excavados en profundidad fueron: Pavas (Aguilar, 1973, 1974, 1976, 1978), INBIO (Rojas, 1990; Gómez, 2022), La Cubilla (Solís y Artavia 1996), El Pital (Valerio et al., 1996; Hernández y Novoa, 2004), Doña Lola (Novoa, 1998), Finca Mayorga (León, 2000), Vigui (León et al., 2001), Siquiaraes II (Aguilar, 2002; Aguilar y Arrea, 2002), Castella Sector 1 (León, 2021), Vigui (Hidalgo y Calvo, 1999; Gutiérrez y Guerrero, 2000; León, Achío y Odio, 2001), entre otros.⁹ También destacan dos proyectos de corte regional realizados en la zona de Santo Domingo de Heredia (Arrea, 1987) y en San Antonio de Belén (Sánchez, 2002).

Específicamente el cantón de Santo Domingo registra más de 2.000 años de presencia humana. Los grupos humanos asentados en la zona fueron consolidándose paulatinamente durante la secuencia prehispánica de ocupación. La zona registra asentamientos que estuvieron activos durante los siguientes lapsos de tiempo: complejo cerámico Barva (¿2.000-1.000?-500 a.C.)¹⁰, Fase Pavas (500 a.C.-300 d.C.), Fase Curridabat (300-800 d.C.) y Fase Cartago (800-1.550 d.C.). La zona registra además sitios históricos (post-contacto) asociados a la época Colonial (1.550-1.821 d.C.) y Republicana (1.821-1.950 d.C.).¹¹

A pesar del gran número de sitios reportados la información recuperada en muchos casos es escueta. Los trabajos por lo general han sido de carácter preliminar y son pocos los sitios donde se han realizado excavaciones extensivas. Aunque desde la década de los 70 y 80 y luego más adelante, la sección occidental del Valle Central, ha acogido una serie de trabajos de rescate arqueológico. Sobresaliendo las investigaciones en sitios con arquitectura como: La Ribera (H-33 LR), La Fábrica (A-10LF) y CENADA (H-26 CN), todos ellos, asentamientos complejos con evidencias de cementerios, viviendas, basureros, hornos y otros rasgos culturales.

Desde un punto de vista estrictamente geográfico el patrón de asentamiento, denota como la frecuencia de sitios arqueológicos decae abruptamente en la margen izquierda del río Virilla. Por ejemplo, cantones colindantes con Santo Domingo, pero ubicados en la margen izquierda, como Tibás, registran tan sólo 6 sitios arqueológicos reportados (ver: Tabla Nº 4). O bien, el distrito La Trinidad de Moravia, que reporta tan sólo 3 sitios registrados, o San Vicente de Moravia, con únicamente 5 registros (Fuente: Base de Datos Orígenes, 2023).

Resulta evidente que para esta sección de la cuenca del río Virilla, los grupos humanos encontraron mucho más atractivo asentarse en los territorios emplazados sobre la margen derecha del afluente. Específicamente para el cantón tibaseño, llama la atención que 3 de los 4 sitios con funcionalidad establecida tienen carácter funerario y únicamente el sitio La Florida (SJ-98-LF) es de carácter habitacional. Salvo el sitio Cinco Esquinas (SJ-1982-CE) y Colima (SJ-396-

⁹ En varios de éstos sitios logró documentarse la presencia de material foráneo, lo que evidencia el intercambio comercial de media y larga distancia desarrollado por las poblaciones asentadas en la región. Aquí destaca el sitio Talamanca (SJ-50 Tm), donde se recuperó un colgante de jade procedente del sur de Mesoamericana, hallado en contexto con otras “piezas típicamente costarricenses” (Snarskis, 1979:89).

¹⁰ Como Complejo Cerámico puede entenderse “la reunión de variedades, tipos y grupos cerámicos que comparten una misma cronología y localización geográfica” (Robles, 1990:28).

¹¹ Por el momento, para Sto. Domingo no se registró yacimientos o materiales aislados para los periodos Paleoindio (10.000-8.000 a.C.) y/o Arcaico (8.000-1.500 d.C.). (Fuente: Base de Datos Orígenes de Sitios Arqueológicos DAH-MNCR, consulta: Febrero, 2023).

Co) el resto de sitios de Tibás son multicomponentes, con presencia de material Pavas, Curridabat y Cartago.¹²

Por el contrario, los sitios con la secuencia de ocupación más prolongada se emplazan en la cuenca del río Bermúdez (margen derecha del Virilla). Allí destacan por ejemplo: Yurusti-2 (H-168-Yu-2), Vigui (H-86-Vg) y El Montano (H-161-EM) con componentes Barva, Pavas, Curridabat, Cartago y Colonial. Que en algunos casos como en Vigui se extiende ahasta los períodos Colonial (1.520-1.821 d.C.) y Republicano (1.821-1.950 d.C).

Para un conocimiento más detallada sobre el patrón de asentamiento en la cuenca alta del río Virilla, puede consultarse el trabajo de Sol y Rojas (2022) denominado: *El pasado oculto bajo la ciudad: de una cronología cultural a una interpretación social de la historia antigua entre 1000 a.C. y 1550 d.C., cuenca del río Virilla, Costa Rica.*

En Santo Domingo el 48.15% de total de sitios registrados presentan ocupación Pavas. De tales sitios arqueológicos, Santa Elena (H-43 SE), INBIO (H-44InBio), Vigui (H-86 Vg) y el sector La Laguna del sitio Beneficio Tournón (H-88 BT/ Sc. La Laguna), presentaron pisos de arcilla cocida. Los sitios Santa Elena (H-43 SE) e INBIO (H-44 INBIO) reportan tumbas campaniformes, además de cerámica asociada al complejo cerámico Pavas (Valerio y Achío, 2014:28).

Para Vázquez (2021:51), sitios como Tururúm (H-157 Tu) no pueden ser jerarquizados en un estamento alto, ello al compáralo con otros asentamientos del cantón. Tal ejercicio tendría una base firme si se implementara mediante variables cuantitativas de manera estadística, lo cual tendría posibilidad dentro de un esfuerzo más académico. No obstante, es posible proponer la correspondencia de Tururúm con un estamento medio.

Concentraciones demográficas superiores en la Fase Pavas y otros segmentos cronológicos, pudieron emplazarse al noreste del casco urbano de Santo Domingo. En tal zona la información disponible es consistente con sitios concentrados en el espacio geográfico, así como hallazgos de contextos habitacionales y funerarios de varios periodos.

En vista de lo anterior, puede señalarse que el conglomerado de evidencias arqueológicas llama a valorar la posibilidad de denominar a los conjuntos de sitios (con unificación geoespacial a partir del crecimiento de áreas ocupadas a lo largo una extensa trayectoria), como una localidad arqueológica, (Vázquez, 2021:51).

¹² Recientemente se propuso la existencia de la *Fase Heredia*, definida a partir de evidencia arqueológica hallada en sitios ubicados en el Valle Central de Costa Rica entre el 800 y 1200/1300 d.C. (Valerio y León, 2001; León, 2006; 2007; Valerio y Rodríguez, 2006). Autoras como León (2022:12), han propuesto que el espacio comprendido entre el Distrito Ulloa, La Ribera de Belén, Santo Domingo en Heredia y Llorente de Tibás en San José, pudieron conformar una unidad sociocultural activa entre 800 y 1200 d.C. (Fase Heredia).

PERIODIZACIÓN PANREGIONAL	AÑOS CALENDÁRICOS	PERÍODOS ARQUEOLÓGICOS				
		Gran Nicoya			Vertiente Central Atlántica <i>(Snarskis, 1978)</i>	Intermontano Central <i>(Aguilar, 1973)</i>
Baja Centroamérica <i>(Lange y Stoner, 1984)</i>		Periodización Regional <i>(Vázquez et al. 1994)</i>	Fase Valle del Tempisque <i>(Baudéz, 1967)</i>	Fase Zona Arenal <i>(Hoopes, 1994b)</i>		
Período VI	1600	Ometepe	Bebedero	Tilarán	La Cabaña	Cartago
	1500					
	1400					
	1300					
	1200					
	1100					
Período V	1000	Sapoá	Palo Blanco	Silencio	La Selva	Curridabat
	900					
	800					
	700					
	600					
	500					
Período IV	400	Bagaces	Catalina	Arenal Tardío	El Bosque	Pavas
	300					
	200					
	100					
	A.C. / D.C.					
	100					
	200					
	300					
	400					
	500					
	600					
	700					
800						
900						
1000						
Período III	...	Orosí	¿?	Tronadora Tardío	La Montaña	Barva
	2000					
Período II	4000	Arcáico		Tronadora Temprano		(¿?)
	6000					
Período I	8000	Paleoindio		Fortuna	(Sitio Turrialba)	
	...					
	¿12000?			¿?		

Tabla 4-5. Sitios arqueológicos en la margen izquierda río Virilla (cantón Tibás)

Sitio	Clave	Long.	Lat.	Tipo	Fase	Hallazgo
Colima	SJ-396 Co	491162	1100870	sin dato*	Pavas	---
La Florida	SJ-98 LF	493262	1101768	H*	Pavas-Curridabat-Cartago	C_L_Fa
Llorente	SJ-51 Llr	492562	1100868	F*	Pavas-Curridabat-Cartago	C
Talamanca	SJ-50 Tm	492962	1101418	F*	Pavas-Curridabat-Cartago	RH_C_L_Jd
Cinco Esquinas	1982	491161	1099920	F	Cartago	C_L_Or
Mercedes	SJ-490 MB	491712	1100769	Sin dato*	Pavas-Curridabat	C_L

Fase: Pavas: 500 a.C.-300 d.C., Curridabat: 300–800 d.C., Cartago: 800-1550 d.C.; Colonial: 1550-1821 d.C.
Abreviaturas. F: funerario_H: Habitacional_L: Lítica_C: Cerámica_Fa: Fauna_Or: Oro_RH: Restos humanos_Jd: Jade*: Sitio perturbado por construcciones, agricultura, huaqueo o la combinación de múltiples factores.
Fuente: Base Orígenes de Sitios Arqueológicos, DAH-MNCR. Consulta: febrero, 2023.

Antecedentes Arqueológicos Escala Local

La investigación arqueológica más relevante desarrollada en la zona de estudio se le debe a la arqueóloga Msc. Floria Arrea Siermann, quien en 1987 presenta el trabajo final de graduación titulado: “Introducción a la arqueología de Santo Domingo de Heredia” (Arrea, 1987).

La investigadora realizó un reconocimiento y prospección arqueológica en el cantón de Santo Domingo de Heredia. Su estudio que comprendió un área de 25,04 km², tuvo por objetivo realizar un inventario completo de los sitios del cantón y establecer su secuencia cultural.

El trabajo de Arrea incluyó labores como: recolección de materiales culturales en superficie (cerámica, lítica, metales, lozas, etc.), elaboración de dibujos a escala de los rasgos observados en superficie y croquis o bocetos con la ubicación de los hallazgos.

Para los sitios post-contacto, Arrea describe las características observadas en los cimientos de casas, restos de beneficios de café y lecherías, entre otros rasgos. Paralelamente, el trabajo aporta datos relativos al tamaño, función y distribución espacial de los yacimientos, esto con el fin de establecer las características del patrón de asentamiento y su relación con la obtención de recursos naturales.

Gracias a la prospección realizada por Arrea (1987) se ubicaron 19 sitios, tanto prehispánicos como post-hispánicos. La evidencia permitió documentar la secuencia cultural completa para el Intermontano Central del país, es decir, desde el complejo Cerámico Barba hasta la Fase Cartago, prolongándose hasta la época del post-contacto, con evidencia adscrita al Período Colonial y Republicano. (Arrea, 1987:202).

Inventario de Sitios Arqueológicos de Santo Domingo de Heredia

La Base de Datos Orígenes de Sitios Arqueológicos reporta para el mes de febrero del año 2023, un total de 32 sitios o monumentos arqueológicos dentro de los límites político-administrativos del cantón Santo Domingo de Heredia.

A continuación, se presenta una síntesis con la información disponible actualmente para cada uno de los 32 monumentos arqueológicos mencionados en el presente estudio. Los mismo se ordenan según distrito de ubicación.¹³

Localidad arqueológica: San Luis (H-42 SL) - Lino (H-120 Ln)¹⁴

San Luis (H-42 SL)

Sitio multicomponente (Pavas / Curridabat / Cartago) registrado en 1979. Las coordenadas al punto central del depósito lo ubican en el distrito Parí, a menos de 50 metros al este de la Ruta 32 en sentido San José - Guápiles.

Según la Base de Datos Orígenes el depósito tiene carácter funerario y presentaba perturbación múltiple, asociada a movimientos de tierra y huaquerismo al momento de su registro. De los trabajos realizados en el sitio destaca la limpieza de rasgos culturales y la recolección de material observado a nivel de superficie (cerámica /lítica). No se cuenta con descripción de materiales ni planimetría asociada al sitio.

Actualmente se conservan espacios no urbanizados en los alrededores de la coordenada que señala el punto central del yacimiento arqueológico. Por lo que se recomienda incorporar éstos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. A fin de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales aún no detectados.

¹³ Es importante señalar que para efectos de éste trabajo, se corrigió la ubicación geográfica de varios sitios arqueológicos. Por ejemplo, las coordenadas dadas en la Base de Datos Orígenes para el sitio H-44-INBIO eran: 1102621 Norte – 490214 Este, no obstante, se comprobó que tales coordenadas no correspondían al área donde se ubicaba el antiguo Instituto Nacional de Biodiversidad, por tanto, se procedió a actualizarlas a: 1.102.752 Norte - 489.810 Este (Proyección CRTM05). La actualización de coordenadas se basó en observaciones de campo, consultas a profesionales de DAH-MNCR y revisión exhaustiva de información documental. Para la georreferenciación siempre se utilizaron las coordenadas del Sistema de Referencia Transversal Mercator para Costa Rica (CRTM05).

¹⁴ Tras consultar los documentos disponibles se considera apropiado denominar a los sitios San Luis (H-42 SL) y Lino (H-120 Ln) como una misma localidad arqueológica. Atendiendo a las coordenadas dadas al punto central de ambos sitios (tomadas de la Base de Datos Orígenes), se pudo establecer que geográficamente el sitio Lino (H-120 Ln) se localiza aproximadamente a 100 metros en dirección este del punto central dado para el sitio San Luis (H-42 SL). Por lo anterior, se propone que ambos yacimientos pueden conformar una localidad arqueológica más amplia. Sin embargo, para confirmar o descartar dicha propuesta se requiere una prospección sistemática del área y la recolección sistemática y controlada de materiales arqueológicos con fines comparativos.

Lino (H-120 Ln)

Las coordenadas dadas al punto central del sitio Lino lo ubican en el distrito Pará. Se reporta únicamente recolección de cerámica en superficie y no tiene referencia de temporalidad o cronología relativa. No obstante, en la Base Orígenes se le asigna función doméstico-habitacional. El sitio fue registrado por funcionarios del Depto. De Antropología e Historia del Museo Nacional de Costa Rica, durante una inspección arqueológica rápida (sin fecha). Al momento de su registro, el área con evidencia de material arqueológico (cerámica y lítica), se encontraba impactada por actividad agrícola (arado, cultivo, erosión, etc.).

No se cuenta con documentos relativos a la descripción de materiales, tampoco se cuenta con planimetría o bosquejos del monumento arqueológico Lino (H-120 Ln). Sin embargo, los investigadores del MNCR estiman que el sitio podría ocupar un área cercana a los 10.000 m² (Fuente: <http://www.origenes.museocostarica.go.cr/busquedaGeneral.aspx>).

Actualmente se conservan espacios no urbanizados en los alrededores de la coordenada que señala el punto central de éste sitio arqueológico. Por lo que se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. A fin de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales aún no detectados.

Localidad arqueológica: Santa Elena (H-43 SE) - Yurusti-2 (H-168 Yu-2) ¹⁵

Santa Elena (H-43 SE)

Sitio bicomponente (Barva / Pavas) registrado en 1979. Las coordenadas de referencia al punto central lo ubican en el distrito Pará, justo sobre la Ruta 32 que comunica San José con Guápiles. Según Orígenes el depósito tiene carácter funerario, desconociéndose el área (m²) sobre la cual se distribuye la evidencia.

Entre los trabajos realizados en el sitio Santa Elena destaca la limpieza de rasgos culturales, excavación aislada y recolección de materiales arqueológicos observados sobre y bajo nivel de superficie (cerámica / lítica / carbón / muestras botánicas). No se cuenta con descripción de materiales, datos relativos a la profundidad del depósito, o planimetría a escala. Lo que si queda bien establecido, es que el depósito fue profundamente impactado por la construcción de la Ruta 32. Al momento de su registro se menciona que el depósito estaba impactado también por construcciones.

Actualmente se conservan espacios no urbanizados (p.ej.: cafetales y zonas de cultivo de hortalizas) en los alrededores de la coordenada que señala el punto central de éste sitio arqueológico, principalmente sobre la margen derecha e izquierda de la Ruta 32. Por lo que se recomienda incorporar éstos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. Ello con el objetivo de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales aún no detectados.

Yurusti-2 (H-168 Yu-2)

¹⁵ Tras una revisión detallada de los documentos disponibles (Arrea, 1987, Base de Datos Orígenes, 2023), se considera apropiado denominar a los sitios Santa Elena (H-43 SE) y Yurusti-2 (H-168 Yu-2) como una misma localidad arqueológica. Tomando como referencia las coordenadas dadas al punto central de ambos sitios, se puede establecer que geográficamente el sitio Yurusti-2 (H-168 Yu-2) se localiza aproximadamente a 200 metros en dirección sur del punto central dado para el sitio Santa Elena (H-43 SE). Por lo anterior, se propone que ambos yacimientos pueden conformar una localidad arqueológica más amplia. Sin embargo, para confirmar o descartar dicha propuesta se requiere una prospección sistemática del área y la recolección sistemática y controlada de materiales arqueológicos con fines comparativos.

Sitio multicomponente (Barva / Pavas / Curridabat / Cartago / Colonial) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito San Miguel. En el sitio Yurusti-2 se identificaron fragmentos de manos de moler, metates, hachas pulidas y cerámica precolombina. Aproximadamente un 20% de la muestra correspondió a fragmentos policromos procedentes de la región norte del país (Guanacaste) (Arrea, 1987:148-155).

El sitio ocupa un área de uso agropecuario (lecherías y cultivo de hortalizas), que abarca aproximadamente 2 hectáreas. El depósito fue alterado por agricultura y huaquerismo de tumbas de cajón desde 1940. El depósito arrojó gran cantidad de fragmentos de manos de moler, metates, hachas pulidas, desechos de talla, herramientas líticas y cerámica precolombina (Ibídem: 149).

Yurusti-2 arrojó gran cantidad de evidencia de la Fase Cartago. Por su ubicación Arrea (Ibídem:153) plantea la hipótesis de que Yurusti-2 puede corresponder a un poblado indígena mencionado en las cartas de Vásquez de Coronado, el cual, se emplazaba al norte de Curridabat (Vázquez de Coronado, 1964 en Arrea, 1987:153).

Actualmente se conservan espacios no urbanizados (p.ej.: cafetales y zonas de cultivo de hortalizas) en los alrededores de la coordenada que señala el punto central de éste sitio arqueológico. Razón por la cual, se recomienda incorporar éstos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. Ello con el objetivo de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales aún no detectados.

Localidad arqueológica: Anselmo (H-129 An) - La Isla (H-169 LI) ¹⁶

Anselmo (H-129 An)

Sitio multicomponente (Pavas / Curridabat / Cartago / Colonial) registrado en el distrito San Miguel en año 2009, mediante inspección arqueológica rápida. En el sitio se desarrollaron excavaciones sistemáticas y recolección de material a nivel de superficie. Estudios posteriores caracterizaron el yacimiento como de carácter habitacional y funerario, ubicándose 10 fosas adscritas cronológicamente al período Curridabat (Monge, 2012:100)

En el año 2012 el depósito es intervenido bajo el protocolo de evaluación arqueológica, la cual, fue desarrollada en un área de 3,4 hectáreas, excavándose un total de 233 pozos de sondeo y recuperándose un total de 10.367 fragmentos en su gran mayoría cerámicos. La evaluación tuvo por objetivo tramitar la viabilidad arqueológica para el Centro Nacional de Control de Energía del ICE (Monge,2012:22).

Para el segundo semestre del año 2020, se notifica alteración al sitio como producto de los trabajos de ampliación de la Ruta 32, específicamente en un tramo de 2,8 km que va del puente sobre el río Virilla hasta el cruce del Restaurante Doña Lela, en el distrito San Miguel de Santo Domingo de Heredia (Fuente: Informe Nº DAH-2020-I-073 y DAH-2021-I-002). Y para el período 2020-2021 el DAH-MNCR, realizó un nuevo análisis de las colecciones de material recuperadas en el monumento Anselmo (H-129 An).

Actualmente se conservan espacios no urbanizados al oeste y norte del Centro Nacional de Control de Energía (p.ej.: cafetales y zonas de cultivo de hortalizas). Razón por la cual, se

¹⁶ Tras una revisión detallada de los documentos disponibles (Arrea, 1987; Artavia, 1995; Monge, 2012;) se considera apropiado denominar a los sitios La Isla (H-169 LI) y Anselmo (H-129 An) como una misma localidad arqueológica.

recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. Ello con el objetivo de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales aún no detectados.

La Isla (H-169 LI)

Sitio multicomponente (Pavas / Curridabat / Cartago) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito San Miguel. El sitio se emplaza en una faja de terreno que va desde las planicies de la margen derecha del río Virilla hasta los terrenos del actual cementerio de San Miguel (Arrea, 1987:157).

El yacimiento fue partido en dos durante la construcción de la carretera a Guápiles (Ruta 32), informantes locales reportaron la destrucción de tumbas de piedra-laja, seguramente asociadas a la Fase Cartago. Entre la evidencia cerámica se identificaron fragmentos tipo Birmania Policromo (Pacífico Norte) y Tayutic Inciso (Cartago).

El depósito presentó concentraciones de cerámica en superficie y acumulaciones de cantos rodados de 20 a 30 centímetros de diámetro, cada 10 a 20 metros. Dichos cantos observados en superficie aparentemente proceden de actividades de huaquerismo realizadas tiempo atrás en el actual cementerio de San Miguel de Sto. Domingo (Arrea, 1987:157).

Actualmente se conservan espacios no urbanizados en los alrededores de la coordenada que marca el punto central del yacimiento arqueológico (p.ej.: cafetales y zonas de cultivo de hortalizas). Por lo anterior, se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. Ello con el objetivo de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales aún no detectados.

El Socorro (H-97 ES)

Sitio multicomponente (Barva / Pavas / Cartago) registrado en el distrito San Miguel en el año 2003. El depósito se ubicó mediante inspección arqueológica rápida del terreno la cual derivó posteriormente en una evaluación arqueológica, para el nuevo campus del Colegio Lincoln. En el sitio se realizaron calas estratigráficas, pozos, sondeos y trincheras.

Las densidades de material en el sitio se catalogaron como bajas (menos de 7 fragmentos por prueba excavada). Para F. Sol (2004:19) la distribución de la evidencia arqueológica aparenta ser el resultado de procesos transformacionales que han afectado el terreno, entre ellos, erosión, sedimentación y agricultura del café.

Los datos sugieren que el área intervenida mediante evaluación arqueológica corresponde a un sector periférico del sitio El Socorro, resultando probable que el depósito continúe hacia el noreste del área evaluada (Ibídem: 20).

Actualmente se conservan espacios no urbanizados principalmente en dirección este y oeste del área evaluada por Sol (2004). Por lo que se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. Ello con el objetivo de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales aún no detectados.

La Cancha (H-31 LC)

Sitio bicomponente (Curridabat / Cartago) ubicado en el distrito San Miguel. El yacimiento fue registrado por funcionarios del Depto. de Antropología e Historia del MNCR, en el año 1992. Los trabajos de campo realizados en el lugar permitieron otorgarle al sitio un carácter doméstico-habitacional.

En concordancia con las coordenadas al punto central del sitio, éste se ubica en una zona de cafetales, cercana a la margen derecha del río Virilla. A una altitud de 1260m.s.n.m.. El área total estimada para el sitio se calcula en unos 12.000 m² (Fuente: Base de Datos Orígenes, 2023).

Actualmente se conservan espacios no urbanizados hacia el este y oeste del área señalada como punto central del sitio arqueológico. Por anterior, se recomienda incorporar éstos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. Ello con el objetivo de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales aún no detectados.

Los Ángeles (H-52 LA)

Sitio bicomponente (Barva / Pavas) registrado en el año 1996 en el distrito San Miguel. Los Ángeles (H-52LA) fue intervenido mediante una evaluación arqueológica e interpretado como un depósito habitacional y funerario. El área estimada para el depósito alcanza los 250.000 m² según lo indica la Base de Datos Orígenes.

Durante el trabajo de campo asociado a la evaluación arqueológica, se concluyó que los terrenos intervenidos constituían un sector periférico del sitio Los Ángeles. Siendo más que probable que el depósito continuase hacia terrenos colindantes.

En este sentido, el trabajo mediante SIG y las prospecciones de campo permitieron constatar la presencia de sectores no urbanizados al este, oeste y norte del punto central asignado al sitio Los Ángeles (H-52 LA) (p.ej.: áreas de cultivo, jardines privados y parches de bosque natural). Por el contrario, los terrenos ubicados hacia el norte en dirección al cañón del río Virilla, se encuentran urbanizados y afectados por movimientos de tierra de variada naturaleza.

Se recomienda incorporar los terrenos no urbanizados cercanos al sitio Los Ángeles (H-52 LA), como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. Ello con el objetivo de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales aún no detectados.

Torre 12 (H-112 T12)

Sitio multicomponente (Pavas / Curridabat / Cartago) registrado en el año 2002, a raíz de una inspección arqueológica rápida. Las coordenadas al punto central del sitio lo ubican en el distrito San Miguel, justo en el área que ocupa una torre de alta tensión.

El área estimada para el sitio Torre-12 es de 25.000 m², no obstante, la mayor parte del área circundante al punto central del sitio, se encuentra afectada por construcciones, erosión y diversidad de movimientos de tierra (Fuente: Base de Datos Orígenes, 2023).

Únicamente hacia el este, atravesando la Ruta 308 se registran zonas boscosas correspondientes al área de protección del río Para. También al norte del punto central del sitio, se registran algunos parches no urbanizados que corresponden a los jardines de un terreno propiedad del Ministerio de Ambiente y Energía (SINAC-ACC).

También se observaron pequeñas parcelas de cultivo, ubicadas a unos 150 metros al norte de las coordenadas centrales del sitio. Por lo que se recomienda incorporar éstos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo.

Turú (H-113 Tr)

Sitio multicomponente (Pavas / Curridabat / Cartago) registrado por funcionarios del Depto. de Antropología e Historia del MNCR, en el año 2002. El sitio fue localizado a raíz de una denuncia interpuesta por destrucción al patrimonio arqueológico.

De acuerdo con las coordenadas al punto central del yacimiento dadas por la Base de Datos Orígenes, el área se ubica en un terreno ubicado frente a la Ruta 32 en San Miguel de Sto. Domingo, propiedad de Urbanizadora La Laguna S.A. y donde actualmente se encuentra la Iglesia Casa Oasis de Esperanza.

Los terrenos circundantes al sitio arqueológico Turú (H-113 Tr) han sido profundamente afectados por construcciones. Sin embargo se registran zonas no urbanizadas (p.ej.: cafetal con sombra) hacia el oeste y norte del área señalada como punto central del yacimiento, incluyendo los terrenos ubicados sobre la margen derecha de la quebrada Canoa. Por lo anterior, se recomienda incorporar estos terrenos (incluyendo aquellas zonas no urbanizadas aledañas a Calle Canoa), dentro del área de fragilidad arqueológica definida para el cantón de Santo Domingo de Heredia.

Quintana (H-27 Qt)

Quintana fue registrado por el Laboratorio de Arqueología de la UCR en la década de los 70's. Posteriormente se reubico mediante una prospección realizada en 1981. El sitio es de carácter multicomponente (Barva / Pavas / Curridabat / Cartago / Colonia). Y ocupa terrenos pertenecientes al distrito San Vicente de Santo Domingo y San Pablo de Heredia. Los materiales se distribuyen sobre un área cercana a las 8 o 10 hectáreas, lo que hacen de Quintana el sitio arqueológico de mayor tamaño registrado para el cantón de Santo Domingo. (Arrea, 1987:115).

Durante el trabajo de campo se vieron diferencias en cuanto a la ocupación espacial del terreno. Es decir, que se identificaron sectores donde predominaba evidencia de la Fase Pavas, en contraposición a otros sectores donde predominaba evidencia de la Fase Cartago (Ibídem:120). En el depósito esta representada toda la secuencia de ocupación establecida para el Intermontano Central del país. En Quintana se registraron rasgos culturales de tipo habitacional,

así como sectores utilizados principalmente como cementerios. A partir del S.XVII, los terrenos fueron re-ocupados para desarrollar labores agrícolas y ganaderas (Ibídem:120). En Quintana se realizaron recolecciones sistemáticas a nivel de superficie. La muestra obtenida alcanzó los 7.638 tiestos precolombinos (9,12 % policromos de Guanacaste), 263 fragmentos y/o artefactos de lítica lasqueada, 72 fragmentos y/o artefactos de lítica pulida, 98 fragmentos de cerámica post-contacto, 2 muestras de metal y 1 colgante de arcilla (Ibídem:116-117).

A pesar de que el sitio Quintana a sufrido alteración por huaquerismo y por las actividades agropecuarias desarrollados por varios siglos, es bastante probable que aún se conserven contextos arqueológicos poco alterados que contribuyan a profundizar en el conocimiento histórico de Santo Domingo. Actualmente se conservan amplias zonas no urbanizadas al norte y noroeste de la cancha de fútbol El Cafetal y en los alrededores del Centro Educativo Yurusti. Por lo que se recomienda incorporar éstos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. Es de importancia realizar un monitoreo constante de la zona y procurar que cualquier cambio en el uso del suelo, éste antecedido por los estudios arqueológicos establecidos en la legislación costarricense .¹⁷

Vigui (H-86 Vg)

Sitio multicomponente (Barva / Pavas / Curridabat / Cartago / Colonial / Republicano) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito San Vicente. Arrea (1987:108), describe el sitio como un amplio depósito con gran cantidad de evidencia lítica y cerámica a nivel de superficie, distribuida sobre un área de aproximadamente 2 hectáreas. Al momento de su registro (1981), el sitio ya presentaba evidencias de huaquerismo y afectación provocada por actividad agrícola mecanizada. Arrea realizó recolecciones sistemáticas a nivel de superficie y elaboró un bosquejo básico del yacimiento (Ibídem:109).

Investigaciones posteriores establecieron que los sitios reportados por Arrea (1987) como: Rosas (UCR-334) y Viguí (UCR-335), formaban una sola unidad, pues había continuidad espacial y no diferenciación estilística de los materiales en superficie. Por ende, el MNCR incorporó el sitio bajo la clave H-86 Vg. Además, Hidalgo y Calvo (1999), ampliaron el rango de dispersión de la evidencia arqueológica, pasando de 2 a más de 22 hectáreas (Hidalgo y Calvo, 1999).

Durante un rescate arqueológico realizado por el MNCR a principios del decenio de los 2.000, se intervinieron varios rasgos culturales (p.ej.: fosas funerarias y pisos de arcilla cocida) (León, Achío y Odio, 2001). Entre las labores realizadas estuvo la excavación de 12 operaciones, las cuales se localizaban en áreas que según el trabajo previo de Hidalgo y Calvo (1999), tenían el potencial de contener rasgos culturales o áreas de actividad.

¹⁷ Síntesis de la legislación atinente a la protección del recurso arqueológico nacional: Ley del Patrimonio Nacional Arqueológico Nº 6703 del 19 de enero de 1982; Ley de Patrimonio Histórico Arquitectónico Nº 7555 del 20 de octubre de 1995; el Tratado Internacional para la Recomendación sobre la Conservación de los Bienes Culturales que la Ejecución de Obras Públicas o Privadas pueda poner en Peligro aprobado por la ley Nº 4711 del 13 de enero de 1971; Convención sobre la Defensa del Patrimonio Arqueológico Histórico y Artístico de las Naciones Americanas aprobada por la ley Nº 6360 del 21 de setiembre de 1979; Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural aprobada por la ley Nº 5980 del 24 de diciembre de 1976; la Ley Orgánica del Ambiente Nº 7554 del 4 de octubre de 1995; Decreto Ejecutivo Nº 32712-MINAE y en especial su Artículo 9; Decreto Ejecutivo Nº 32966-MINAE, Guía EIA, puntos 9.9 y 9.10, el Voto Nº 5245-02 de la Sala Constitucional; Decreto Nº 31849-MINAE-S-MOPT-MAGMEIC, Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental; Decreto Nº 28174-MP-C-MINAE-MEIC Reglamento de Trámites para los Estudios Arqueológicos_ Art. Nº 12 y Resolución Nº J.A. 077-2016, Procedimiento de Ejecución del Rescate Arqueológico por parte del Museo Nacional de Costa Rica.

No obstante, en la mayoría de los casos no se localizaron los rasgos en los lugares indicados. Solamente en la Operación 4 (Op.4) se logró determinar la presencia de un piso circular de arcilla cocida de entre 9.5 y 10.5 m de diámetro y un espesor de entre 3 y 5 cm. Durante el análisis de los materiales se identificó principalmente cerámica temporalmente adscrita a la Fase Pavas. (León, Achío y Odio, 2001).

Aunque Viguí (H-86 Vg) a sufrido alteración por huaquerismo, urbanismo y actividades agropecuarias, se conservan aún zonas no urbanizadas que eventualmente podrían conservar contextos arqueológicos poco alterados, que contribuyan a profundizar en el conocimiento histórico de Santo Domingo. Actualmente se conservan amplias zonas no urbanizadas hacia el este entre calle Quintanilla y Calle Barro de Olla. También se registra un amplio lote dedicado al cultivo de hortalizas al suroeste de la Escuela San Vicente y un pequeño cafetal frente a la Fabrica Viguí. Estos son los predios no urbanizados con mayores dimensiones registrados en el área de influencia directa del monumento arqueológico Viguí. El resto de espacios corresponden a lotes entre los 200 y 2.000 m² cuadrados distribuidos dentro del área de influencia del sitio.

Se recomienda incorporar los espacios actualmente no urbanizados como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. Es importante realizar un monitoreo constante de la zona y procurar que cualquier cambio en el uso del suelo, sea precedido por los estudios arqueológicos establecidos en la legislación respectiva. Ésto con el fin de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales aún no detectados en la zona.

La Cornelia (H-171 LC)

Ubicado en el distrito San Vicente, La Cornelia es un yacimiento arqueológico que fue registrado mediante inspección arqueológica rápida en el año 2011. Por vía de la comparación cerámica el depósito fue clasificado como unicomponente, y se adscribió a la Fase Pavas. Se estima que el mismo posee un área mínima de 20.000 m².

Como parte de de los estudios ambientales para el proyecto Campo Santo La Piedad, Santo Domingo de Heredia, se efectuó una evaluación arqueológica en una sección del sitio arqueológico, específicamente en un área de 3.3 hectáreas. En el lugar se excavaron 360 pozos de prueba cada 10 metros y varias trincheras, además se realizaron recolecciones de superficie y levantamientos planimétricos (Sol, 2012:6-9).

De acuerdo con Sol (2012:15): “La excavación de las trincheras evidencia una importante movilidad de los estratos culturales observable en lo ancho del estrato cultural y la variación de la tierra húmica en el perfil estratigráfico. No se lograron identificar pisos de arcilla quemada, aunque estos posiblemente sí se utilizaron en el sitio, por la presencia de pequeños fragmentos de bahareque. Por las condiciones edafológicas y la actividad cafetalera no fue posible identificar pisos de actividad ni moldes de poste para definir rasgos habitacionales”.

Los trabajos desarrollados en el sitio permiten establecer que el rango de dispersión horizontal de los materiales arqueológicos supera los límites catastrales del área evaluada, principalmente hacia el noroeste de la propiedad. No obstante, la densidad de evidencia es relativamente baja. Según Sol (2015:18), el sitio La Cornelia se extiende por varias hectáreas, sin embargo, durante la evaluación no fue posible establecer sus límites de forma precisa.

La distribución zonal de evidencia y las bajas densidades de material registradas, permiten interpretar el sitio como: “el sector periférico de una comunidad extensa con casas dispersas ocupada durante la Fase Pavas”. En este sentido las zonas de concentración cerámica que alternan con sectores de baja densidad, evidenciarían la presencia de casas dispersas asociadas a áreas donde se acumulaban desechos domésticos (Sol; 2015:19).

Para esta sección del distrito San Vicente donde se emplazan sitios como Vigui (H-86 Vg), Quintana (H-27 Qt) y La Cornelia (H-171 LC), aún se conservan amplias zonas de repasto, cultivos de café, potreros arbolados, lotes baldíos y grandes jardines de residencias tipo “quinta.” Resulta muy importante el monitoreo constante de estos territorios del cantón, a fin de reducir o mitigar el impacto a bienes arqueológicos que subyacen a la superficie del suelo. Por lo anterior, se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo.

1 de Mayo (H-158 1M)

Sitio multicomponente (Pavas / Curridabat / Cartago / Colonial / Republicano) registrado mediante una prospección sistemática realizada en 1981, en el distrito Santa Rosa. El depósito se emplaza en terrenos ocupados actualmente por el Barrio 1^{ero}. de Mayo. Arrea (1987:83) lo ubica exactamente al costado sur de la plaza de deportes de Santa Rosa de Sto. Domingo.

El depósito se registró durante los movimientos de tierra destinados a urbanizar el área (Barrio 1^{ero}. de Mayo), y que dejaron al descubierto gran cantidad de restos arqueológicos (cerámica y lítica lasqueada principalmente). En los recorridos realizados en los alrededores (prospección pedestre), se identificaron acumulaciones de cerámica y microlitos de sílex distribuidas en un área bastante amplia (Ibídem: 83).

Cronológicamente el depósito es primordialmente Pavas (500 a.C. - 300 d.C.), aunque también se recuperaron pequeñas cantidades de material de otras fases de la secuencia del Intermontano Central. El sitio también fue re-ocupado durante los S.XVIII y S.XIX (Ibídem:86)

Actualmente se conservan zonas no urbanizadas en las inmediaciones del punto central dado para el yacimiento (principalmente hacia el oeste) Por lo que es importante tomar en cuenta el componente arqueológico al momento de realizar cualquier actividad que involucre movimientos de tierra. Además, es posible prever la presencia de restos arqueológicos en los niveles inferiores del suelo de la actual cancha de deportes de Santa Rosa.

En virtud de lo anterior, se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo.

Beneficio Tournón (H-88 BT)

Sitio unicomponente (Pavas) registrado mediante inspección arqueológica rápida en el distrito Santa Rosa. El sitio fue sujeto a evaluación arqueológica en el marco de la viabilidad ambiental del Proyecto Condominio Residencial Santo Domingo. En esa ocasión se intervino un área de 34.459.76 m², la cual fue denominada: sitio Beneficio Tournón - Sector La Laguna (H-88 BT/SL) (Pérez y Barrientos, 2011).

Durante la evaluación de 2011 se recuperó gran cantidad de material cerámico fragmentario, Y además se excavaron 2 sectores con de pisos de arcilla cocida, asociados a viviendas Fase

Pavas. Los pisos fueron detectados mediante la excavación de pozos de sondeo y trincheras a 50 cm de profundidad (Valerio y Achío, 2014:1). En 2004 funcionarios del Depto de Antropología e Historia del Museo Nacional de Costa Rica, llevaron a cabo el rescate arqueológico de un área de 1.200 m², donde en 2011 habían sido registrados varios pisos de arcilla cocida. En total se excavaron secciones correspondientes a 4 pisos de arcilla. Las secciones de piso consistían en bloques que no sobrepasaban los 6 metros de extensión y presentaban un espesor promedio que oscilaba entre 1.5 cm y 3.0 cm, con textura más o menos consistentes. La profundidad media de los rasgos fue de 50 cm.b.s. (Valerio y Achío, 2014:12).

Actualmente, la mayor parte de los terrenos asociados al sitio Beneficio Tournón (H-88 BT) han sido absorbidos por la mancha urbana, la cual, paulatinamente a ido ocupando el extremo septentrional del distrito Santa Rosa. No obstante, aún se conservan pequeños lotes destinados a albergar residencias unifamiliares, algunos parches boscosos en la zona de protección del río Bermúdez, y dos amplios lotes no urbanizados frente al Condominio Paso Domingo y al sur de las instalaciones de la Congregación Santo Domingo. En dichas zonas la probabilidad de registrar evidencia arqueológica vinculada especialmente al sitio Beneficio Tournón (H-88 BT), se eleva. Por lo tanto, se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo de Heredia.

La Veranera (H-159 LV)

Sitio de la época Republicana registrado mediante una prospección sistemática en 1981 (distrito Santa Rosa). Corresponde a los restos de una casa de adobe dispuestos en un área de 75m x 50m (3.750 m²). El depósito arrojó fragmentos de cerámicas del post-contacto, tejas, basas de piedra, porcelanas y lozas (Arrea, 1987:88-89). El sitio se emplaza en un área que aún conserva espacios no urbanizado. Por lo tanto, se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo de Heredia.

El Montano (H-161-EM)

Sitio multicomponente (Barva / Pavas / Curridabat / Cartago / Colonial) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito Santa Rosa. El sitio exhibe un rango temporal de ocupación sumamente amplio. Además, registró evidencia de megamamíferos fósiles, entre las que destaca un diente de mastodonte (Arrea, 1987:96).

El sitio está ubicado en una terraza fluvial del río Virilla y posee un área estimada es de 10.000 m². En el lugar no se realizaron excavaciones estratigráficas, únicamente se efectuaron recolecciones de superficie. En el Informe de Inspección Arqueológica Derecho de Vía Tramo "D", presentado por Artavia (2006:41), se indica que para H-161-EM la densidad de material en superficie es muy baja.

Lamentablemente, el depósito ha sido profundamente afectado por los movimientos de tierra asociados con un antiguo tajo instalado en el lugar. Producto de los trabajos de extracción el nivel original del suelo ha sido rebajado hasta en 40 metros (Arrea: 1987:96).

Actualmente se conservan espacios no urbanizados al oeste y norte del área señalada como punto central del yacimiento (principalmente cafetales). Razón por la cual, se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo

Domingo. Ello con el objetivo de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales hasta la fecha no detectados.

INBIO (H-44 INBIO)

Ubicado en el distrito Santa Rosa, INBIO (H-44 INBIO) fue registrado durante la construcción del Instituto Nacional de Biodiversidad en el año 1989. Al depósito se le han asignado funciones tanto habitacionales como funerarias. En términos generales el sitio corresponde a un depósito que cronológicamente hablando es de unicomponente, adscrito a la Fase Pavas (500 a.C. - 300 d.C.), su fechamiento se hizo mediante comparación cerámica (datación relativa).

En el sitio INBIO se realizaron excavaciones horizontales, calas estratigráficas, levantamientos cartográficos, recolecciones de superficie y limpieza de rasgos culturales. Aquí destacan los rasgos troncocónicos con gran cantidad de restos arqueológicos, entre ellos artefactos líticos completos. También en el sitio se identificaron pisos de arcilla cocida en muy buen estado de conservación. Uno de los pisos de arcilla mostraba forma circular y un diámetro estimado de 7 a 10 metros. Durante la excavación de dicho piso no se detectó mucha cantidad de material fragmentado, pero sí una tumba de botella, la cual, al momento de su construcción perturbó parte del piso (Rojas, comunicación personal en Artavia, 2003:11). Las colecciones del sitio INBIO contienen cerámica, lítica, restos florales, arcilla cocida, etc. (Fuente: Base de Datos Orígenes, DAH-MNCR, 2023).

Tal y como ocurre en otros sitios asociados a la Fase Pavas, el sitio INBIO se caracteriza por afloramientos superficiales de material cerámico y lítico en cantidades variables. Asimismo, en estratos inferiores (máximo un metro de profundidad), resulta común encontrar restos de viviendas y tumbas. Por lo tanto, en cualquier cafetal o lote que no haya sufrido alteraciones importantes, se pueden reportar evidencias de valor histórico – patrimonial (Artavia, 2003:11).

Actualmente se conservan espacios no urbanizados dentro de las antiguas instalaciones del INBIO, así como en terrenos cultivados de café al sur del sitio arqueológico. La probabilidad de que bienes patrimoniales se conserven en las zonas no urbanizadas circundantes al sitio INBIO (H-44 INBIO) son muy altas.

Así lo confirman estudios recientes como el desarrollado por Gómez (2022). Por lo anterior, se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. Ello con el objetivo de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales aún no detectados.

León XIII (H-156 LXIII)

Sitio multicomponente (Barva / Pavas / Curridabat) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito Santa Rosa. El área que conserva material arqueológico se encuentra cerca del cañón del río Virilla. Y no se descarta que el material halla llegado al lugar producto de la erosión que afecta las terrazas ubicadas más al norte. La mayor parte de la evidencia cerámica se clasificó como parte del complejo Pavas, con pequeñas muestras de material asociadas al complejo Barva y Curridabat (Arrea, 1987:76)

El depósito se ha visto alterado por labores propias de la actividad cafetalera (p.ej.: arado, apertura de caminos, siembra y resiembra de plantas de café), así como por algunas construcciones modernas. Durante la prospección del sitio se registró una densidad de materiales

por metro cuadrado muy baja (0,2 a 1 tiesto por m²). La extensión estimada para el sitio es de 5.000 m² (Ibídem:75).

Actualmente se conservan espacios no urbanizados (p. ej.: cafetales arbolados), los cuales se ubican al este, oeste y norte del área señalada como punto central del yacimiento León XIII (H-156 LXIII). Aquí es importante señalar que todos estos terrenos limitan al sur con el profundo cañón del río Virilla, siendo de las últimas áreas no urbanizadas para ésta sección del distrito Santa Rosa de Sto. Domingo de Heredia.

Por lo dicho anteriormente, se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo – Distrito Santa Rosa. Ello con el objetivo de descartar o confirmar la existencia de bienes patrimoniales aún no detectados.

Parque Industrial (H-155 PI)

Sitio unicomponente (Pavas) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito Santa Rosa. El depósito ocupa una zona plana la cual ha sido profundamente afectada por movimientos de tierra y construcciones comerciales e industriales (Arrea, 1987).

La evidencia reportada corresponde a fragmentos cerámicos en superficie, observados en baja densidad. Durante los movimientos de tierra realizados con maquinaria durante la década de los años 70's, informantes locales advirtieron sobre la presencia de restos que podrían interpretarse como "tumbas de botella" o rasgos troncocónicos (Arrea, 1987:71).

Si bien el desarrollo urbano ha destruido por completo buena parte del sitio arqueológico, al oeste y sur del punto central del sitio H-155 PI, aún se conservan terrenos no urbanizados, que si bien han sido impactados por actividades antrópicas (agricultura), tienen la capacidad de conservar bienes de interés arqueológico. Por lo tanto, se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo.

Sasa (H-160 Sa)

Sitio multicomponente (Pavas / Curridabat / Colonial) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito Santa Rosa. El depósito ocupa un terreno plano y se extiende por un área de aproximadamente 1,5 hectáreas. Según Arrea (1987:91-93), el recurso arqueológico se ha visto muy afectado por labores agrícolas desde el S.XVIII (p.ej.: trigo, tabaco y café, respectivamente).

Actualmente los terrenos que albergan el sitio según sus coordenadas al punto central, se mantienen sin urbanizar y sostienen antiguos cultivos de café. Esta zona ofrece uno de los espacios no urbanizados más amplios ubicados al oeste del cuadrante urbano del distrito Santa Rosa. Por lo anterior, se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo.

Tabaco (H-154 Tb)

Sitio bicomponente (Colonial) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito Santa Rosa. El depósito ocupa un terreno plano emplazado a unos 350 metros al sur de la quebrada Tururúm (Arrea, 1987:66).

El sitio Tabaco (H-154 Tb) es un yacimiento de la época Republicana (S.XVIII) que consiste en los restos de una casa de habitación construida originalmente con adobe y posteriormente reparada utilizando cemento con ladrillo (Arrea, 1987:69, Fig.: 10). El espacio ocupado por la vivienda pudo medir aproximadamente 50 m x 75 m (3.750 m²), pero sólo se conservan restos de la vivienda sobre un área de 20 m x 22 m (440 m²) (Ibídem:66-68).

En los alrededores del área habitacional se reconocen restos correspondientes a muros de un antiguo beneficio de café. Fue interesante registrar fragmentos de cerámica del complejo Pavas como parte de la materia prima utilizada en la construcción de los muros de adobe, hoy en proceso de desintegración. Entre los restos observados destacan: locetas de pizo, restos de un filtro de piedra tallada, teja, cerámica y loza histórica (Ibídem:67).

Actualmente los terrenos donde originalmente se registró el sitio Tabaco se mantienen sin urbanizar, salvo algunas construcciones en el extremo noreste. La propiedad forma parte del área de influencia del sitio arqueológico Parque Industrial (H-155 PI). Por lo anterior, se recomienda incorporar éstos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo.

Zúñiga (H-162-Zñ)

Zúñiga corresponde a un sitio histórico de carácter habitacional registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981. El mismo se localiza dentro de los límites administrativos del distrito Santa Rosa, cantón Santo Domingo. De Zúñiga (H-162 Zñ) se conservaron restos de una vivienda de adobe, la cual, probablemente fue construida a finales del S.XVIII o principios del S.XIX (Arrea, 1987: 100-101).

La casa poseía sala, cocina y cuarto caedizo, junto a 2 corredores ubicados en los extremos oeste (frontal) y sur (trasero) de la edificación. Este último (corredor sur) comunicaba la vivienda con el área donde se ubicaban pilas, letrina y tendederos, además de la troja y el patio de la casa.

Es importante señalar que el sitio se emplaza en terrenos bastante planos que fueron absorbidos por la moderna mancha urbana. Al momento de su registro se estimó que la casa medía 9 metros de largo por 8 metros de ancho (72 m²) (Arrea, 1987:102, Fig.:20).

En este sitio no se ejecutaron excavaciones controladas, únicamente se realizaron observaciones de campo, donde se identificaron restos de loza y adobe que permitieron asignarle una cronología relativa (Colonial-Republicano) (Ibídem:100). Actualmente el área indicada como punto central del sitio, se encuentra completamente impactada por construcciones modernas. Por tanto, no se recomiendan medidas específicas de conservación.

Tururúm (H-157 Tu)

Corresponde a un sitio multicomponente (Barva / Pavas / Curridabat / Colonial / Republicano) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito Santa Rosa (Arrea, 1987). La evidencia recuperada durante varios procesos de evaluación arqueológica, sugiere que el depósito posee un carácter habitacional (León, 2015:21; Vázquez, 2021:17).¹⁸

¹⁸ El muestreo reveló una ocupación durante las fases Pavas (400 a. C - 400 d. C) El sector trabajado es de carácter habitacional. En el sitio Tururúm (H-157 Tu) se observaron pequeños fragmentos redondeados de arcilla quemada muy similares a los encontrados en otros sitios Pavas. Éstos

El sitio se emplaza en una zona de excelentes suelos, buen clima y acceso al agua, condiciones que facilitaron que la zona halla estado ocupada desde tiempos muy tempranos, llegando inclusive al período colonial y más tarde por los cafetaleros en la época republicana. Los reportes para esta zona coinciden en que la evidencia arqueológica se encuentran principalmente en una primer capa de suelo orgánico, la cual alcanza hasta 1 metro de profundidad aproximadamente (León, 2015:10).

El sitio ha sido sujeto a varias evaluaciones arqueológicas como parte de Estudios de Evaluación Ambiental (EsIA-D1 SETENA) (Hidalgo 2012; León, 2015; Vargas 2013, 2021; Vázquez, 2021). La zona donde se registra Tururúm se encuentra muy alterada por cambios en el uso del suelo, atribuibles a un agresivo crecimiento urbano (p. ej.: infraestructura industrial y comercial), así como por actividades propias de la agricultura intensiva de café.

A nivel intra-sitio las densidades más altas de restos culturales (principalmente cerámica), se reportan en sondeos próximos a Calle Lagunilla, la cual, conecta Santo Domingo con el cruce de La Valencia. Densidades de material menor fueron registradas en las proximidades del río Virilla y quebrada Tururúm (Hidalgo 2012; Vargas 2013; Vázquez, 2021).

Los trabajos desarrollados en Tururúm indican que el depósito se extiende más allá de los límites catastrales de las propiedades evaluadas. Actualmente se registran áreas no impactadas por construcciones, tanto hacia el este como hacia el oeste de los terrenos evaluados en años anteriores.

Dados los antecedentes señalados anteriormente, se puede decir que los terrenos no urbanizados en las cercanías del sitio, aún tiene potencial para arrojar nuevos datos e información de valor histórico y científico. Por lo anterior, se recomienda incorporar éstos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo.

Localidad arqueológica: Barquero (H-164 Br) - Manzana de Agua (H-201 MA)¹⁹

Barquero (H-164 Br)

Sitio multicomponente (Barva / Pavas / Curridabat / Colonial / Republicano) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito San Miguel (Arrea, 1987). El mismo corresponde a un depósito de carácter habitacional multicomponente adscrito mediante comparación cerámica a la Fase Pavas.

En el año 2015 un sector del depósito ubicado a unos 350 metros al suroeste de las coordenadas originales dadas como punto central del sitio Barquero, fue intervenido mediante Evaluación Arqueológica, el área sujeta a investigación abarcó aproximadamente 4 hectáreas (Salazar, 2015:3). Entre los materiales recuperados se identificaron fragmentos cerámicos que comparten características modales con los complejos La Montaña y Chaparrón (Snarskis, 1978 en Salazar, 2015:45).

En el sitio se observaron además concentraciones de vasijas de gran talla en su mayoría de uso culinario (p. ej.: ollas globulares y cuencos) (Salazar, 2015:47). Tras una larga ocupación

fragmentos de arcilla generalmente son desprendimientos de paredes que han sido cubiertas de arcilla, las cañas las amarran y hacen nudos, esos nudos al cubrirse de arcilla con el tiempo se desprenden, dejando huellas en la arcilla de las cañas (León, 2015:21).

¹⁹ Tras una revisión detallada de los documentos disponibles (Salazar, 2015; Naranjo, 2017; Vázquez, 2021; Salas, 2022), se considera apropiado denominar a los sitios Barquero (H-164 Br) y Manzana de Agua (H-201 Ma) como una misma localidad arqueológica.

desarrollada principalmente durante la Fase Pavas, el sitio Barquero fue ocupado durante la Fase Curridabat y posteriormente reocupado nuevamente durante el S.XVIII y S.XIX.

A pesar de que la mayor parte del depósito ha sido impacto por el acelerado crecimiento urbano desarrollado en las últimas 2 décadas, aún se observan algunas zonas no urbanizadas en las cercanías del sitio (p.ej.: jardines residenciales, parches de bosque, pequeñas áreas cultivadas de café y algunos potreros arbolados). Por los antecedentes del lugar, se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo.

Manzana de Agua (H-201 MA)

El sitio Manzana de Agua lo registra Naranjo y Villegas mediante prospección sistemática para un Estudio de Impacto Ambiental, en el año 2017 (Fuente: Base de Datos Orígenes, 2023; Naranjo, 2017). El sitio registraba perturbación por agricultura intensiva de café y en años recientes se vio profundamente alterado por movimientos de tierra con fines urbanísticos (Naranjo, 2017; Vázquez, 2021; Salas, 2022).²⁰

Excavaciones de evaluación y rescate arqueológico realizadas en el sitio permitieron recuperar información relativa a la presencia de pisos de arcilla cocida de la Fase Pavas (300 a.C. - 500 d.C.). Aparentemente los pisos de arcilla cocida no fueron construidos y ocupados en sincronía, sino más bien en distintos momentos de la ocupación y re-ocupación del sitio. Según Vázquez (2021:80), en Manzana de Agua se registraron cinco diferentes momentos de ocupación, todos ellos dentro del ámbito temporal que abarcó la Fase Pavas (300 a.C. -300 d.C.).

A pesar de que la mayor parte del depósito ha sido impacto por el acelerado crecimiento urbano desarrollado en las últimas 2 décadas. En las cercanías del sitio arqueológico aún se mantienen algunas zonas no urbanizadas que requieren ser atendidas en caso de que se pretenda realizar algún cambio de uso tradicional del suelo.

Es importante señalar que hacia el este del área sujeta a rescate en 2022, se observan amplias zonas de césped arbolado (p.ej.: jardines residenciales), así como parches de bosque, pequeñas áreas cultivadas de café y algunos potreros. Y hacia el oeste se registran lotes para viviendas unifamiliares sin construir, amplios jardines residenciales y pequeñas zonas verdes arboladas. Dados los antecedentes del lugar es muy probable la presencia de bienes arqueológicos aún no detectados en las zonas no urbanizadas. Siendo pues recomendable, incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo.

Montealegre (H-163 Me)

Sitio multicomponente (Pavas / Colonial / Republicano) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito San Miguel. El sitio Montealegre registra principalmente materiales adscritos temporalmente a la Fase Pavas, pero además conserva evidencia material de épocas posteriores (S.XVIII y S.XIX) (Arrea, 1987).

Al momento de su registro el terreno estaba siendo utilizado para el cultivo de café, por lo que se observaron restos arqueológicos en las camas artificiales de cultivo. Arrea (1987:129) realizó

²⁰ Las referencias geográficas dadas por Arrea (1987:134) para el sitio Barquero (H-164 Br), son las mismas dadas para el sitio Manzana de Agua (H-201 MA) registrado por Naranjo (2017) más de 30 años después. Por lo tanto, se considera que el depósito fue registrado dos veces, asignándoles nombres y claves distintas.

recoleciones sistemáticas, recuperando 266 fragmentos de cerámica precolombina, 13 artefactos y/o fragmentos líticos y 24 muestras de loza post-colombina.

Pese a que el depósito fue impactado por construcciones y por las prácticas agrícolas asociadas al cultivo del café (p.ej.: terrazas, zanjas, etc.), se considera importante realizar un monitoreo de los terrenos que aún no han sido urbanizados. En este sentido es importante realizar los estudios arqueológicos pertinentes en caso de que se pretenda cambiar el uso tradicional del suelo en los cafetales circundantes al yacimiento arqueológico. Por lo dicho anteriormente, se recomienda incorporar éstos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo.

Zamora (H-165 Za)

Sitio unicomponente (Republicano) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito Santo Tomás. Zamora consiste en los restos de un antiguo patio de beneficio, muros perimetrales y casa de adobe. Asociado a la vivienda se observaron restos de un piso de ladrillo, una pileta y un muro bajo construido en calicanto de 30 a 40 centímetros de altura (Arrea, 1987:141, Fig.33).

Todo el conjunto se ubica en un área que mide 50 m x 100 m (5.000 m²) (Arrea, 1987:138). En este sitio no se realizaron recolecciones de materia, sólo se elaboró un bosquejo básico. El hallazgo representa un ejemplo de la arquitectura asociada a la actividad cafetalera desarrollada en Santo Domingo de Heredia a partir del S.XIX. Según Arrea (1987:139), este tipo de patios y beneficios resultan relativamente comunes en el cantón.

Actualmente los terrenos que comprenden el sitio Zamora se encuentran urbanizados, no obstante, en los patios y jardines de la viviendas cercanas, podrían eventualmente conservarse restos de interés histórico patrimonial. Cabe señalar que geográficamente el sitio Zamora se ubica dentro de la zona de influencia del sitio Manzana de Agua (H-201 MA). Por lo que se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo.

Quebradas (H-166 Qs)

Sitio unicomponente (Republicano) ubicado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito Tures. Quebradas se interpreta como los restos de una pequeña casa de adobe que al momento de su registro ya se encontraba en proceso de abandono. De la vivienda se conservaban únicamente restos de sus paredes, las cuales contenía como parte de su materia prima tiestos de la Fase Pavas (500 a.C. - 300 d.C). (Arrea, 1987:142).

El sitio fue destruido totalmente a finales de la década de los 80's, primero se destecho para reutilizar las tejas de barro y luego los restos de muro fueron derrumbados, utilizando para ello maquinaria pesada. En este sitio no se realizó ningún tipo de recolección de material cultural y tampoco se mapeo o realizó algún tipo de bosquejo básico (Ibídem:143).

Actualmente el terreno es ocupado por varias casas de habitación modernas. No se recomienda llevar a cabo ninguna acción en específico, dada la destrucción total del bien patrimonial denominado con el nombre de Quebradas (H-166 Qs).

Tures (H- 167 Tu)

Sitio bicomponente (Colonial / Republicano) ubicado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito Tures. El sitio Tures corresponde a los restos de una casa de adobe en proceso de abandono.

Al momento de su registro la vivienda carecía de techo, las vigas de madera habían sido retiradas y las paredes lucían derrumbadas. En éste sitio no se realizó ningún tipo de recolección de material cultural y tampoco se mapeo o realizó algún tipo de bosquejo básico (Arrea, 1987:145).

El sitio actualmente parece haber sido destruido en su totalidad debido al crecimiento urbano. No obstante, hacia el norte, en dirección a quebrada Vieja, Quebradas y Emilia, aún se conservan terrenos no urbanizados, los cuales podrían conservar restos prehispánicos o de época posterior aún no registrados. Por los antecedentes del lugar, se recomienda al gestor municipal incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo.

Carrillo (H-170 Cr)

Sitio unicomponente (Republicano) registrado mediante una prospección sistemática realizada en el año 1981, en el distrito Paracito. Ubicado sobre una pequeña loma, el sitio Carrillo se interpretó como los restos de una antigua casa de adobe del S.XIX.

Al momento de su hallazgo aún eran visibles restos de paredes, basas de piedra para soporte de vigas, partes de un puente empedrado, al menos dos corredores empedrados con cantos de río y una pequeña sesión de lo que en apariencia era un muro de contención, igualmente construido con cantos de río.

Es probable que la vivienda contara con un área destinada a albergar una lechería construida en madera. En el sitio Carrillo (H-170 Cr), no se realizaron recolecciones de superficie y únicamente se cuenta con un bosquejo muy básico de los hallazgos realizados a principios de los años 80's (Arrea, 1987:162-163).

Actualmente el terreno donde se ubica el sitio es utilizado para labores agrícolas y para el pastoreo de ganado. Sería muy recomendable realizar un levantamiento topográfico de las estructuras conservadas en el lugar, así como realizar recolecciones sistemáticas para contar con una muestra de los materiales conservados en este sitio de carácter histórico.

Asimismo, resulta de suma importancia monitorear el área y realizar los estudios arqueológicos de ley, en caso de variar el actual uso del suelo. Por lo anterior, se recomienda incorporar estos terrenos como parte del área de fragilidad arqueológica del cantón de Santo Domingo. Lo anterior adquiere mayor relevancia, dada la cercanía del sitio Carrillo (H-170 Cr), con sitios de gran relevancia ubicados en sus cercanías, como por ejemplo Pará Grande (H-172 PG), un sitio funerario registrado en el vecino distrito de San Isidro de Heredia.

Uso del Suelo y Conservación del Recurso Arqueológico en Santo Domingo de Heredia

Visibilizar la presencia de bienes patrimoniales dentro de áreas clasificadas como sensibles arqueológicamente hablando, es una forma empírica de asegurar el conocimiento, la conservación y la valorización, de los recursos culturales existentes en un determinado territorio.

Siempre es recomendable que las instituciones que de primera mano trabajan con la gestión del territorio (en este caso la municipalidad), interactúe con la Jefatura del Depto. de Antropología e Historia del Museo Nacional de Costa Rica, en torno al adecuado manejo técnico y legal de los bienes arqueológicos registrados dentro de una determinada jurisdicción cantonal.

En la planificación y gestión del territorio la consulta de la *Base de Datos Orígenes de Sitios Arqueológicos*, administrada por el Depto. de Antropología e Historia del Museo Nacional de Costa Rica, resulta ser el primero, pero no el último paso para determinar la fragilidad arqueológica de un predio, lote o finca. Siempre deberá tenerse en cuenta que dicho banco de datos está en constante crecimiento, revisión y actualización. Y que la ausencia de registros oficiales en un determinado espacio, podría ser el resultado de la falta de estudios específicos.

Ahora bien, para establecer como el uso antrópico del suelo ha incidido en la conservación del patrimonio arqueológico del cantón de Santo Domingo, se procedió a clasificar el uso del suelo circundante a cada uno de los 32 sitios arqueológicos reportados hasta el mes de febrero del año 2023, dentro de los límites político-administrativos del cantón. Metodológicamente el trabajo permitió identificar 3 componentes urbano-ambientales, asociados a bienes de valor arqueológico (sitios o monumentos). Para consolidar estos componentes se utilizó foto aérea, referencias bibliográficas y visitas de campo. La información se integró dentro de un SIG para generar mapas relativos a las condiciones de uso actual del suelo (antrópico) y su relación con variables de interés arqueológico.²¹ Las categorías de uso del suelo definidas en el estudio son:

- a. Zona de Fragilidad Arqueológica (ZdFA).
- b. Zona con Alto Potencial Arqueológico (ZcAPA).
- c. Zona Urbanizada de Bajo Interés Arqueológico (ZU).

a. Zona de Fragilidad Arqueológica (ZdFA)

Conceptualmente la *ZdFA* corresponde a espacios ubicados dentro de la poligonal que delimita un sitio arqueológico, así como zonas ubicadas en las inmediaciones de las coordenadas de referencia asignadas por el DAH-MNCR a un sitio arqueológico. Teóricamente dentro de la *ZdFA* existe una alta la probabilidad de registrar restos arqueológicos, independientemente del estado de conservación en que se encuentren los mismos.

Más allá de su tamaño (m²) la principal característica de una *ZdFA*, es no estar urbanizada. Otra característica de la *ZdFA*, es que dentro de la misma se hallan llevado a cabo diferentes modalidades de investigación o trabajo arqueológico (p.ej.: atención de denuncia, prospección, inspección arqueológica rápida, evaluación arqueológica, rescate arqueológico, etc.).

Dentro de ésta categoría pueden encontrarse: parques públicos, potreros, cafetales, canchas de deporte, jardines, áreas de cultivo de hortalizas, márgenes de ríos o quebradas, zonas boscosas, lotes residenciales sin construir, etc..

La secuencia de pasos para definir geográficamente una *ZdFA* fueron los siguientes:

²¹ La antropoaptitud es la condición que presenta un espacio geográfico en razón de los diferentes tipos de uso del suelo que de él hacen los seres humanos, considerando variables tales como uso urbano, uso agrícola, uso forestal y de conservación. Toma en cuenta aspectos de uso histórico cultural, relacionado con información de patrimonio cultural y científico, uso actual y tendencias de desarrollo humano con proyecciones temporales no mayores de cinco años. Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (Manual deEIA) Parte III. Decreto N° 32967.

1. Introducir en un SIG las coordenadas de ubicación al punto central del sitio arqueológico y cuando fue necesario corregir la ubicación previamente asignada al sitio.
2. Visitar el área señalada por el cruce de coordenadas X y Y de cada sitio arqueológico (siempre y cuando se obtuvieran los permisos y facilidades para el ingreso).
3. Realizar recorridos perimetrales para identificar o descartar la presencia de restos arqueológicos visibles a nivel de superficie.
4. Comparar los datos de campo con los datos ofrecidos por la foto aérea (uso actual del suelo).

b. Zona con Alto Potencial Arqueológico (ZcAPA)

La ZcAPA corresponde a zonas verdes residuales o bien consolidadas, ubicadas en la periferia de las *Zonas de Fragilidad Arqueológica*. Dentro de ésta categoría pueden ubicarse desde asentamientos humanos de baja densidad, hasta zonas de bosque protegido. En algunas ocasiones las ZcAPA pueden funcionar como áreas de amortiguamiento y/o transición, entre *Zonas de Fragilidad Arqueológica* y *Zonas Urbanizadas*.

Esta categoría incluye coberturas que si bien presentan un fuerte impacto antrópico, aún conservan parte de su dinámica ecológica. Dentro del componente pueden registrarse cafetales con sombra, pastizales arbolados, plantaciones forestales, caña, hortalizas, viveros, áreas de actividad pecuaria, áreas deportivas y recreativas, parques públicos, jardines residenciales, zonas de protección de ríos o quebradas, bosques, etc..

Asimismo, la ZcAPA es un componente del paisaje caracterizado por conservar espacios de conectividad para especies de flora y fauna. Y por ende, contribuye a potenciar los flujos agro-ecológicos fundamentales y con ello la identidad sociocultural local.²² En los últimos años ésta zona ha elevado su potencial inmobiliario, turístico y ecoturístico. En algunos casos la ZcAPA ,registran pequeñas áreas urbanizadas de baja a moderada densidad. La ZcAPA tiene una probabilidad alta o media de conservar evidencia cultural aun no registrada por la Base de Datos Orígenes del DAH-MNCR.

²² Más recientemente estos espacios han sido concebidos como *agropaisajes*; una categoría que en términos de valoración paisajística y ambiental, ha ganado relevancia por su rol en la conectividad ecológica entre distintos espacios (Schelhas, J. y Greenberg R., 1996).

c. Zona Urbanizada (ZU)

La *ZU* se caracterizan por su alto grado de transformación antrópica. Este componente incluye zonas de uso residencial, industrial, comercial, servicios, institucional y mixto. Estén tales espacios insertos o no, dentro de un centro urbano con cuadrantes o de tipo urbano periférico.

Dentro de esta categoría se incluyen las urbanizaciones consolidadas durante la década de los sesenta, setenta y ochenta, así como las residencias bajo la modalidad de condominio desarrolladas a partir de las últimas 2 décadas principalmente. También se incluyen aquí los “barrios” que siguen un crecimiento bajo el sistema de cuadrícula o bien, siguiendo la típica expansión lineal sobre los márgenes de carreteras primarias, secundarias y terciarias.

Varios sitios registrados dentro de esta categoría han sido profundamente impactados por la expansión urbana, quedando destruidos parcial o totalmente. Y la probabilidad de que múltiples recursos arqueológicos hayan desaparecido sin haber sido descritos es muy alta. Seguidamente se presentan los mapas generados mediante SIG, éstos incluyen las tres categorías de uso del suelo definidas. Para no generar sesgo en cuanto a la distribución geoespacial de la evidencia arqueológica, no se consideró si el sitio actualmente se halla destruido parcial o totalmente. La discusión de este aspecto se retoma más adelante. En los mapas la *Zona Urbanizada (ZU)* se anota como “infraestructura actual”.

Tabla 4-6. Zona de Fragilidad Arqueológica asociada a sitios arqueológicos de Santo Domingo de Heredia

Sitio	Categoría	Conservación	Área ZdFA (ha.)	Drenaje cercano
San Luis	ZcAPA	Sectores conservados	0,874	río Pará
Lino	ZcAPA	Sectores conservados	4,683	río Pará
Santa Elena	ZcAPA	Sectores conservados	3,428	río Pará
Yurusti-2	ZcAPA	Sectores conservados	11,975	río Pará
Anselmo	ZU/ZcAPA	Sectores conservados	7,168	río Tibás
La Isla	ZU/ZcAPA	Sectores conservados	35,998	río Virilla
El Socorro	ZU	Muy Alterado-Destruido	6,99	río Virilla
La Cancha	ZcAPA	Sectores conservados	7,838	río Virilla
Los Angeles	ZU/ZcAPA	Sectores conservados	13,984	río Virilla
Torre 12	ZU	Muy Alterado-Destruido	0,976	río Pará
Turú	ZU	Muy Alterado-Destruido	10,790	queb. Canoa
Quintana	ZU/ZcAPA	Sectores conservados	13,699	queb. La Saca
Vigui	ZU/ZcAPA	Sectores conservados	15,807	queb. La Saca
La Cornelia	ZU/ZcAPA	Sectores conservados	36,151	queb. Tierra Blanca
1 de Mayo	ZU	Muy Alterado-Destruido	2,182	río Bermúdez
Beneficio Tournón	ZU	Muy Alterado-Destruido	9,123	río Bermúdez
El Montano	ZcAPA	Muy Alterado-Destruido	10,401	río Virilla
Inbio	ZcAPA	Sectores conservados	22,562	río Bermúdez
León XIII	ZU	Muy Alterado-Destruido	8,571	río Virilla
Parque Industrial	ZU	Muy Alterado-Destruido	13,296	queb. Tururúm
Sasa	ZcAPA	Sectores conservados	2,343	río Bermúdez
Tabaco	ZcAPA	Muy Alterado-Destruido	6,19	queb. Tururúm
Zúñiga	ZU	Muy Alterado-Destruido	0,148	río Bermúdez
Tururúm	ZU	Muy Alterado-Destruido	15,63	queb. Tururúm
La Veranera	ZcAPA	Sectores conservados	0,614	río Bermúdez
Barquero	ZU	Muy Alterado-Destruido	7,948	río Tibás
Manzana de Agua	ZU	Muy Alterado-Destruido	2,731	río Tibás
Montealegre	ZU/ZcAPA	Sectores conservados	16,259	queb. La Saca
Zamora	ZU	Muy Alterado-Destruido	1,297	río Tibás
Quebradas	ZU	Muy Alterado-Destruido	0,296	queb. Tururúm
Tures	ZU	Muy Alterado-Destruido	1,972	río Tures
Carrillo	ZcAPA	Sectores conservados	2,031	río Pará

Elaborado con datos propios. G. Gómez, 2013.

Entre los criterios utilizados para delimitar la *ZdFA* estuvieron: cercanía a un sitio arqueológico previamente registrado por el Museo Nacional de Costa Rica, características topográficas del terreno (p.ej.:% pendiente), uso actual del suelo (p.ej.: cafetal, potrero, urbanizado, etc), cercanía a un afluente (p.ej.: río o quebrada) y presencia o ausencia de restos arqueológicos identificados a nivel de superficie.

En términos generales la mayoría de los sitios arqueológicos registrados en el cantón de Santo Domingo, han sufrido algún tipo de afectación producto de actividades agropecuarias, urbanísticas o por saqueo (huaquerismo). Tal afectación no ha sido homogénea dentro del cantón, pues las características particulares del crecimiento urbano y el uso del suelo varía entre cada uno de los 8 distritos que constituyen el cantón de Santo Domingo. A continuación, se presenta una síntesis del estado de conservación del recurso arqueológico y las posibilidades de conservación y gestión del mismo según distrito.

Santa Rosa (11 sitios arqueológicos reportados)

Quizás la afectación más severa al recurso arqueológico se ha dado en su extremo oeste, cerca del límite con el distrito Ulloa, cantón de Heredia. Allí la implantación de gran cantidad de industrias y patios de maniobra afectaron irreversiblemente importantes sectores de sitios como: Tabaco, Parque Industrial, León XIII, Tururrúm y El Montano. Algo similar sucede en el extremo noroeste del distrito, donde la expansión inmobiliaria en forma de condominios y urbanizaciones terminó afectando sitios como Beneficio Tournón.

La sección sureste del distrito es la que conserva los espacios urbanizados más amplios, con un altísimo potencial arqueológico. Especial importancia revisten los cafetales ubicados al sur del antiguo Instituto Nacional de Biodiversidad, los cuales forman parte del área de influencia del sitio INBIO (H-44 INBIO). También al oeste del sitio 1^{er}o Mayo se mantiene amplias zonas verdes que pueden conservar restos de interés histórico-patrimonial.

La franja de tierra que corre paralela al río Virilla en todo el extremo sur del distrito y en donde fueron ubicados los sitios Leon XIII, El Montano y un sector de Tururúm, conserva áreas no urbanizadas que se alternan con espacios muy alterados por actividades industriales y agropecuarias. Aquí las probabilidades de registrar restos arqueológicos en buen estado de conservación se reducen, primero por el impacto generado por la industria y la agricultura en las partes de menor pendiente y segundo por la cercanía al cañón del río Virilla, un accidente que ya de por sí debió poner coto al desarrollo de asentamientos prehispánicos en esta zona. No obstante, los terrenos más planos donde se cultiva café si registran cerámica arqueológica en superficie, por tanto, requieren atención en caso de solicitarse un cambio de uso del suelo.

Santo Domingo (no registra sitios arqueológicos)

Cabecera y principal centro urbano del cantón. En sus cuadrantes no se han registrado sitios arqueológicos. No obstante, evidencia asociada a sitios como INBIO y Sasa podría extenderse dentro de los actuales límites del distrito de Santo Domingo. Lamentablemente como actualmente la mancha urbana ocupa casi la totalidad del distrito, resulta poco probable registrar bienes arqueológicos en buen estado de conservación. Sin embargo, no puede descartarse que en zonas hasta hoy no urbanizadas, como: plazas de deportes, parques públicos y jardines privados, puedan conservarse aún restos de valor histórico-patrimonial.

San Vicente (3 sitios arqueológicos reportados)

Para éste distrito se registran los sitios de mayor tamaño dentro del cantón. Algunos de ellos como Quintana y Vigui tienen continuidad de materiales hacia los distritos vecinos de San Pablo y San Francisco. Específicamente el sitio Vigui fue impactado casi en su totalidad por el desarrollo de urbanizaciones y hoy únicamente se conservan parches no urbanizados que podrían contener los últimos detritos asociados al sitio (p.ej.: pequeños lotes para construir).

En San Vicente se presenta un crecimiento urbano muy desigual. Gran cantidad viviendas y comercios se emplazan al extremo oeste, cerca de su límite con San Pablo (definido por el río Bermúdez). Mientras que amplios terrenos no urbanizados (que ocupan casi dos terceras partes del distrito), se registran hacia el este cerca del límite con Tures y hacia el sur cerca del límite con Santo Tomás. El potencial arqueológico para el distrito San Vicente es amplio y está marcado por la presencia de sitios enormes como Quintana y La Cornelia.

Santo Tomás (4 sitios arqueológicos reportados)

El desarrollo urbano de Santo Tomás guarda cierto paralelismo con el observado en el distrito San Vicente, puesto que presenta un crecimiento urbano consolidado en su extremo oeste, el cual se extiende hasta su límite con Santo Domingo. Pero sigue conservando amplias zonas no urbanizadas hacia el este, las cuales se extienden hasta alcanzar el límite con el distrito Tures.

El desarrollo inmobiliario reciente a impactado irremediamente sitios como Barquero - Manzana de Agua y Zamora, todos ubicados en la sección central-sur del distrito. Sin embargo, los cafetales ubicados en su sección central-norte, en su límite con San Vicente, conservan interés arqueológico, pues allí se registran sitios como Montealegre.

Merecen especial atención los terrenos ubicados a ambos lados del límite entre Santo Tomas y Tures, donde no se han registrado yacimientos arqueológicos, debido posiblemente a la ausencia de estudios especializados, por ejemplo: inspecciones, evaluaciones, rescates o prospecciones.

También son de interés arqueológico los terrenos ubicados al este del sitio Barquero - Manzana de Agua, pues las investigaciones realizadas en dichos sitios indican que los depósitos posiblemente continúan más allá de los límites catastrales intervenidos.

San Miguel (7 sitios arqueológicos registrados)

El distrito San Miguel es una especie de síntesis del crecimiento urbano observado en todo el cantón de Santo Domingo. En él se ven reflejados los modelos de desarrollo reportados en otros distritos (p.ej.: centros urbanos consolidados, crecimiento urbano lineal, zonas de uso agropecuario, mixto, etc). La lógica del crecimiento urbano del distrito está marcada por la Ruta 32, la cual atraviesa el distrito en sentido noreste -suroeste.

El recurso arqueológico del distrito también está inexorablemente ligado a la Ruta 32, pues 4 de los 7 sitios reportados se ubican a menos de 300 metros de la misma. La mayor parte de terrenos no urbanizados en San Miguel, se asocian a la zona protectora de los ríos Virilla y Tibás. Tales terrenos presentan un grado de pendiente que los hizo poco atractivos para el asentamiento de los antiguos grupos humanos que habitaron la región.

La excepción sería el sitio La Cancha, que si bien se ubica cerca del cañón del Virilla, lo hace sobre una terraza que desciende suavemente hacia el río. Identificar geoformas similares resultaría un excelente ejercicio en el caso de programar prospecciones sistemáticas o investigaciones dirigidas a ubicar nuevos depósitos en la región. Los sitios del distrito han sido sumamente afectados por actividad antrópica moderna. No obstante, los terrenos al este y oeste del sitio El Socorro y las zonas cultivadas al suroeste del sitio La Isla, tiene aún alguna probabilidad de conservar bienes de interés histórico-patrimonial.

Tures (2 sitios arqueológicos reportados)

El distrito Tures presenta un crecimiento urbano básicamente lineal a lo largo de la Ruta 116. El complejo sistema de drenajes que recorre al distrito se plasma en una serie de accidentes geográficos que no permiten reconocer amplias terrazas fluviales, como sí sucede en otros distritos. Casi todos los terrenos de baja pendiente están actualmente ocupados por construcciones y caminos. La mayor parte de las áreas no urbanizadas corresponden a las zonas de protección de ríos y quebradas como Tierra Blanca, Emilia, Vieja, Ángeles.

Los terrenos que desde el punto de vista arqueológico guardan mayor potencial se ubican sobre la margen izquierda del río Tures. Así como sobre la margen derecha de la quebrada Tierra Blanca, cerca del sitio arqueológico La Cornelia.

Pará (4 sitios arqueológicos reportados)

De los 4 sitios reportados para el distrito Pará, 3 fueron impactados por la construcción de la Ruta 32. Los terrenos con mayor potencial arqueológico del distrito se ubican entre la Ruta 32 y la quebrada Canoa y entre la Ruta 32 y el río Pará. Justo en las inmediaciones de los sitios Yurusti-2 y Santa Elena. También guardan interés los terrenos no urbanizados localizados en las inmediaciones de los sitios Lino y San Luis, ambos ubicados en el extremo noreste del distrito, cerca del límite con el distrito San José de Santo Domingo de Heredia.

Paracito (1 sitio arqueológico reportado)

Los terrenos con potencial arqueológico para este distrito ya están casi por completo ocupados por construcciones y caminos. La mayor parte de zonas no urbanizadas corresponden a terrenos de pendiente media y alta, asociados al área de protección del río Para y la quebrada Platanares. El único sitio reportado en el distrito corresponde a los restos mal conservados de una casa de adobe. El terreno donde se reporta dicho sitio (Carrillo / H-170 Cr), se mantiene como potrero arbolado y en las cercanías se registran zonas de labranza.

A pesar de que el potencial arqueológico del distrito es limitado, siempre cabe la posibilidad de que algún tipo de evidencia se conserve aún en pequeñas parcelas de cultivo, lotes habilitados para construir o en jardines residenciales. Lo anterior adquiere relevancia al considerar que en las cercanías se han registrado sitios de gran relevancia, por ejemplo: Agra (SJ-502 Ag), La Palma (SJ-501 LP) y Para Grande (H-172 PG), los dos primeros ubicados en San Jerónimo de Moravia, provincia de San José y el segundo en San José de San Isidro, Provincia de Heredia.

Recomendaciones Generales para el Manejo del Recurso Arqueológico en Santo Domingo de Heredia

Dado el acelerado crecimiento urbano observado en algunos sectores del cantón de Santo Domingo de Heredia. El ente encargado de planificar la gestión territorial debe tomar en consideración la importancia que revisten las zonas que no han sido urbanizadas en las cercanías de los sitios arqueológicos ya registrados.

En vista de que el recurso arqueológico es un bien no renovable y que la destrucción de los yacimientos arqueológicos es para siempre, resulta de suma importancia que todo proyecto, obra o actividad humana que requiera cualquier tipo de movimientos de tierra, o bien, que busque el cambio del uso tradicional del suelo; acate previo a iniciar con el proyecto, obra o actividad, los términos de referencia establecidos en el Decreto Ejecutivo Nº 327122 (Instructivo de Llenado D-1 SETENA_ Anexo Nº 7, Elaboración del Estudio Arqueológico Rápido del Terreno para el Área de Proyecto).

Independientemente de su ubicación geográfica (fuera o dentro de las *ZdFA* o *ZdAPA* delimitadas en el presente trabajo), es requisito de ley que todo proyecto cuya área de impacto supere los 1.000 m², cuente con un Estudio Arqueológico Rápido del Terreno. Dicho estudio es requisito para tramitar la viabilidad ambiental ante la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA). Es altamente recomendable que cualquier proyecto, obra, o actividad humana que vaya a realizarse dentro de la *Zona de Fragilidad Arqueológica* y que requiera movimiento de tierra, cuente con el debido Estudio Arqueológico Rápido del Terreno.²³

Para efectos de incorporar el recurso arqueológico dentro de la planificación y gestión del territorio, deben considerarse varias normas relativas al manejo y conservación de los bienes arqueológicos. En este sentido existen 2 principios fundamentales a considerar dentro del Plan Regulador Cantonal:

1. La Base de Datos Orígenes de Sitios Arqueológicos (DAH-MNCR), no registra la totalidad de sitios arqueológicos existentes en una zona determinada. Puede haber multitud de recursos arqueológicos que aún no han sido detectados debido a la ausencia de estudios específicos.
2. Para registrar y conservar el patrimonio arqueológico en las *ZdAPA* deben realizarse estudios arqueológicos para obras, proyectos o actividades en áreas mayores a 1.000 m². No obstante en las *Zonas de Fragilidad Arqueológica* es recomendable solicitar una inspección Arqueológica Rápida para construcciones en lotes con áreas de 200 m² en adelante.
3. A partir de los resultados obtenidos en el Estudio Arqueológico Rápido del Terreno, puede recomendarse una o más de las cinco acciones establecidas en el formulario de inspección rápida (ver anexo).
 - a. Dar viabilidad arqueológica al proyecto, obra o actividad.
 - b. Solicitar monitoreo arqueológico de movimientos de tierra.
 - c. Recomendar una Evaluación Arqueológica.
 - d. Recomendar una Rescate Arqueológico.
 - e. Recomendar la declaratoria de Reserva Arqueológica.

Lo anterior expuesto anteriormente se fundamenta en lo dispuesto en la normativa nacional e internacional vigente:

Ley N° 7. Control de la explotación y comercio de reliquias arqueológicas.

Decreto N° 14. Reglamento a la Ley N° 7.

²³ La recomendación de realizar un estudio arqueológico básico dentro de las *ZdFA* incluye obras, proyectos o actividades que requieran movimientos de tierra aunque estos sean menores a 200 m³ o áreas menores a 1000 m².

Ley N° 6703. Defensa y Conservación del Patrimonio Nacional Arqueológico.

Decreto N°28174-MP-C-MINAE-MEIC. Reglamento requisitos y trámites para estudios arqueológicos.

Ley N° 7555. Patrimonio Histórico Arquitectónico de Costa Rica.

Decreto N° 19016-C. Reglamento de la Comisión Arqueológica Nacional.

Ley N° 4711. Recomendaciones sobre la conservación de los bienes culturales que la ejecución de obras públicas o privadas pueda poner en peligro.

Ley N 7526. Convención sobre las medidas que deben adoptarse para prohibir e impedir la exportación e importación de propiedad ilícita de bienes culturales.

Ley N° 6360. Convención de Defensa del Patrimonio Arqueológico, Histórico, Artístico de las Naciones Americanas. Convención de San Salvador.

Ley N° 5980. Convención sobre la protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural.

Ley N 8282. Aprobación de la adhesión al Segundo Protocolo de la Convención de La Haya, de 1954 para la protección de bienes culturales en caso de conflicto armado.

Bibliografía de Referencia

- ABEL-VIDOR, S., C. BAUDÉZ, R. BISHOP, L. BONILLA, M. CALVO, W. CREAMER, J. DAY, J. GUERRERO, P. HEALY, J. HOOPES, F. LANGE, S. SALGADO, R. STROESSNER, y A. TILLET. 1987. Principales tipos cerámicos y variedades de la Gran Nicoya. En: *Vínculos* 13 (1-2): 35-314.
- ACUÑA, V. 2000. Cronología y tecnología lítica en el Valle de Turrialba, Costa Rica. En: *Vínculos* 25 (1-2): 41-76.
- AGUILAR, C. 1971. Guayabo de Turrialba: Los altares. Documento inédito, Laboratorio de Arqueología, Escuela de Antropología, Universidad de Costa Rica, San José.
- _____. 1972a. *Guayabo de Turrialba: Arqueología de un sitio indígena prehispánico*. Editorial Costa Rica, San José.
- _____. 1972b. Contribución al estudio de las secuencias culturales en el área central de Costa Rica. Documento inédito, Laboratorio de Arqueología, Escuela de Antropología, Universidad de Costa Rica, San José.
- _____. 1973. Contribución al estudio de las Secuencias Culturales en el Área Central de Costa Rica. Ponencia presentada en: *IX International Congress of Anthropological Ethnological Sciences, Chicago*.
- _____. 1974. Asentamientos indígenas en el área central de Costa Rica. En: *América Indígena* 34 (2): 311-317.
- _____. 1975. El Molino: un sitio de la fase Pavas en Cartago. En: *Vínculos* 1 (1): 18-56.
- _____. 1976. Relaciones de las Culturas Precolombinas en el Intermontano Central de Costa Rica. En: *Vínculos* 2 (1): 75-86.
- _____. 1978. Contribution to the Study of Cultural Sequences in the Central Area of Costa Rica. En: *Cultural Continuity in Mesoamerica*, edited by David L. Browman, Mouton, The Hague: 387-411.
- AGUILAR, C. 2002. Sitio Siquiaries II (A-157-SQ2), un espacio de actividad social Pavas. Informe final Proyecto Arqueológico Carretera Ciudad Colón – Orotina. Documento inédito. Consejo Nacional de Concesiones. Costa Rica, San José.

- AGUILAR, C. y F. ARREA. 2002. Análisis de la cerámica. Informe final Proyecto Arqueológico Carretera Ciudad Colón – Orotina. Documento inédito. Consejo Nacional de Concesiones, Costa Rica, San José.
- ALFARO, A. 1892. *Antigüedades de Costa Rica*. Ministerio de Fomento, Tipografía Nacional. Costa Rica, San José.
- ALFARO, A. y M. PERALTA. 1893. *Catálogo razonado de los objetos arqueológicos de la República de Costa Rica en la Exposición Histórico-Americana de Madrid -1892*. España.
- ARIAS, A. Y S. CHÁVEZ. 1985. Ubicación espacio temporal de los sitios catalogados y registrados en el Valle Central por el Laboratorio de Arqueología de la Universidad de Costa Rica. Práctica dirigida de licenciatura, Escuela de Antropología y Sociología, Universidad de Costa Rica, San José.
- ARREA, F. 1987. Introducción a la arqueología de Santo Domingo de Heredia. Tesis de Licenciatura en Arqueología, Escuela de Antropología y Sociología, Universidad de Costa Rica, San José.
- _____. 2020. Arqueología histórica de Costa Rica: el caso de Ciudad del Lodo (C-361CL), evidencias materiales que prueban el primer asentamiento colonial en Cartago, Costa Rica. En: *Cuadernos de Antropología*, 30(1), 1-15. DOI: 10.15517/cat.v30i1.38369. Disponible en Internet: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/antropologia/article/view/38369>
- ARTAVIA, J. 2003. Diagnóstico Arqueológico: Proyecto New Campus Lincoln School, Barrio El Socorro de San Miguel de Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.
- _____. 2006. Informe de Inspección Arqueológica Derecho de Vía Tramo “D”. Proyecto: III Etapa Poliducto Limón – La Garita. Doc. 327/MEX/PSG-INSP-01. TECHINT-RECOPE. Costa Rica, San José.
- ARTAVIA, J., BADILLA, A., OVARES, E. Y ALFARO, A. 1997. Rescate arqueológico de dos sectores del sitio La Ribera (H-33LR). Documento inédito. Departamento de Antropología e Historia, Museo Nacional de Costa Rica. Costa Rica, San José.
- BAUDÉZ, C. 1967. *Recherches archéologiques dans la Vallée du Tempisque. Guanacaste, Costa Rica*. Institute des Hautes Études de L’Amérique Latine, Paris, Francia.
- BERGOING, J. y V. MALAVASSI. 1982. Mapa Geomorfológico Hoja Abra, Escala 1: 50 000, Convenio Universidad de Costa Rica, Depto. De Geografía – Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Instituto Geográfico Nacional. Costa Rica, San José.
- BLANCO, A. y S. SALGADO. 1986. Rescate Arqueológico del sitio 26-CN CENADA, Barreal de Heredia. En: *Memoria del Congreso sobre el Mundo Centroamericano de su tiempo (V Centenario de Gonzalo Fernández de Oviedo)* Editorial Texto: 113-138. Costa Rica, San José.
- BOLAÑOS, R. 1999. Al Occidente del Abra. Historia Monográfica de Santo Domingo de Heredia. San José, Costa Rica
- CAMBRONERO, D., M. MARÍN y G. REYES. 2019. Análisis del capital natural y los servicios ecosistémicos para la definición de un corredor biológico interurbano en la microcuenca del río Bermúdez. Trabajo Final de Graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional para optar por el grado de Licenciatura en Ciencias Geográficas con Énfasis en Ordenamiento del Territorio, Modalidad Seminario. Costa Rica, San José.
- CORRALES, N., HOFFMAISTER, M. Y SÁNCHEZ, M.G. 2000. Análisis y Planeación para la Renovación Urbana en el Distrito Central de Santo Domingo. Tesis de grado en arquitectura. Universidad Central. San José, Costa Rica.

- Costa Rica. Leyes, Decretos, etc. 2004. División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica. San José. Imprenta Nacional.
- GIANOTTI, CAMILA, J. MARTIN DABEZIES y MARÍA CACHEDA. (2007) Bases para la gestión del patrimonio arqueológico dentro del área protegida Cerro Verde. Laboratorio de Patrimonio. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- GÓMEZ, G. 2022. Formulario de Estudio Arqueológico Rápido: Proyecto Seminario Redemptoris Matter. Documento inédito. Secretaría Técnica Nacional Ambiental. Costa Rica, San José.
- _____. 2022. Informe de evaluación arqueológica Seminario Redemptoris Matter, Santo Domingo, Heredia. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.
- GUTIÉRREZ, M. 1986. Interpretación preliminar de los rasgos “tumba de botella” del sitio CENADA. En: *Journal of the Steward Anthropological Society* 14 (1-2): 255-268.
- GUTIÉRREZ, M. Y GUERRERO, J.V. 2000. Propuesta Rescate Arqueológico en terrenos de la Urbanización Quizargo, Santo Domingo de Heredia. Documento inédito: Depto. Antropología e Historia Museo Nacional de Costa Rica.
- HATCH, M. y D. CASTILLO. 1984. *Un método simplificado para la clasificación cerámica en arqueología*. Nacxit. Escuela de Historia, Universidad de San Carlos, Guatemala.
- HERNÁNDEZ, M. 2002. Análisis morfotecnológico de las colecciones líticas lasqueadas, picadas y pulidas recuperadas por el Proyecto Arqueológico Carretera Ciudad Colón – Orotina. Informe final: Proyecto Arqueológico Carretera Ciudad Colón – Orotina. Documento inédito, Consejo Nacional de Concesiones, San José.
- HERNÁNDEZ, A. y V. NOVOA. 2004. Análisis del contexto arqueológico del sitio El Pital (A-150 EP), fase Pavas (300 a.C. - 300 d.C.), cuenca media del Río Virilla, Alajuela, Costa Rica. Practica dirigida para optar al grado de Licenciatura en Antropología con énfasis en Arqueología, Escuela de Antropología y Sociología, Universidad de Costa Rica, San José.
- HERRA, E. 1979. Sitio Santa Elena. Diario de campo. San José: Museo Nacional de Costa Rica. Manuscrito inédito.
- HERRERA A. 2019. Plan de gestión integral del patrimonio arqueológico del cantón de La Cruz Proyecto Apropiación Positiva del Patrimonio Arqueológico del Cantón de La Cruz B6A45. Vicerrectoría de Acción Social Universidad de Costa Rica.
- HIDALGO, T. 2004. Evaluación arqueológica del sitio Beneficio Turnón, sector Leyenda Dorada, Santo Domingo, Heredia. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.
- _____. 2010. Informe de evaluación arqueológica del Asilo de Ancianos de Santo Domingo de Heredia, sitio Vigui H-86 Vg. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.
- _____. 2012. Informe de evaluación arqueológica Proyecto Ampliación del Centro de Distribución en Santo Domingo de Heredia. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.
- _____. 2014. Informe de la evaluación arqueológica del Proyecto de Parqueo, Colegio International Christian School, sitio Anselmo, Santo Domingo de Heredia. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.
- HIDALGO, T. Y M. CALVO. 2000 Informe de evaluación arqueológica del Proyecto Parqueo San Gerónimo, sitio Miramontes, Heredia. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.
- HOLDRIDGE, L. (1982). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, IICA. Costa Rica, San José.

- HOOPES, J. 1984. A preliminary ceramic sequence for the cuenca de Arenal, cordillera de Tilarán región, Costa Rica. En: *Vínculos* 10 (1-2): 129-147.
- _____. 1987. Early Ceramics and the Origins of Village Life in Lower Central America. Ph.D. dissertation, Harvard University. University Microfilms, Ann Arbor.
- _____. 1994a. Arqueología del Guanacaste Oriental. En: *Vínculos* 18-19 (1-2): 69-90.
- _____. 1994b. Ceramic analysis and cultura history in the Arenal area. En: *Archaeology, volcanism, and remote sensing in the Arenal región, Costa Rica*, Editado por P.D. Sheets y B.R. Mckee: 158-210. Austin: University of Texas Press.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. 1981. Hoja Cartográfica ABRA 3345-I, Escala 1:50.000. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, IGNCR. Costa Rica, San José.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA. 2008. Atlas ITEC. Biblioteca José Figueres Ferrer. Costa Rica, San José.
- KRIEGER, A. 1944. The Typological Concept. En: *American Antiquity* 9 (3):271-288.
- LA GACETA N° 12. 1982. Ley Sobre Patrimonio Nacional Arqueológico N°6703. En: *Conociendo Nuestro Patrimonio*. Boletín del Museo Nacional de Costa Rica. 19 de enero 1982, San José.
- LA GACETA N°202. 1999. Decreto Ejecutivo N° 28174-MP-C-MINAE-MEIC, Alcance 78. En: *Conociendo Nuestro Patrimonio*. Boletín del Museo Nacional de Costa Rica. 19 de octubre 1999, San José.
- LEÓN, M. 1999. *Informe Final Evaluación Arqueológica Urbanización Los Cafetos. La Aurora, Heredia, sitio Finca Mayorga (H-53 FM) "Conociendo a la Gente Pavas". Documento inédito. Departamento Antropología e Historia, Museo Nacional de Costa Rica, San José.*
- _____. 2001. *Rescate arqueológico Urbanización Quizarco, Santo Domingo de Heredia, sitio Vigui H-86 Vi. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.*
- _____. 2000. *Conociendo a la Gente Pavas. Rescate Arqueológico del Sitio (H-53-FM) Finca Mayorga Sector Los Cafetos. La Aurora, Heredia. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.*
- _____. 2006. *Proyecto Barreal, sitio arqueológico CENADA (H-26 CN), Sector Guaría. Ulloa, Barreal, Heredia. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.*
- _____. 2007. *Informe final de rescate. Terrenos de reserva de PIMA - CENADA. Sitio CENADA (H-26 CN). Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.*
- _____. 2015. *Informe Final: Evaluación Arqueológica Proyecto Parque Industrial La Valencia, Sitio Arqueológico Tururúm (H-157 Tu). Ubicado en Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.*
- _____. 2021a. *Informe Final: Evaluación Arqueológica, Monumento (Castella H 140 Ca), Sector 1 Área con estructura de cantos rodados y Sector 2, Reubicación del Poliducto. Proyecto Diseño y Construcción de las Obras Impostergables (OBIS) Lote 1 Línea 5. Conector Barreal – Castella. Carretera San José – San Ramón. Distrito Asunción, Cantón Belén, Provincia de Heredia. Documento inédito. Secretaría Técnica Nacional Ambiental. San José, Costa Rica. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.*
- _____. 2021b. *Formulario de inspección D-1, estudio arqueológico rápido, Proyecto Bodegas de Alquiler, Santa Rosa, Santo Domingo de Heredia (29 de abril 2021).*
- _____. 2022. *Principales características de la fase Heredia (800-1200 d.C.). En: Memoria del ciclo de conferencias Región Arqueológica Central, Redefiniendo Heredia y Madera (800-1200 d.C.). Centro de Investigaciones Antropológicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.*

- LEÓN, M. y S. SALGADO. 2002 Los desarrollos sociales de la fase Pavas (300 a.C. –3 00 d.C.) en el sector occidental del Valle Central. En: *Vínculos* 27 (2002): 2–18.
- LEÓN, M; A. ACHÍO y E. ODIO. 2001. Rescate arqueológico urbanización Quizarco, Santo Domingo de Heredia. Sitio Vigui (H-86 Vg). Documento inédito. Departamento de Antropología e Historia, Museo Nacional de Costa Rica, San José.
- LOTHROP, S. 1926. *Pottery of Costa Rica and Nicaragua*. 2 vols. Contributions from the Museum of American Indian 8. Heye Foundation, New York.
- MASSEY, H. 2002. Industrias líticas picadas – atrisonadas del Valle de Turrialba, con inclusión de algunos artefactos lasqueados de la era cerámica. En: *Arqueología del área de influencia del proyecto hidroeléctrico Angostura, Valle de Turrialba*: 272-314. Vázquez, R. (ed.) Convenio ICE-MNCR.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y ENERGÍA. 2006. Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA)– Parte II y Parte IV. Guía para la elaboración de instrumentos de EIA y procedimiento de valoración de impactos ambientales. Decreto Ejecutivo N° 32712 y N° 32966-MINAE. Costa Rica, San José.
- MONGE, G. 2012. Informe Final: Evaluación de los recursos arqueológicos del terreno destinado al Nuevo Centro de Control de Energía, San Miguel de Santo Domingo de Heredia. *Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José*.
- MURILLO, M. 2011. Precolumbian Social Change in San Ramón de Alajuela, Costa Rica. En: *University of Pittsburgh Memoirs in Latin American Archaeology* N° 22. Center for Comparative Archaeology, University of Pittsburgh, Pittsburgh.
- _____. 2016. La organización de las sociedad antiguas del Área central de Costa Rica: una perspectiva desde la obra de Aguilar Piedra hasta nuestros días. En: *Vínculos*, 39 (1-2): 27-42.
- MUSEO NACIONAL DE COSTA RICA. 2016. *Manual de normas y procedimientos para el tratamiento y el manejo de las colecciones arqueológicas con contexto*. Julio César Sánchez, coord. -- 1ed -- . San José, Costa Rica.
- _____. (14/02/2023). *Base de Datos Orígenes de Sitios Arqueológicos (Base de Datos)*. Recuperado de: <http://origenes.museocostarica.go.cr/miCuentaDetalle.aspx>.
- NARANJO, D. 2017. Evaluación arqueológica. Condominio Real Bougainvillea, Santo Domingo de Heredia, Heredia. San José. Museo Nacional de Costa Rica. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.
- NAVARRETE, A. 1899. *Las necrópolis de San Juan*. En: *Informe del segundo semestre y fin de año económico 1898 a 1899*. Juan Fernández Ferraz: 29-51. Museo Nacional de Costa Rica. *Tipología Nacional*. San José, Costa Rica.
- NOVOA, V. 1998. *Doña Lola: un asentamiento prehispánico de la fase Pavas (300 a.C.- 300 d.C.)*, Belén, Heredia. Documento inédito. Departamento de Antropología e Historia, Museo Nacional de Costa Rica, San José.
- ROBLES, J. 1990. *La Secuencia cerámica de la región de Cobá, Quintana Roo*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, D.F.
- ROJAS, M. 1990. Informe de trabajo de campo Sitio El Rincón (A-19-ER). Documento inédito. Museo Nacional de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- _____. 1991. *Excavación y análisis preliminar del sitio INBIO (H-44 I)*. Manuscrito, Departamento de Antropología e Historia, Museo Nacional de Costa Rica, San José.
- ROJAS, M. y F. SOL. 2022. *El pasado oculto bajo la ciudad: de una cronología cultural a una 56 interpretación antropológica de la historia antigua entre 1000 a.C y 1550 d.C. en la cuenca del Río Virilla, Valle Central, Costa Rica*. *Cuadernos de Antropología*. 32 (2).

- SALAS, U. 2022. *Informe Final: Rescate arqueológico en un sector del sitio Manzana de Agua (H-201 MA), Santo Domingo de Heredia. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.*
- SALAZAR, Y. 2015. Evaluación arqueológica sitio Barquero (H-164 Br), Santo Tomás de Santo Domingo de Heredia. *Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.*
- SÁNCHEZ, M. 2002. Entre dos ríos: Un acercamiento arqueológico al cantón de Belén y los distritos de San Rafael y la Guácima del cantón central de Alajuela. Tesis de Licenciatura en Arqueología, Escuela de Antropología y Sociología, Universidad de Costa Rica, San José.
- SANCHO, V. 1985. Estudio del proceso de deterioro de las estructuras arquitectónicas: caso centro histórico Santo Domingo de Heredia. Tesis de grado en arquitectura. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- SNARSKIS, M. 1978. The Archaeology of the Central Atlantic Watershed of Costa Rica. Tesis de Doctorado, Department of Anthropology, Columbia University.
- _____. 1979. El Jade de Talamanca de Tibás. En: *Vínculos* 5 (1-2): 89-107.
- _____. 1983. *La cerámica precolombina en Costa Rica*. Instituto Nacional de Seguros. Costa Rica, San José.
- SOL, F. 2004. Evaluación arqueológica del terreno a impactar por la construcción del nuevo campus del Colegio Lincoln, San Miguel de Santo Domingo, Heredia. *Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.*
- SOLÍS, Ó. Y J. ARTAVIA. 1996. Evidencia de una aldea prehispánica de la fase Pavas (300 a.C. - 300 d.C.) en Pozos de Santa Ana. Resultados preliminares: excavación arqueológica de rescate en el sitio La Cubilla (SJ-54LC) (operación 3). Documento inédito. Departamento de Antropología e Historia, Museo Nacional de Costa Rica, San José.
- TOSI, J. 1969. *Mapa ecológico de Costa Rica. Según Zonas de vida*. L. R. Holdridge. Centro Científico Tropical. Costa Rica, San José.
- VALERIO, W. 1999. Informe de atención a denuncia INBIO, Santo Domingo de Heredia. Documento inédito. Departamento de Antropología e Historia, Museo Nacional. Costa Rica, San José.
- _____. 2013. *Rescate arqueológico sitio Pará Grande (H-172 PG). Proyecto Planta Potabilizadora de los Distritos del Este del cantón de Santo Domingo, Heredia. San José: Museo Nacional de Costa Rica. Documento inédito. Departamento de Antropología e Historia, Museo Nacional de Costa Rica, San José.*
- VALERIO, W. Y ACHÍO, L. 2014. *Rescate arqueológico sitio Beneficio Tournón / Sector Laguna (H-88 BT/SL), Santa Rosa, Santo Domingo, Heredia.* Documento inédito. Departamento de Antropología e Historia, Museo Nacional de Costa Rica. Costa Rica, San José.
- VALERIO, W. y M. LEÓN. 2001. *Rescate arqueológico sitio La Ribera (H-33 LR) área de impacto de planta industrial El Gallito segunda etapa terrenos de Tabacalera Costarricense S.A., La Ribera, San Antonio de Belén, Heredia.* Documento inédito. Departamento de Antropología e Historia, Museo Nacional de Costa Rica. Costa Rica, San José.
- VALERIO, W., V. NOVOA y A. ALFARO. 1996. Evaluación y rescate del sitio el Pital (A – 150 EP). CIDERISA. Informe de Campo. Documento inédito. Departamento de Antropología e Historia, Museo Nacional. Costa Rica, San José.
- VALERIO, W. Y A. RODRÍGUEZ. 2006. Rescate arqueológico del sitio Llorente (SJ-51 LI), Llorente de Tibás, San José. Documento inédito. Departamento de Antropología e Historia, Museo Nacional de Costa Rica. Costa Rica, San José.

- VARGAS, R. 2013 Evaluación arqueológica “Almacenadora San Francisco” sitio Tururúm (H-157 Tr) Santa Rosa de Santo Domingo, Heredia. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.
- _____2021 Informe de evaluación arqueológica Almacenadora San Francisco (fase III), sitio Tururúm (H-157 Tr), Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia. Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.
- VARGAS, R. 2013. Evaluación arqueológica del Proyecto Almacenadora San Francisco (Etapa 1 y II), sitio Tururúm, Santo Domingo de Heredia. *Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.*
- VARGAS, R. Y F. SOL. 2012 Evaluación arqueológica de los terrenos del Proyecto Campo Santo La Piedad sitio H-171 LC, Santo Domingo de Heredia. Informe presentado a Comisión Arqueológica Nacional, San José.
- VÁZQUEZ, R. 2021a. Evaluación II de zonas con rasgos culturales en el Proyecto Condominio Vistas de Bougainvillea, sitio Manzana de Agua (H-201 MA), Santo Domingo de Heredia. Propuesta presentada a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.
- _____2021b Evaluación arqueológica en el terreno del Proyecto Bodegas de Alquiler, sitio Tururúm (H-157 Tr), Santa Rosa, Santo Domingo de Heredia. Documento Informe presentado a la Comisión Arqueológica Nacional, San José.

4.1.7 Patrimonio histórico- arquitectónico

El Patrimonio Histórico Arquitectónico se enfoca en aquellos bienes que cuentan con un valor histórico que fue por cuestiones estructurales, arquitectónicos, históricos, sociales o culturales. Para procurar su conservación, se creó la Ley N°7555 Patrimonio Histórico-Arquitectónico que señala los sitios con declaratoria. Para el cantón de Santo Domingo se tiene un registro de seis inmuebles, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-7 Inmuebles declarados Patrimonio Histórico Arquitectónico en el cantón de Santo Domingo

N°	Nombre del inmueble	N° Decreto de la declaratoria	Época constructiva	Distrito	Coordenadas Crtm05	Propietario
1	Templo Católico Nuestra Señora de El Carmen	27493-C	1851-1900	San Miguel	9°59'22.62"N 84° 2'41.38"O	Arquidiócesis SJ
2	Casa de la Cultura (vivienda de ladrillo)	27995-C	1901-1950	San Vicente	09°59'02.85"N 84°05'05.13"O	Deralcek Sociedad Anónima
3	Cementerio Central	32290-C	1801-1850	Santo Domingo	09°58'10.93"N 84°05'18.60"O	Municipalidad de Santo Domingo
4	Escuela Cristóbal Colón	36256-C	1851-1900	Tures	09°59'21.53"N 84°03'32.00"O	Junta de educación Escuela Cristóbal Colón
5	Templo Católico Santo Domingo de Guzmán	37462-C	1851-1900	Santo Domingo	09°58'54.47"N 84°05'15.43"O	Temporalidades de la Iglesia Católica
6	Unidad Sanitaria (Área rectora de salud)	43686-C	1901-1950	Santo Domingo	10°01'08.7"N 84°07'25.4"O	Junta de Educación Escuela de Santo Domingo de Heredia.



Templo Católico Nuestra Señora de El Carmen

Época: 1851-1900

Distrito: San Miguel

Coordenadas: 9°59'22.62"N

84° 2'41.38"O



Casa de la Cultura (vivienda de ladrillo)

Época: 1901-1950

Distrito: San Vicente

Coordenadas: 09°59'02.85"N

84°05'05.13"O



Cementerio Central

Época: 1801-1850

Distrito: Santo Domingo

Coordenadas: 09°58'10.93"N

84°05'18.60"O



Escuela Cristóbal Colón

Época: 1851-1900

Distrito: Tures

Coordenadas: 09°59'21.53"N

84°03'32.00"O



Unidad Sanitaria (Área rectora de salud)

Época: 1901-1950

Distrito: Santo Domingo

Coordenadas: 10°01'08.7"N

84°07'25.4"O



Escuela Cristóbal Colón

Época: 1851-1900

Distrito: Santo Domingo

Coordenadas: 09°58'54.47"N

84°05'15.43"O

Según lo dispuesto en la Ley N° 7555, se debe procurar el mantenimiento y conservación de aquellos bienes inmuebles que cuentan con declaratoria de patrimonial por lo que cuestiones como remodelación o demolición (parcial o total) debe contar con el permiso previo del Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural, del Ministerio de Cultura y Juventud.

Aunado a lo anterior, es necesario mencionar que el mantenimiento y protección de los bienes con declaratoria no solo le corresponde al MCJ sino también es responsabilidad de las entidades públicas, sociedades o personas físicas que se encuentran registradas como propietarias de dichos inmuebles. Donde además se cuenta con el apoyo de los gobiernos locales que por medio de herramientas como de renovación urbana y zonificación de usos de suelo, pueden incluir normas para la protección de dichos inmuebles, procurando así su conservación física e histórica.

Referencias

Ministerio de cultura y Juventud. (n.d.). *Patrimonio*. Portal Patrimonio.
<https://www.patrimonio.go.cr/>

4.1.8 Cálculo del IFA uso antrópico

A continuación, se incluye un diagrama resumen del procedimiento de cálculo descrito anteriormente para el IFA antropaptitud uso del suelo.

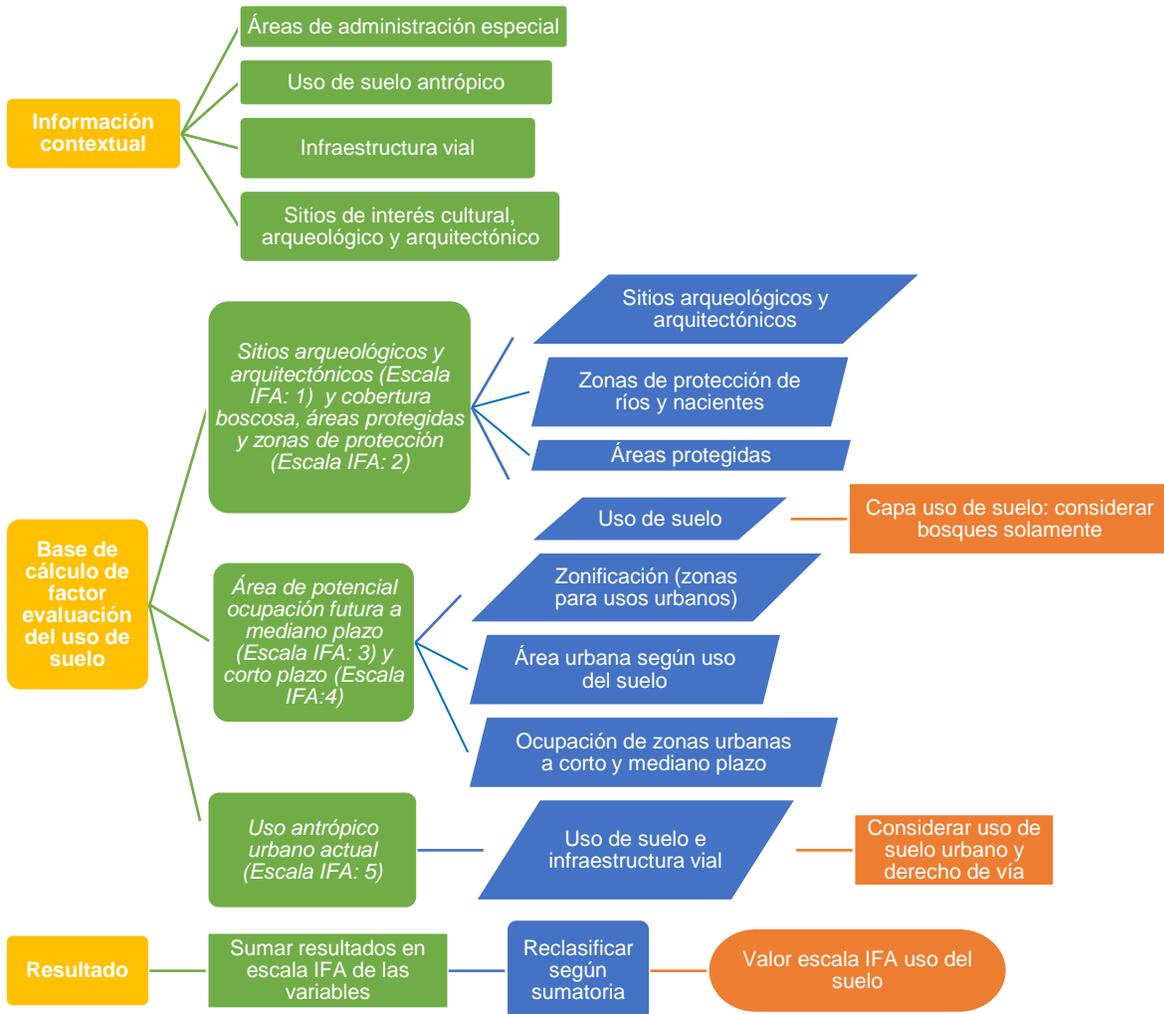


Figura 4-2. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del IFA antropaptitud uso del suelo

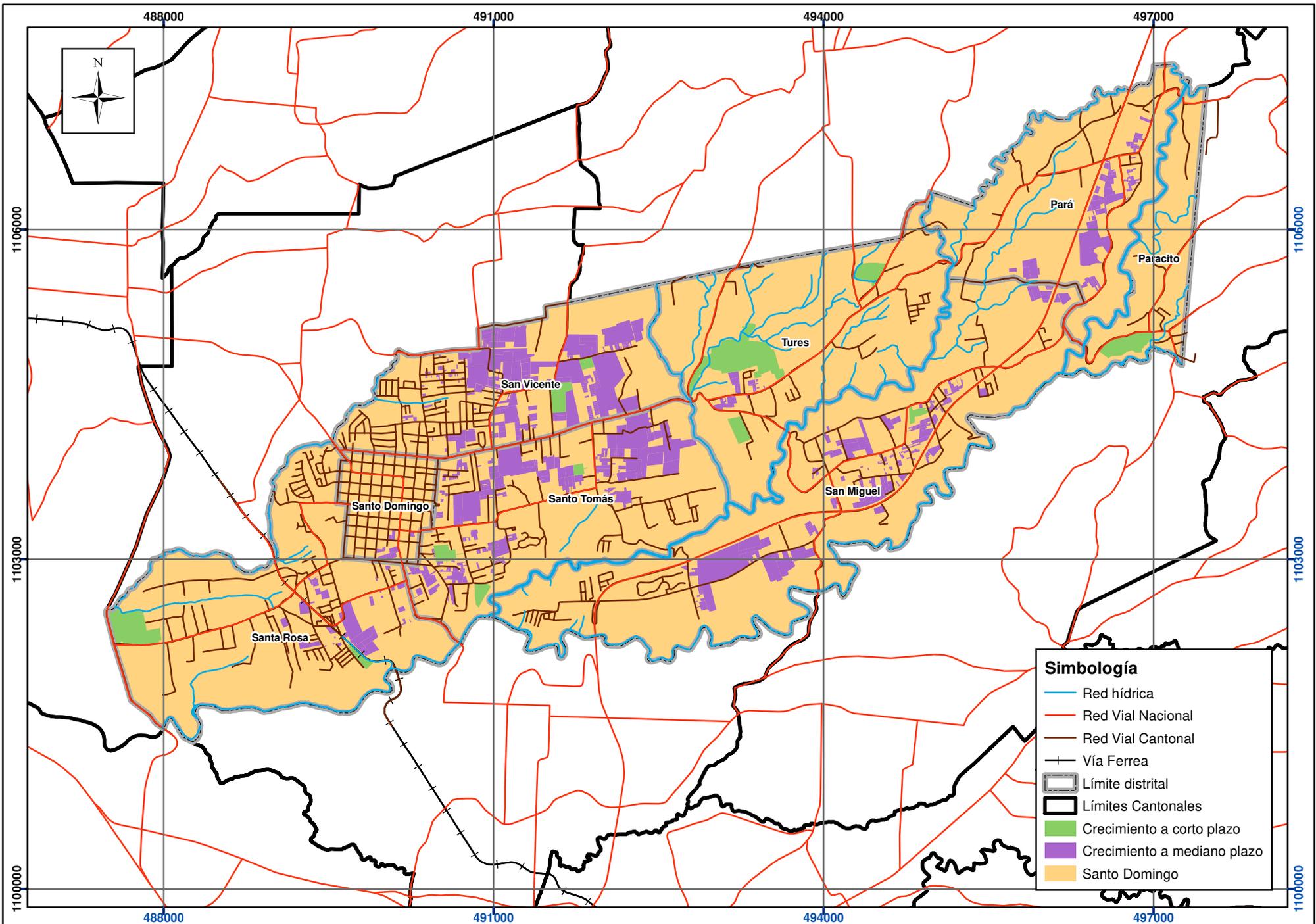
El Mapa 4.5 presenta el IFA de uso Antrópico.

Limitaciones y potencialidades técnicas

La siguiente tabla muestra las limitaciones y potencialidades técnicas para el IFA de Uso Antrópico.

Tabla 4-8. Limitaciones y potencialidades técnicas del IFA antropopitud- uso del suelo Antrópico.

IFA	Limitaciones	Potencialidades
2	En las zonas de protección de ríos y nacientes se prohíben las construcciones según la Ley Forestal y la Ley de Aguas	Protección de recursos naturales
3		Espacios de reserva para el desarrollo urbano futuro con las condiciones físicas adecuadas. Se pueden dar usos como vivienda de baja densidad, comercio pequeño, comunal, recreativo, hospedaje, agropecuario, almacenamiento inocuo, educacional básico, cementerios, entre otros.
4		Zonas que pueden ser utilizadas para absorber el crecimiento urbano en el corto plazo con menor impacto sobre el ambiente. Se pueden dar usos asociados a actividades urbanas como servicios, vivienda, comercio, entretenimiento, cultural, deportivo, educacional, investigación, cementerio, telecomunicaciones, salud, hospedaje, industria, entre otros.
5		Zonas urbanas desarrolladas, aptas para la densificación.



Simbología

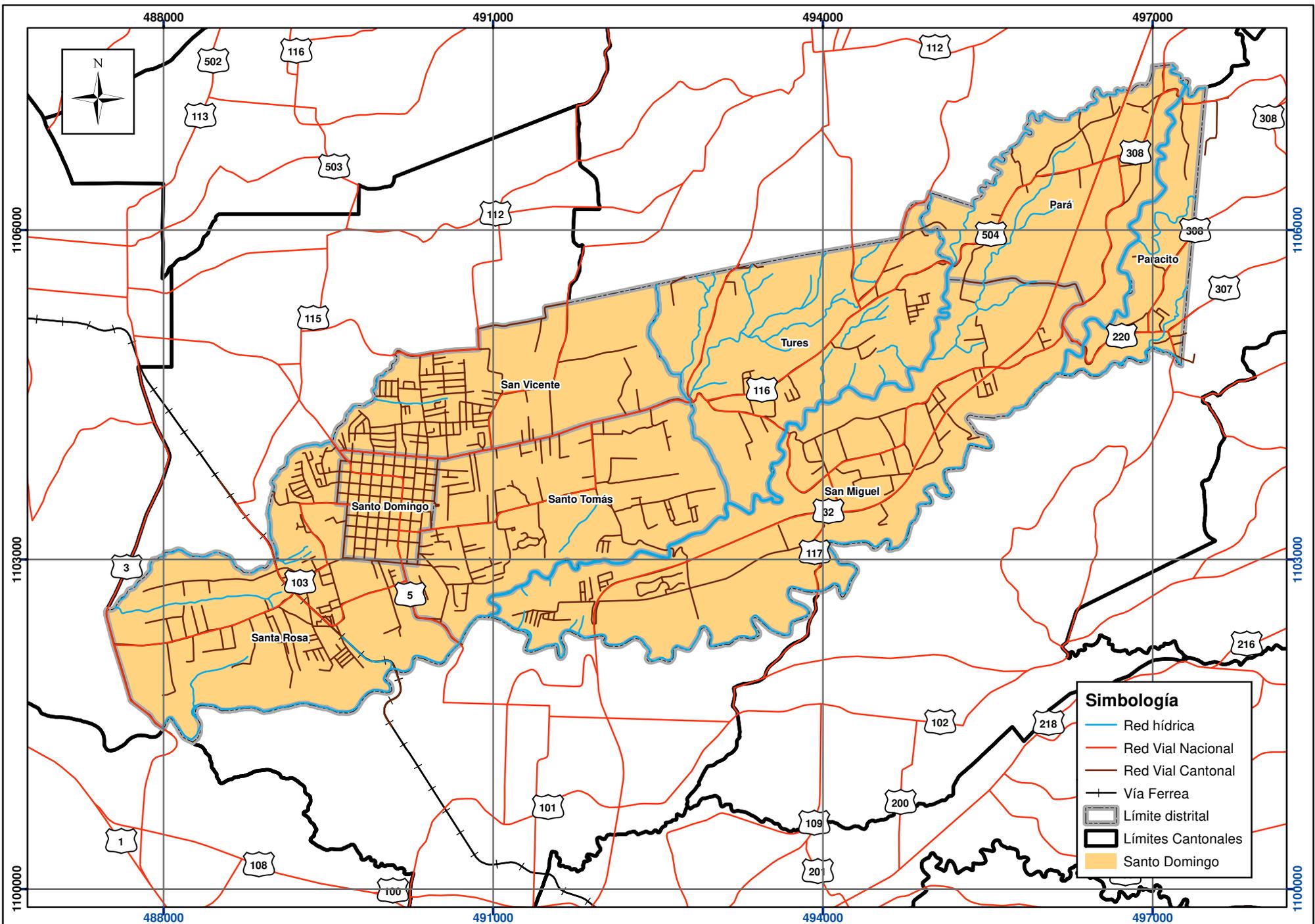
- Red hídrica
- Red Vial Nacional
- Red Vial Cantonal
- Vía Ferrea
- Límite distrital
- Límites Cantonales
- Crecimiento a corto plazo
- Crecimiento a mediano plazo
- Santo Domingo

Mapa 4.1. Antropoaptitud. Áreas de desarrollo futuro en el cantón de Santo Domingo.
 Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)



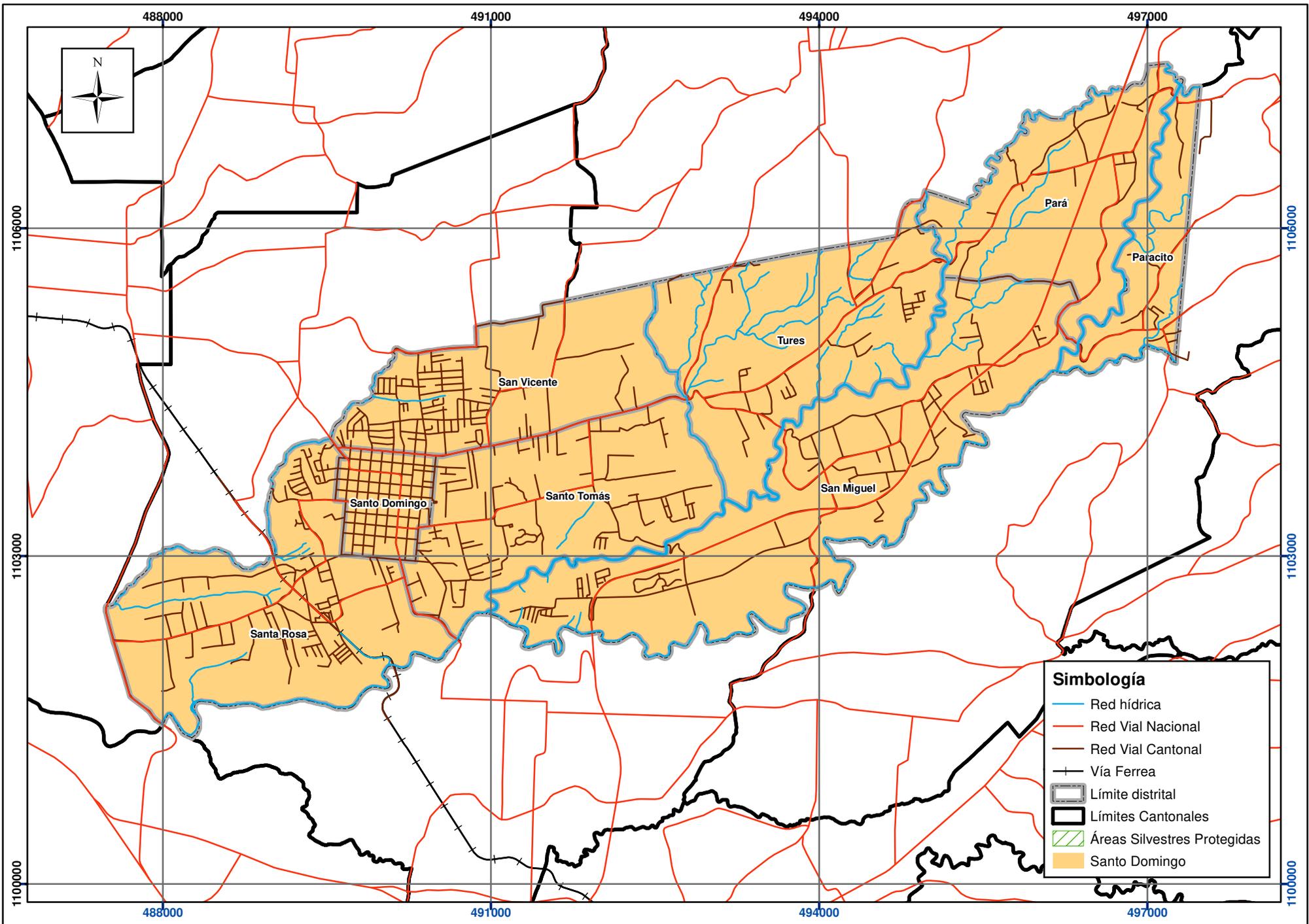


Mapa 4.2. Antropoaptitud. Red Vial en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.



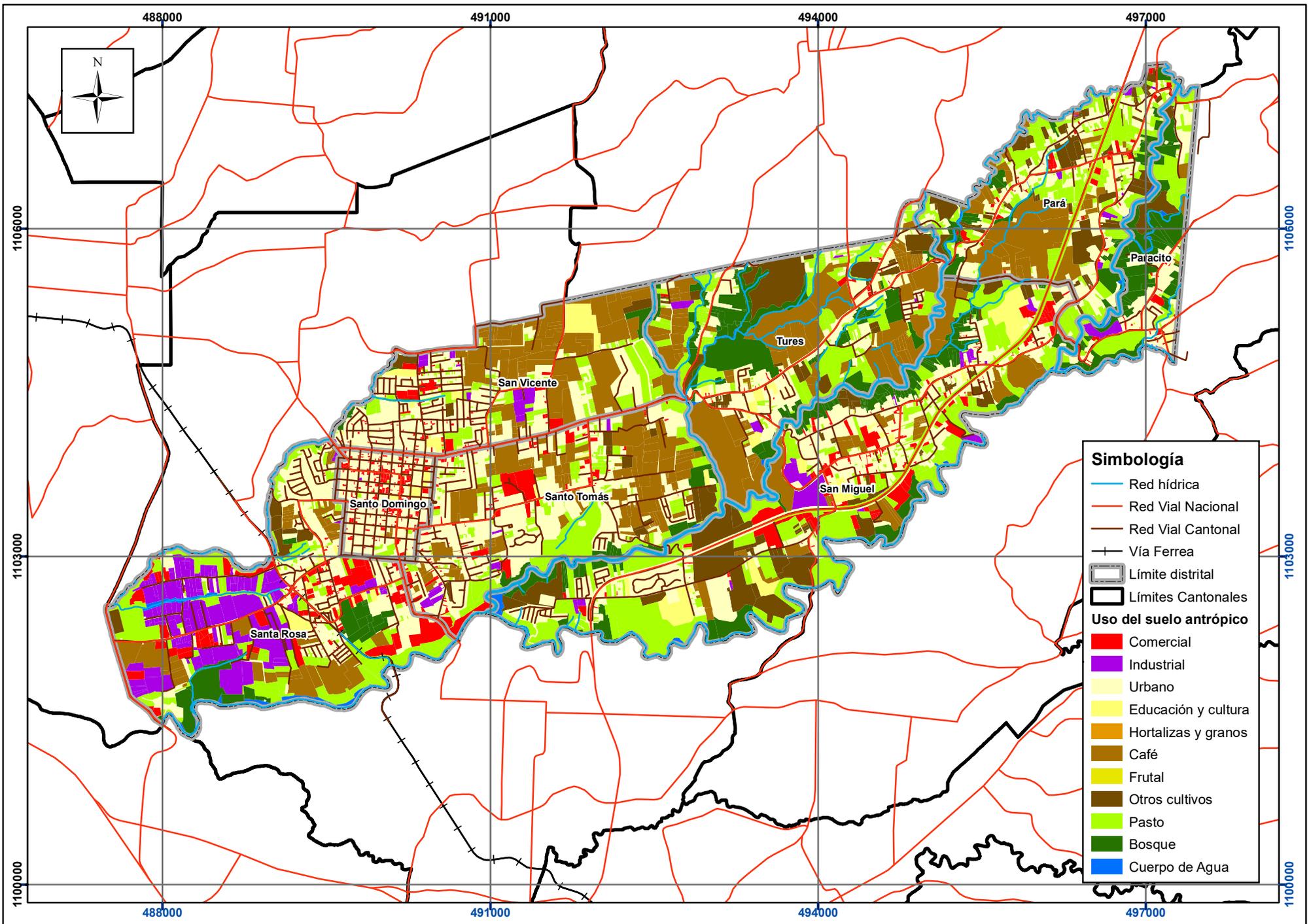


Mapa 4.3. Antropoaptitud. Áreas silvestres protegidas en el cantón de Santo Domingo.
 Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)





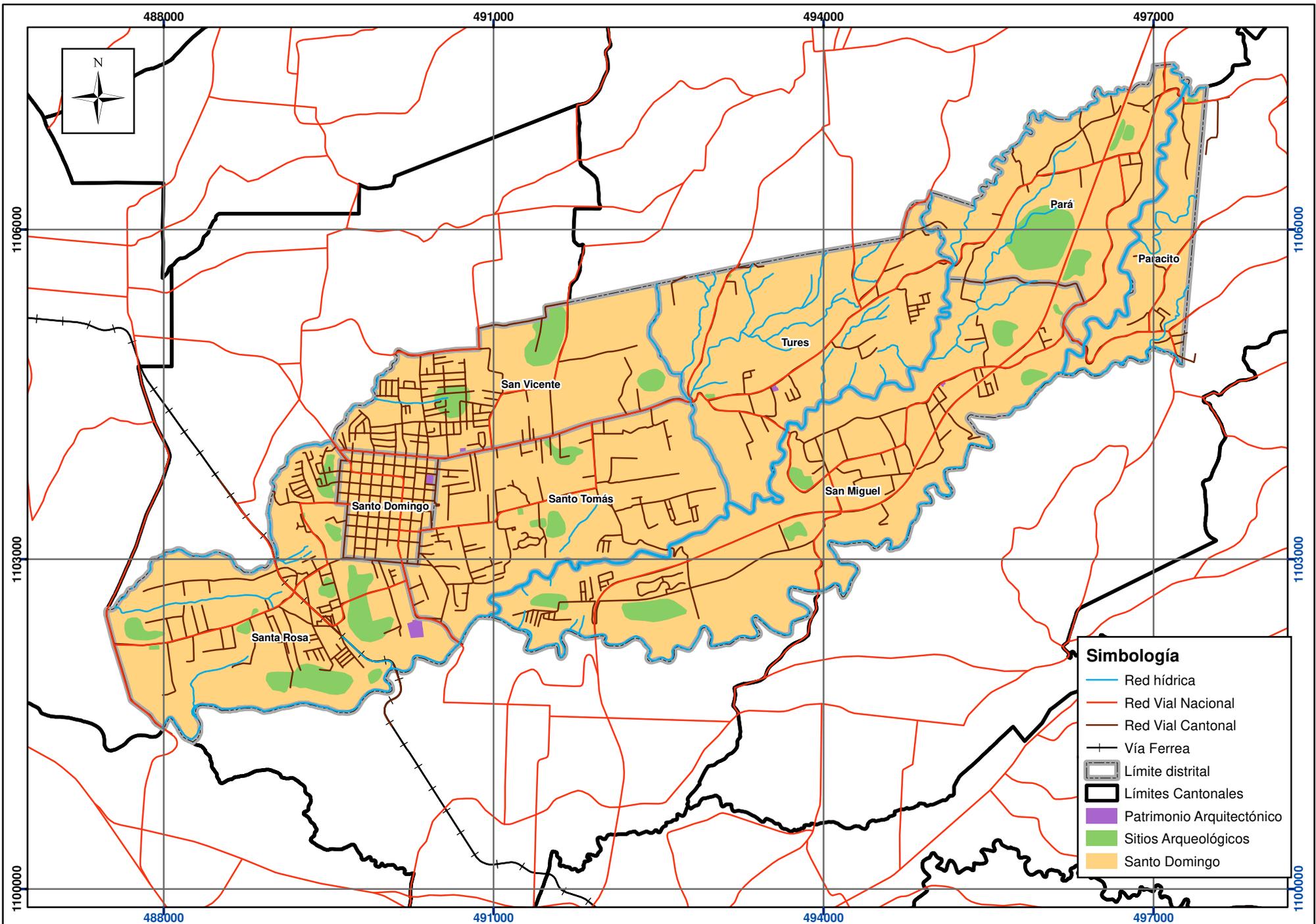
Mapa 4.4. Antropoaptitud. Uso del suelo antrópico en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
SNIT 1:25.000,
SNIT- CENIGA 2019;
ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
Escala 1:45.000
Transversal Mercator 05 (CRTM05)





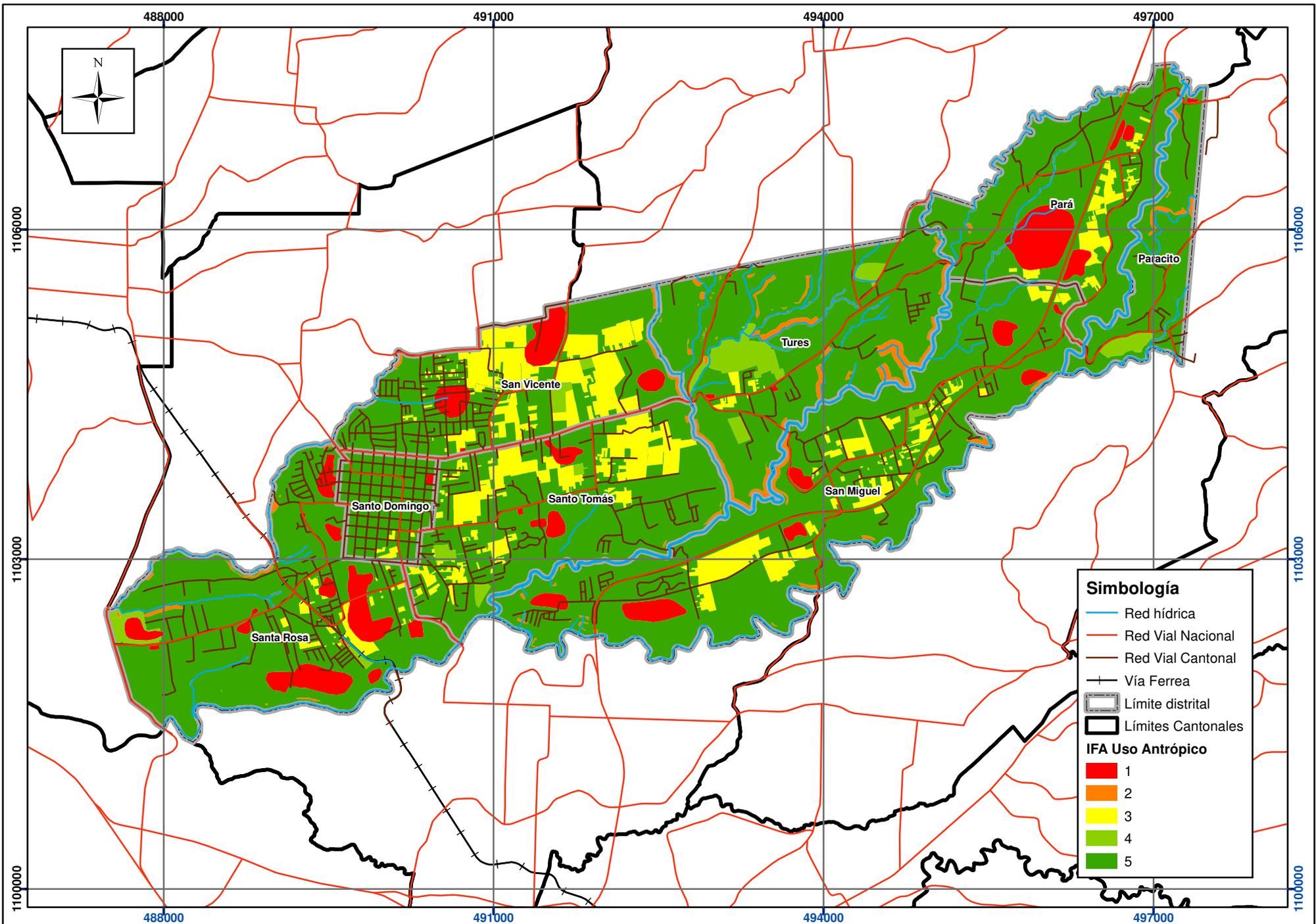
Mapa 4.5. Antropoaptitud. Patrimonio arquitectónico y sitios arqueológicos en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)





Mapa 4.6. Antropoaptitud. IFA Integrado de Uso Antrópico en el cantón de Santo Domingo.
 Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)



4.2 Paisajismo

La evaluación de la fragilidad del paisaje es uno de los componentes del IFA antropoptitud, junto con el uso del suelo, de acuerdo con el decreto N°32967-MINAE. Dicha norma estipula un método general para calcular el potencial paisajístico de un territorio específico en función de la cobertura boscosa y la ocupación humana, y el porcentaje de estos elementos que son visibles desde distintos puntos y elevaciones dadas.

La metodología contemplada en la norma se incluye en este estudio como una referencia, que sirve como marco orientativo para el desarrollo de un análisis más integral y profundo, que considera no sólo la calidad del paisaje, sino también la fragilidad y la capacidad. De tal manera que, finalmente, se obtienen resultados que pueden ser incorporados a la planificación del territorio.

Este informe contiene varios apartados, entre ellos, el contexto normativo, que refiere al esquema legal existente dado por el decreto N°32967-MINAE; el marco conceptual, que incluye un recorrido por varios conceptos considerados de interés obligatorio para lograr una mejor comprensión de la temática del paisaje, entre ellos, unidades de paisaje y cuenca visual; las tipologías de paisaje detectadas en el espacio geográfico en estudio, en este caso el cantón de Santo Domingo.

El componente del paisaje en el ordenamiento territorial es de gran importancia. Normalmente, no es un criterio de peso al elaborar los planes reguladores. Sin embargo, su incorporación puede hacer que los usos del suelo y las regulaciones asociadas respondan, en conjunto con el resto de los criterios técnicos utilizados al llevar a cabo una zonificación, al potencial del paisaje que tiene un espacio geográfico, buscando la preservación y/o el aprovechamiento de oportunidades de desarrollo en armonía con el entorno.

Contexto normativo

El decreto N°32967-MINAE, señala lo siguiente en cuanto al componente del paisaje, dentro del factor de antropoptitud:

5.11.1 Respecto al eje de aspectos antrópicos o de actividades humanas deberá integrarse la siguiente información: [...] Categorías del paisaje y en particular de los sitios de interés paisajístico establecidos por criterios tales como belleza de escenarios naturales, tradición socio-cultural, potencial de aprovechamiento turístico y balance de ocupación antrópica respecto a la condición de conservación de la textura natural del paisaje. Todo esto, respecto al criterio de experto de los profesionales responsables y de conformidad con las normas, lineamientos y regulaciones que sobre el tema de la gestión ambiental del paisaje definan las autoridades ambientales del país (ver Anexo N°1, Tabla de calificación de elementos paisajísticos, como criterio de guía).

Considerando que el Decreto señala en el Anexo II que las valoraciones dadas son orientativas y que es el profesional responsable el que debe emitir el último criterio en cuanto al proceso de valoración de la variable siempre que se busque mejorar la técnica de cálculo, se propone un procedimiento de cálculo basado en la determinación y búsqueda de

hitos en la zona de estudio y la disponibilidad visual de ellos a través de las posibilidades panorámicas. Dicho procedimiento se explica en los siguientes apartados.

Marco conceptual

Sobre el concepto de paisaje

La escogencia de una definición para el concepto de paisaje es compleja, ya que varía dependiendo la disciplina. El término se utiliza en arte, arqueología, literatura, geografía, entre otras disciplinas. Aunque existen distintas acepciones y planteamientos asociados a ellas, una de las más populares es la de la óptica de la geografía porque hace referencia a un espacio geográfico en donde se conjugan distintos factores (bióticos, abióticos y antrópicos) que, dependiendo el ojo que lo observa, pueden resultar atractivo a la vista.

La Iniciativa Latinoamericana del Paisaje (LALI, por sus siglas en inglés) es una estrategia a nivel latinoamericano que persigue reconocer, proteger, valorar, gestionar y planificar de forma sostenible el paisaje latinoamericano, a través de convenios como leyes, acuerdos, decretos, etc., en sus formas tangibles e intangibles.

La Iniciativa (2012) plantea la siguiente definición base en orden de generar instrumentos jurídicos en adelante: “el paisaje se define como un espacio/tiempo resultado de factores naturales y humanos, tangibles e intangibles, que, al ser percibido y modelado por la gente, refleja la diversidad de las culturas”. A su vez, el Convenio Europeo del Paisaje (2000) lo define como el “área, tal como la percibe la población, cuyo carácter sea el resultado de la acción y la interacción de factores naturales y / o humanos”.

Queda demostrado que ambas definiciones hacen referencia a la combinación de elementos naturales y humanos en un área o espacio particular, y a la percepción por parte de las personas sobre esos espacios. Por lo tanto, el paisaje puede evaluarse a partir de sus componentes -de forma objetiva- o bien, a partir de criterios subjetivos -tal cual lo perciben las personas-, o incluso ambos.

Cabe resaltar que, en cualquier caso, el paisaje debe ser entendido como un recurso “natural, escaso y valioso” (Muñoz- Pedreros, 2004).

Sobre las unidades de paisaje

El concepto de unidad de paisaje es uno de los más importantes en esta temática. En términos sencillos son “divisiones espaciales que cubren el territorio a estudiar” (Muñoz- Pedreros, 2004). Tales divisiones deben ser lo más iguales posible, sin embargo, la delimitación de las unidades es una tarea sensible, puesto que su definición puede verse sesgada por criterios subjetivos.

En cada unidad de paisaje existen aspectos definitorios que la determinan y pueden denominarse componentes centrales (Muñoz- Pedreros, 2004), como, por ejemplo, la vegetación o el relieve. Según la bibliografía consultada, hay diferentes procedimientos para la delimitación de estos espacios y la escogencia de uno u otro depende del criterio técnico de los expertos en relación con las características propias de la zona de estudio.

Sobre la cuenca visual (paisaje visual)

Tévar (1996) define una cuenca visual como “el conjunto de superficies o zonas que son vistas desde un punto de observación”. Los puntos de observación son aquellos sitios desde donde se aprecia el paisaje, por ejemplo, miradores, vías, etc. Se hace énfasis en que el estudio de cuencas visuales y los índices asociados son herramientas fundamentales para el análisis del paisaje visual. Un análisis de este tipo permite conocer cuáles zonas de un territorio son visibles desde un punto o grupo de puntos, y, por lo tanto, la calidad y fragilidad existente mediante la cuantificación de ciertos parámetros. Lo anterior permite establecer el potencial de desarrollo del territorio en función de la aptitud paisajística existente.

El paisaje en el ordenamiento del territorio

La integración de la variable paisajística en la planificación territorial es ambiciosa, pero necesaria. El paisaje puede considerarse un transmisor de información de un territorio. Esto debido a su valor intrínseco en todas sus dimensiones: sociocultural, físico ambiental y económico.

A nivel internacional (en Latinoamérica y Europa) existen iniciativas conocidas, entre otras, como observatorios de paisaje, que persiguen investigar, mantener y restaurar este recurso, el cual, mayoritariamente se ha visto amenazado por la implementación de prácticas antrópicas desatinadas.

En Costa Rica, la Política Nacional de Ordenamiento Territorial 2012- 2020 incluye el componente de paisaje dentro del eje estructural de calidad del hábitat, además, el Decreto en cuestión, al cual responde este documento, lo incluye como una subvariable del IFA antropoaptitud. Sin embargo, se puede afirmar que la aplicación práctica de metodologías de evaluación del paisaje, y más importante aún, el traslado de los resultados de estos estudios a la realidad del país es casi imperceptible, siendo que el desarrollo de las actividades humanas, en particular, la construcción de infraestructura, se lleva a cabo sin considerar el impacto real en términos paisajísticos.

Al ejecutar un estudio del paisaje visual se obtienen las zonas con aptitud paisajística en términos de su calidad y fragilidad, con lo cual, al contraponerlo con la zonificación general de uso del suelo de un área de estudio particular como parte del proceso de elaboración de un plan regulador, es posible definir restricciones urbanísticas (retiros, alturas, área mínima, etc.) y usos de suelo que limiten o estimulen el potencial de acogida de un sitio determinado. Al respecto: “..., el estudio del paisaje debe ser incluido en todo proyecto de desarrollo, tanto para determinar su calidad frente al ejercicio de ciertas actividades, como también para adoptar medidas orientadas a la preservación y protección del espacio natural”. (Muñoz-Pedrerros, 2004)

Tipologías o unidades de paisaje en Santo Domingo

Como lo afirma Muñoz- Pedrerros (2004), las unidades de paisaje se establecen a partir de una característica dominante que es representativa a nivel paisajístico. El primer paso para delimitarlas es determinar cuáles son estos componentes característicos en una zona de

estudio específica, en este caso el cantón de Santo Domingo. Estos componentes centrales representan esencialmente los tipos de paisaje existentes y predominantes, como la vegetación o el relieve, por ejemplo.

Es así como en Santo Domingo, para efectos de este estudio, se opta por tomar la capa de uso del suelo para determinar tales unidades o tipologías paisajísticas. Así, se identificaron 3 categorías que se exponen en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9. Tipologías del paisaje identificadas en el cantón

Tipología	Descripción
Bosque	El bosque representa un área muy limitada del cantón, en los márgenes de los ríos. Esta tipología de paisaje suele ser una de las más atractivas y determinantes en términos de la calidad visual de un territorio.
Ríos y franjas verdes asociadas	Este tipo de paisaje resulta particularmente relevante al estar inmerso en zonas boscosas o de cultivos en el cantón. En contextos rurales, enfocados en la protección de recursos naturales, los ríos, en conjunto con el bosque y las cumbres de las montañas, aportan gran calidad visual al paisaje.
Cumbres de montañas	Se definen a partir de los puntos de mayor elevación o cumbres con respecto a las áreas circundantes.

Metodología

El abordaje para valorar la calidad visual de un paisaje puede darse desde dos ópticas:

1. Lo que se observa desde un punto específico de un territorio. Es decir, un observador que se coloca en un punto y observa un paisaje determinado.
2. El sitio desde donde se observa el paisaje, es decir, el sitio de observación.

Este análisis de paisaje en Santo Domingo se hace desde la segunda óptica, es decir, se busca proteger el sitio de observación principalmente, no así “lo observado”, que ya estaría protegido por los resultados de los otros factores del IFA como el de Geoaptitud. Para esto, se parte del supuesto de que la relación de visibilidad entre los puntos de observación y lo observado es recíproca, así, desde las celdas visibles es posible también ver los sitios de observación.

Este proceso se trata de la estimación de las cuencas visuales para ciertos puntos de observación. Este análisis permite obtener las zonas que ofrecen mayor calidad visual porque tienen fuertes recursos visuales intrínsecos que las hacen atractivas al percibir las desde otros sitios de observación. De forma premeditada, se parte de que estas zonas serán ambientalmente más frágiles, por lo que los niveles de protección de usos del suelo deben ser rigurosos.

En términos generales, se obtienen las cuencas visuales a partir de un conjunto de puntos de observación asociados a algunas variables físicas como: cumbres de montañas, usos del suelo y cuerpos de agua.

Es importante considerar que la calidad visual se puede evaluar a partir de tres escalas: las características intrínsecas, el entorno inmediato y el fondo escénico. En este caso, la evaluación se centra mayormente en función del fondo escénico.

Se procura que los métodos de valoración de la calidad visual utilizados sean indirectos o al menos mixtos, reduciendo en lo posible el componente subjetivo. En la tabla a continuación se expone la descripción de los mismos.

Tabla 4-10. Métodos de valoración de la calidad visual

MÉTODOS	VALORACIÓN
Directos	<p>La valoración se realiza a partir de la contemplación de la totalidad del paisaje. Surge aquí la cuestión de la subjetividad de tales valoraciones que se utiliza para definir cuatro tipos de métodos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - De subjetividad aceptada. - De subjetividad controlada. - De subjetividad compartida. - De subjetividad representativa.
Indirectos	<p>La valoración se realiza a través del análisis de una selección de descriptores, por medio de sistemas de desagregación con o sin ponderación y métodos estadísticos de clasificación.</p>
Mixtos	<p>Valoran directamente, realizando después un análisis de componentes para averiguar la participación de cada uno en el valor total.</p>

Fuente: Aguiló y Blanco (1981)

Las etapas para evaluar el componente del paisaje para efectos de este análisis son la siguientes:

1. Inventariar componentes con potencial visual del cantón (descriptores del paisaje). Esto es, hacer una descripción de los recursos visuales predominantes a nivel cantonal. Incluye:
 - Escaneo estratégico del territorio utilizando los insumos generados en el estudio, así como la fotografía aérea.
 - Obtención de la capa de cada uno de los componentes o descriptores identificados, los cuales son: bosque, pastos, ríos, cumbres de montañas y línea de costa.
 - Superposición de capas obtenidas.
2. “Descomponer” el territorio en secciones que serían las unidades de paisaje. Estas unidades comparten características similares en cuanto a los componentes identificados en la etapa 1. Incluye determinación, delimitación y cartografía, y denominación de cada una.

Para efectos del cantón de Santo Domingo, se trabaja la totalidad del cantón como una sola unidad de paisaje. Por lo tanto, esta etapa es fundamentalmente descriptiva.

3. Valorar la calidad, fragilidad y capacidad. La calidad visual se valora mediante un análisis de visibilidad o cuencas visuales, la cual luego se traduce a términos de fragilidad según la escala IFA y, finalmente, se recomiendan algunos usos del suelo asociados a la capa resultante. En general, para valorar la calidad visual se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Para cada descriptor del paisaje identificado en las etapas previas se obtuvo un grupo de puntos o hitos (posibles sitios de observación) distribuidos aleatoriamente en toda la extensión del cantón y a partir de éstos se modeló la cuenca visual.
- A cada cuenca visual se hizo la topología respectiva en busca de mejorar los resultados.
- Sumatoria de las capas de las cuencas visuales para lo cual se lleva a cabo la normalización a partir de la reclasificación según los valores IFA y la ponderación de criterios. La ponderación de criterios determina los pesos relativos asignados a cada tipo de paisaje existente en el cantón.

Para la ponderación, se opta por utilizar el criterio técnico a partir de las pasadas experiencias de realización de IFAs. Los resultados de la ponderación propuesta se muestran en la siguiente Tabla. Se puede observar que la categoría de bosque encabeza la lista, seguida de las cumbres de las montañas y los ríos.

Tabla 4-11. Resultados de la ponderación de tipologías de paisaje

Componente	Valor
Bosque	38.67%
Cumbres de montañas	35.33%
Ríos	26.00%

Al asociar los resultados de la calidad visual con la fragilidad se parte de una correlación calidad- fragilidad, es decir que, a mayor calidad visual, mayor fragilidad. En este punto, es preciso recordar que en este análisis se busca proteger el sitio de observación, por lo que la calidad visual y, por ende, la fragilidad, es la asociada a esos puntos. El Mapa 4.6 muestra los resultados del IFA de Paisajismo.

Limitaciones y potencialidades técnicas

La siguiente tabla muestra las limitaciones y potencialidades técnicas para esta variable.

Tabla 4-12. Limitaciones y potencialidades técnicas del IFA antropaptitud- paisajismo

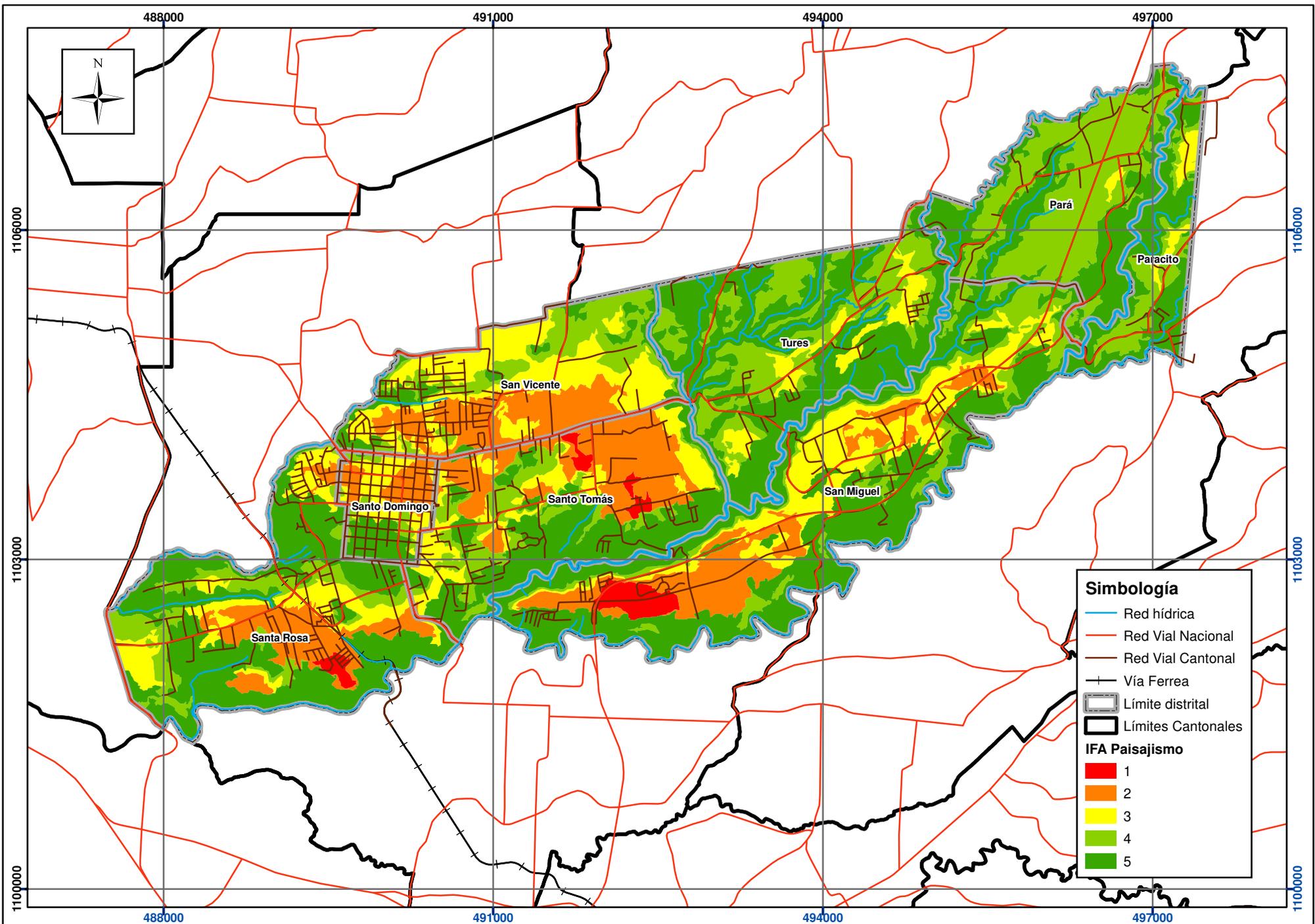
IFA	Limitaciones	Potencialidades
1	Zonas altamente frágiles en las cuales es importante la preservación de los recursos ambientales y visuales	Aprovechamiento para fines turísticos y/o recreativos.



	existentes	
2	Zonas que deben resguardarse mediante la implementación de restricciones urbanísticas rigurosas.	Belleza escénica. Potencial para fines turísticos y/o recreativos. Zonas muy valiosas ambientalmente.
3	Zonas con menor apertura visual hacia puntos de interés debido a aspectos de proximidad o presencia de obstáculos.	Eventual aprovechamiento para usos turísticos y/o recreativos.
4	Zonas con apertura visual reducida.	Aprovechamiento de recursos paisajísticos a nivel local. Menos limitantes al desarrollo urbano.
5	Zonas con apertura visual muy reducida. Poco o nulo aprovechamiento del recurso paisajístico.	Zonas destinadas a la conservación ambiental. Aprovechamiento del paisaje a lo interno de los espacios geográficos. Restricciones urbanísticas con menos limitaciones.

Referencias

- Aguiló Alonso, M., & et.al. (2014). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico 4° edición*. Madrid, España: Fundación Conde del Valle de Salazar.
- Franch-Pardo, I., & Cancer-Pomar, L. (2017). El componente visual en la cartografía del paisaje. Aptitud paisajística para la protección de la cuenca del río Chiquito (Morelia- Michoacán). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*.
- Martínez Serrano, A. (2017). Zonificación geoecológica, un criterio para la interpretación y análisis espacial del paisaje urbano de la ciudad de Morelia. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles N°73*, 343-367.
- Muñoz Pedreros, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural*, 139-156.
- Pérez Ortiz, L. (2017). Valoración de la fragilidad y calidad del paisaje utilizando un SIG caso de estudio: Santa Ana. *Trabajo Final de Graduación. Programa Maestría Profesional en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*. Universidad Nacional y Universidad de Costa Rica, Heredia.
- Vallina Rodríguez, A. (2020). Análisis de la calidad visual del paisaje del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama mediante procedimientos indirectos: EMC y SIG. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 183-215.



Mapa 4.7. Antropoaptitud. IFA Paisajismo en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)



4.3 IFA Antropoaptitud integrado

El IFA antropoaptitud integrado se obtiene de la suma y posterior reclasificación de las dos capas que incluyen valores normalizados (entre 1 y 5) de fragilidad. Se parte de que todas las variables tienen el mismo peso, por lo cual el IFA integrado es un promedio simple de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$IFA_{\text{Antropoaptitud Integrado}} = (IFA_{\text{Uso Suelo}} + IFA_{\text{Paisajismo}})$$

Tal y como se menciona en los párrafos introductorios, la sumatoria y reclasificación se ajusta a lo señalado en el decreto. Específicamente para este IFA al reunir dos variables, el valor máximo obtenible es de 10; por lo tanto, la reclasificación de la sumatoria se ajusta en la siguiente tabla.

Tabla 4-12. Categorías de reclasificación de la sumatoria para el cálculo del IFA antropoaptitud

Sumatoria de las 2 variables	Categoría	Valor reclasificado
2 – 3	Muy Alto	1
4 - 5	Alto	2
6 – 7	Moderado	3
8 – 9	Bajo	4
10	Muy Bajo	5

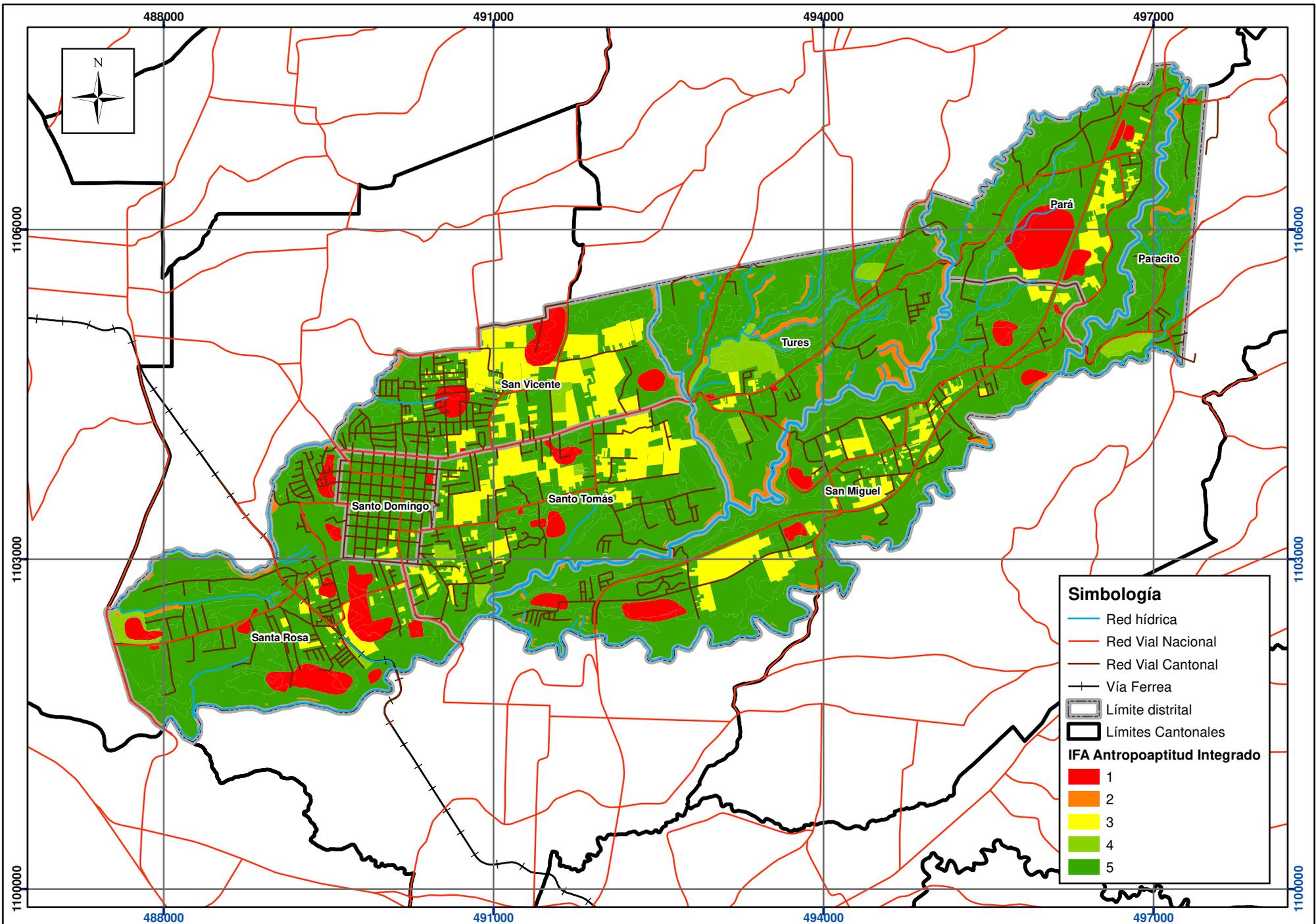
El resultado se muestra en el Mapa 4.7.

Limitaciones y potencialidades técnicas

La siguiente tabla contiene las limitaciones y potencialidades técnicas del IFA Antropoaptitud integrado.

Tabla 4-13. Limitaciones y potencialidades técnicas para el IFA antropoaptitud

IFA	Limitaciones	Potencialidades
1	Áreas dentro de la zona de protección de ríos y nacientes que además tienen alta o muy alta fragilidad paisajística.	Protección de Recursos Naturales
2	Áreas de alta o muy alta fragilidad paisajística combinadas con zonas de ocupación humana en zonas ambientalmente frágiles o zonas de ocupación humana a mediano plazo.	Protección de Recursos Naturales, principalmente en las zonas de protección de nacientes, ríos y quebradas y desarrollo urbano de baja densidad en el resto de las zonas.
3	Áreas de alta o muy alta fragilidad paisajística combinadas con zonas de baja fragilidad por uso antrópico.	Desarrollo Urbano de media densidad
4 - 5		Desarrollo Urbano de media densidad y alta densidad



Mapa 4.8. Antropoaptitud. IFA Integrado Antropoaptitud en el cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)



5. IFA Integrado

El IFA integrado se obtiene de la suma y posterior reclasificación de las cuatro capas que incluyen valores normalizados (entre 1 y 5) de fragilidad para los distintos componentes: geoaptitud, bioaptitud, edafoaptitud y antropaptitud. Se supone que todos los factores tienen el mismo peso, por lo cual el IFA integrado es un promedio simple de acuerdo con la ecuación:

$$IFA_{Integrado} = (IFA_{Geoaptitud} + IFA_{Edafoaptitud} + IFA_{Bioaptitud} + IFA_{Antropaptitud})$$

Cada uno de los componentes mostrados en la ecuación anterior toman valores entre 1 y 5, por lo tanto, su aplicación resulta en valores dentro del mismo rango. Las categorías IFA se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-1. Categorías de IFA integrado

Valor inferior de corte	Valor superior de corte	Categoría	Valor reclasificado
4	7	Muy Alto	1
8	11	Alto	2
12	14	Moderado	3
15	17	Bajo	4
18	20	Muy Bajo	5

El resultado de aplicar la ecuación se muestra en el Mapa 5.1, el cual ilustra la distribución espacial de las categorías IFA presentes en el cantón.

La representa el diagrama con el proceso de cálculo del IFA integrado.

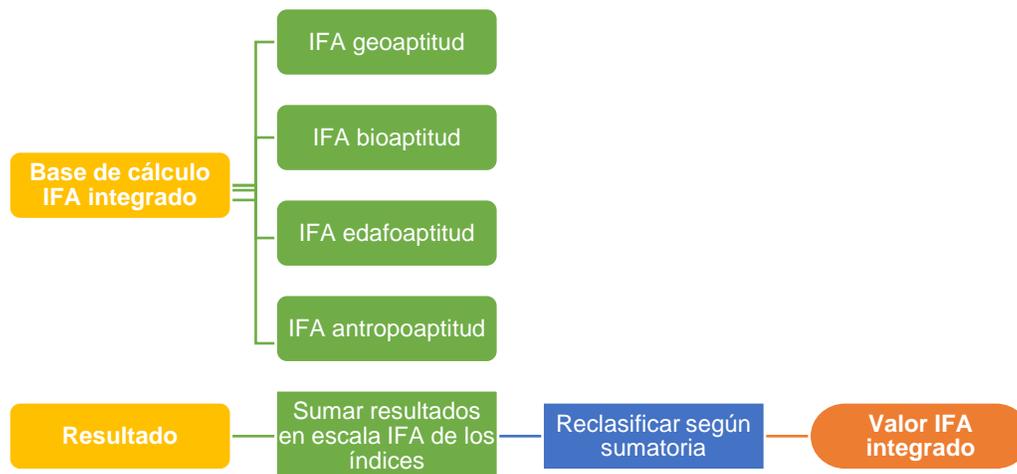


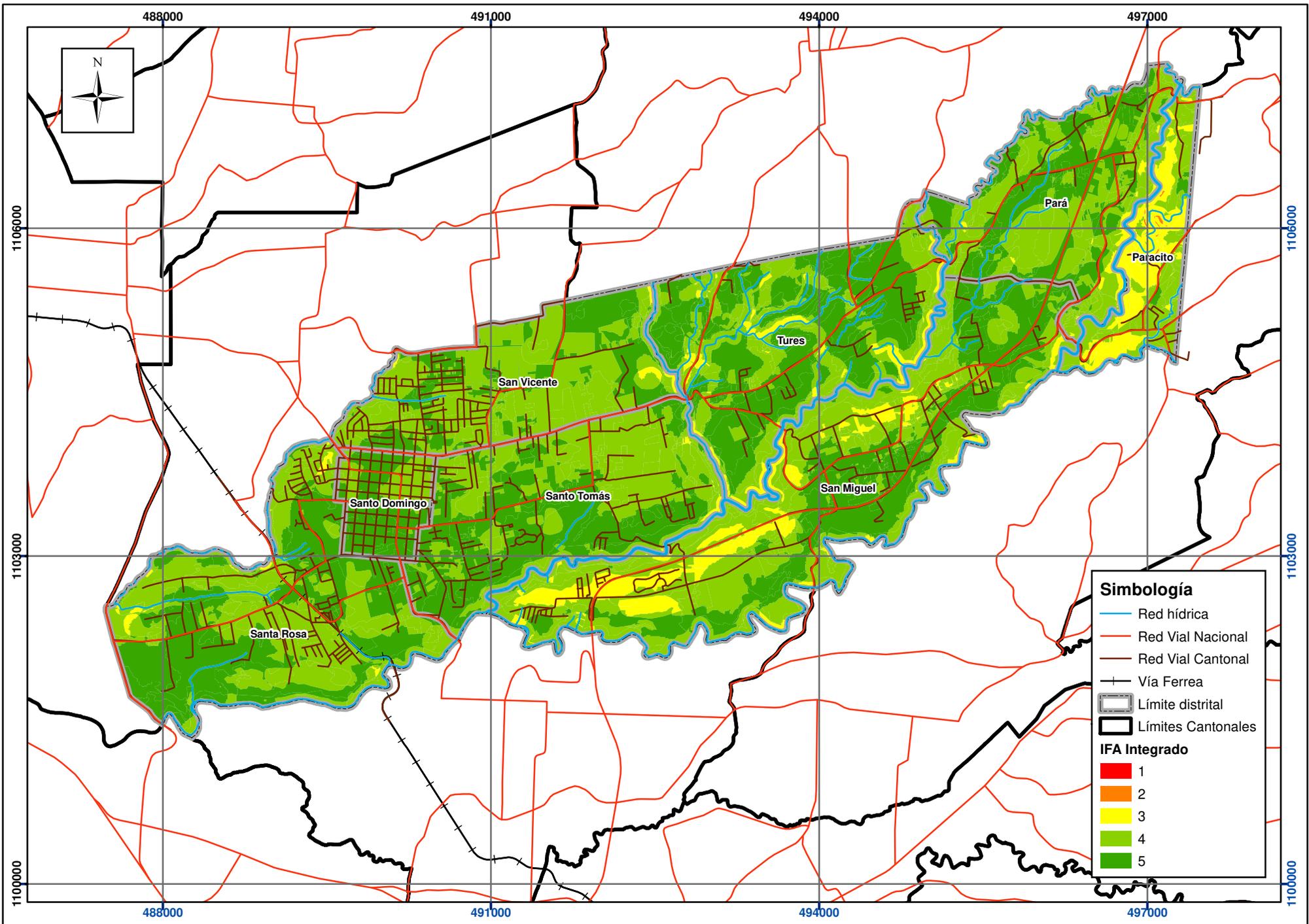
Figura 5-1. Diagrama resumen de la metodología de cálculo del IFA integrado

Limitaciones y potencialidades técnicas

La siguiente tabla contiene las limitaciones y potencialidades técnicas del IFA integrado.

Tabla 5-2. Limitaciones y potencialidades técnicas para el IFA Integrado

Valor IFA	Limitaciones	Potencialidades
2	Zonas de alta pendiente, dentro de las zonas de protección de nacientes, ríos y quebradas, con alta o muy alta fragilidad biótica y edafológica	Protección de recursos naturales y usos conexos como ecoturismo.
3	Zonas de alta pendiente, dentro de las zonas de protección de nacientes, ríos y quebradas, con fragilidad moderada o baja en las otras variables.	Protección de recursos naturales en las zonas de protección de nacientes, ríos y quebradas. Uso urbano de baja densidad Usos agrícolas.
4 y 5		Usos urbanos de mediana y alta densidad



Mapa 5. IFA Integrado. Cantón de Santo Domingo.

Índices de Fragilidad Ambiental. Plan Regulador cantonal de Santo Domingo.

Fuentes: DTA 1:5.000 SNIT;
 SNIT 1:25.000,
 SNIT: CENIGA 2019;
 ProDUS, 2023.

0 250 500 1.000 Metros
 Escala 1:45.000
 Transversal Mercator 05 (CRTM05)

