

Actualización del Plan Regulador del cantón Goicoechea



Etapa Diagnóstico | Eje Ambiental



Elaborado por: Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible ProDUS-UCR
Para: Municipalidad de Goicoechea

2020

<http://produs.ucr.ac.cr> ✉ produs@ucr.ac.cr
☎ 2511-2777



Créditos sección 6 Cambio Climático, islas de calor

Coordinación y edición:

Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D.

MSc. Félix Zumbado Morales

Asistente:

Steven Salas Quesada

Créditos sección 7 Geología

Geólogo.. José Daniel López Oviedo

Créditos sección 8 Estudio Biológico

Coordinación del equipo

MSc,. Marco Retana López .

Profesionales de apoyo

Biólogo Luis Madrigal Alfaro

Créditos sección 9 Edafología

MSc. Mario Villatoro Sánchez

Créditos sección 10 Estudio Hidrogeológico

Coordinación del equipo

Ing. Erick Orozco Orozco

Profesional responsable

Geól. Paola Alvarado Piedra

Profesional responsable GIS

Ing. Luis Paulino Rodríguez Solano

Profesionales de apoyo

Andrea Salazar Guzmán

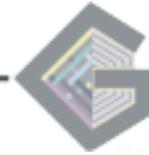
Katherine Quesada Bolaños

Créditos sección 11 Emisiones y factor Aire

Ing. Darío Vargas Aguilar

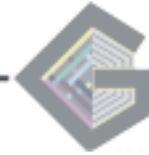
Ing. Félix Zumbado Morales

**ISLAS DE CALOR
CAMBIO
CLIMÁTICO**



Índice General

1. Introducción	1
1.1 Metodología.....	2
2. Hidrografía del cantón de Goicoechea.....	3
2.1 Caracterización del parque habitacional en Goicoechea	5
3. Población total en el cantón de Goicoechea	6
4. Demanda por recurso hídrico en el cantón	7
5. Amenazas Naturales en el cantón	10
6. Cambio climático e interacciones urbanas.....	14
6.1 Cambio climático versus crecimiento urbano y sus interacciones con agua potable y residuales	14
6.2 Cambio climático, crecimiento urbano y sus interacciones con el sector transporte/mercado inmobiliario.....	16
6.3 Crecimiento urbano versus islas de calor y arborización	16
7. Bibliografía.....	28



6.1 Cambio climático en el cantón de Goicoechea y su gestión desde el punto de vista del ordenamiento territorial

1. Introducción

El cambio climático es un factor de origen global que tiene impactos directos a nivel local, siendo uno de los temas de mayor complejidad de gestión debido a la magnitud del efecto que causa en el planeta y a la estrecha relación con los sistemas socio económicos de las naciones.

A nivel de gestión, los esfuerzos mundiales en el tema se han centrado en la generación de investigaciones sobre mitigación y adaptación, siendo este último el que tiene mayor énfasis en la actualidad.

En el tema de gestión de las ciudades, el cambio climático en gran medida se debe a las emisiones ocasionadas en las zonas urbanas por el sector transporte e industrial, específicamente por la quema de combustibles fósiles asociados con el transporte.

A nivel de impactos del fenómeno de cambio climático, las zonas urbanas están y estarán expuestas a estrés causado por el fenómeno de islas de calor, sequías que podrían generar racionamientos o carencia de agua potable para sus poblaciones, incremento en las poblaciones afectadas por fenómenos naturales como las inundaciones o los deslizamientos, daños en la infraestructura de servicios públicos, aumento de enfermedades relacionadas con vectores que podrían variar sus patrones de distribución debido a alteraciones en las condiciones climáticas, problemas de accesos a alimentos por sequías o inundaciones en zonas de producción, cambios de uso del suelo en la parte alta de las cuencas que podría generar aumento de la superficie impermeabilizada con mayor cantidad de escorrentía y erosión que puede sobre pasar la capacidad de diseño de los sistemas de alcantarillados pluviales.

Sobre este tema, Vollmann (2019) establece que “cambiando la forma en que planificamos, construimos, gestionamos y suministramos energía a nuestras ciudades y pueblos **se pueden obtener enormes beneficios** en la reducción de gases nocivos. Las ciudades bien diseñadas, compactas, transitables y con un buen sistema de transporte público reducen en gran parte nuestra huella de carbono per cápita y son esenciales para alcanzar muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, de los cuales la acción climática constituye una parte fundamental. Es urgente reducir la cantidad de dióxido de carbono producido por nuestros hogares y oficinas mediante la transición a edificios con bajas emisiones de carbono, la iluminación, la refrigeración o la electricidad. Pueden conseguirlo aumentando su eficiencia energética y utilizando fuentes de energía renovables. Las ciudades, pueblos y aldeas en desarrollo pueden construir edificios e infraestructuras muy eficientes energéticamente y diseñarlos mediante el uso de tecnologías innovadoras teniendo en cuenta el clima local.”

En lo referente al ordenamiento territorial, las medidas de adaptación que puedan incluirse en las políticas públicas dependen del marco legal de cada nación, para el caso de Costa



Rica en los Planes de Ordenamiento Territorial el tema es vinculante en regulaciones de amenazas naturales, recurso hídrico y su gestión con respecto a definición y generación de medidas para protección de zonas de recarga acuífera, crecimiento urbano y demanda de agua potable, transporte, gestión de la cobertura permitida por zona, densificación urbana, entre otros.

Complementario a las acciones que puedan darse mediante a los Planes Reguladores se deberán realizar proyectos desde los gobiernos locales que puedan cubrir los sectores que no competen legalmente a un Plan Regulador.

Acciones como el fomento de la arborización urbana y la infraestructura verde son vitales para lograr adaptarse al cambio climático, así como la incorporación de prácticas como el uso eficiente del agua y energía a nivel de hogar, certificados de construcción sostenible, fomento de la movilidad sostenible, recuperación de las zonas de protección de cauces, compostaje a nivel urbano, agricultura urbana y peri urbana, reciclaje, uso de fuentes de energía sostenible, gestión adecuada de los desechos orgánicos que son fuente de generación de metano, entre otros.

Este documento tiene como objetivo diagnosticar la relación entre el tema de cambio climático y gestión territorial en el cantón de Goicoechea.

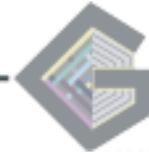
1.1 Metodología

La metodología de la investigación diagnóstica fue mixta, desarrollando parte de las herramientas del enfoque cuantitativo y cualitativo, permitiendo desarrollar una perspectiva de la realidad de mayor integralidad y basado en el análisis sistémico como eje central.

Las fuentes de información de la investigación fueron primarias y secundarias. Dentro de las bases de datos consultadas se encuentran los informes del IPCC, documentos del programa Nacional de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) de Costa Rica, análisis de fotografías aéreas para la determinación de la temperatura de la superficie terrestre y creación de mapas de calor, análisis de datos de la Comisión Nacional de Emergencia CNE), entre otros.

Se utilizaron las siguientes herramientas metodológicas de trabajo:

- Búsquedas de información en bases de datos, censos del año 2000 y 2011.
- Para el tema de mapas de calor, específicamente se utilizaron imágenes Landsat de febrero del 2019, febrero del 2000 y marzo de 1991, esto debido a la disponibilidad de las mismas y mejor escenario de cobertura nubosa de la zona de interés. Además, con esa distribución de años se podrá comparar el uso del suelo respectivo con la temperatura de la superficie del terreno obtenida.
- Uso del análisis de suelo de la zona basado en las fotografías aéreas y las corroboraciones de campo mediante giras y toma de datos con GPS.
- Análisis de los factores urbanos de vivienda, población, consumo hídrico y sus fuentes, gestión de residuos, uso del suelo, entre otros.



2. Hidrografía del cantón de Goicoechea

El cantón de Goicoechea presenta un gran reto en lo referente a la gestión de sus cuencas y cauces. Actualmente muchas de las zonas de protección de los ríos se han visto afectadas por invasiones que generan impactos negativos al ambiente, incrementando la vulnerabilidad en temas de amenazas naturales.

A nivel hidrográfico, Enríquez (2004) cita que el cantón es recorrido por los flujos de agua de los ríos Purral (al que se une el río Navarro y la quebrada Mozotal), Ipis, Durazno, Tiribí y Torres, y por las quebradas Ribera, Barreal, Cangrejos y Mozotal. Los últimos cuatro ríos y las quebradas mencionadas constituyen límites cantonales. Los cursos de agua, salvo el Torres, se originan en el este del cantón, específicamente en la ladera oeste del cerro Cabeza de Vaca y pertenecen a la cuenca del río Grande de Tárcoles. Desde el macizo del volcán Irazú, los valles parten radialmente, pero en la estrecha área del cantón, los ríos corren paralelamente y relativamente profundos. Los ríos y riachuelos han facilitado el establecimiento de población, siendo en las épocas pasadas el sustento de la actividad agropecuaria.

La deforestación o los cambios de uso del suelo pueden generar aumentos de los caudales que se depositan en los cauces, lo que ocasiona en el mediano y corto plazo que se puedan generar inundaciones por esta razón o por sobrepasar la capacidad de diseño de los sistemas de alcantarillado pluvial. Al aumentar la escorrentía los flujos de agua que llega a los cauces son mayores, esto sin adicionar que debido a efectos del cambio climático se podría generar una mayor cantidad de precipitación, lo que hará aún mayores los aumentos de caudal. Aunado a lo anterior, se identificó en el cantón una inadecuada gestión de los residuos sólidos en muchas comunidades, lo que ocasiona obstrucciones en los cauces y alcantarillas.

Finalmente, es importante mencionar el problema que se presenta por la invasión con construcciones en las zonas de protección de ríos.

Uso del suelo, sector Urbano (ciudad de Goicoechea) versus rural

El cantón de Goicoechea presenta una extensa mancha urbana, que se integra con los cantones vecinos para formar parte de la Gran Área Metropolitana (GAM), sin embargo, los cantones también tienen un sector extenso de bosques y pastos, ubicado mayoritariamente en el distrito de Rancho Redondo.

A continuación, se presenta la tabla que contiene las áreas por clasificación de uso del suelo para el cantón de Goicoechea.

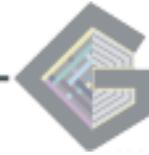


Tabla 1 . *Uso del suelo en el cantón de Goicoechea. 2019*

Categoría de uso del suelo	Area (ha)	% del total de área del cantón
Residencial	841,69	26,57
Bosque	807,47	25,49
Pastos	436,89	13,79
Pastos con árboles dispersos	404,91	12,78
Carretera pavimentada	228,05	7,20
Industrial	94,07	2,97
Otros cultivos	79,05	2,50
Charral	67,18	2,12
Café	62,46	1,97
Comercial y servicios diversos	39,79	1,26
Educación y cultura	30,36	0,96
Deporte y recreación	13,46	0,42
Otros servicios urbanos	13,19	0,42
Entidad gubernamental o pública	8,39	0,26
Parque y zona verde	8,01	0,25
Transporte y almacenaje	7,70	0,24
Frutal	5,94	0,19
Cementerio	5,89	0,19
Curso fluvial	5,73	0,18
Salud y bienestar	5,46	0,17
Botadero, relleno o tajo	1,63	0,05
Hortalizas y granos	0,64	0,02
Agua superficial	0,29	0,01
Total	3168,24	100

Los datos sobre el uso del suelo del cantón provienen de la sección de uso del suelo del diagnóstico del Plan Regulador de Goicoechea. La información corresponde al uso del año 2019, producto del análisis de fotografías aéreas y corroboración en campo.

El área total del cantón corresponde a 31,69 km², equivalente a 3168,24 hectáreas. En total, el cantón cuenta con 841 hectáreas de zona urbana. La zona urbana (residencial, comercial, industrial) del cantón de Goicoechea corresponde a un 34 % del total de área. Para los espacios no residenciales del cantón la distribución de usos es la siguiente; 25 % de bosques, 27 % del total corresponde a pastos (14 % de pastos y 13 % de pastos con árboles dispersos), 2 % del cantón posee café y un 2 % charral. El restante 8 % del cantón se distribuye en otros usos como carreteras, cursos fluviales, entre otros. Es importante destacar que un 7,1 % del cantón corresponde a carreteras (228 ha), este es un aspecto que se debe considerar en el análisis del tema de islas de calor en las zonas urbanas.



Es importante conocer estos datos de usos del suelo debido a que la expansión de las zonas impermeabilizadas y el crecimiento del sector construcción son una de las principales fuentes de afectación en los sistemas naturales, como el ciclo hidrológico. La impermeabilización genera la disminución de la infiltración del agua, por lo que se aumenta la escorrentía y según las condiciones del terreno la erosión.

El aumento o concentración de la precipitación en un menor periodo pueden ocasionar afectaciones en las dinámicas de funcionamiento de los sistemas de captación y distribución de las aguas pluviales, pudiendo aumentar los eventos de inundaciones cuando se sobrepasan los caudales de diseño del sistema.

Para las zonas rurales, otro de los elementos de importancia es la remoción de vegetación y de la flora y fauna presente en el suelo, estos elementos son de importancia como sitios sumideros del carbono, por lo que su eliminación afecta negativamente el sistema.

La demanda de zonas de expansión en la ciudad debe ir de la mano con los estudios técnicos desarrollados en un Plan de Ordenamiento Territorial que permita establecer las regulaciones y zonas en las que se debe generar una mayor densificación de acuerdo a las capacidades y limitaciones del territorio.

2.1 Caracterización del parque habitacional en Goicoechea

Según la información de la sección de vivienda del diagnóstico del Plan Regulador de Goicoechea, los censos de población de las últimas tres décadas permiten describir la estructura espacial y cuantificar el parque habitacional del cantón. En el periodo intercensal 1984-2000, hubo grandes cambios en Ipís-Purrál, parte de dinámicas regionales que afectaron a toda el área metropolitana de San José (y luego a toda la región) como consecuencia de la crisis económica de la década de 1980. Aunque algunos efectos persisten hasta hoy, es también notable cómo el cantón ha cambiado su configuración desde el punto de vista de patrones de vivienda (aunque, por ejemplo, la red vial todavía refleja las limitaciones del tipo de urbanización que ocurrió en ese periodo)

Tabla 2 . Crecimiento del parque habitacional en el cantón de Goicoechea, según información de los censos 1984,2000 y 2011

Distrito	Total de viviendas		
	1984	2000	2011
10801: Guadalupe	6460	7054	6889
10802: San Francisco	812	747	675
10803: Calle Blancos	4138	5580	5877
10804: Mata de Plátano	1708	4445	5292
10805: Ipís (límites de 1984)	5893		
10805: Ipís (límites de 2000)		6664	7483
10806: Rancho Redondo	356	648	728
10807: Purrál		6494	7585
Total	19 367	31 632	34 529



La tabla 2 muestra la cantidad total de viviendas por distrito en Goicoechea para los tres últimos censos. La cantidad de viviendas sigue los patrones del cantón de 1984: la mayoría de viviendas está en Guadalupe, Calle Blancos e Ipís. Los dos grandes cambios son: (1) en la década de 1980s, en el contexto de grandes tomas de tierras asociadas a la crisis económica del momento, una de ellas ocurrió en lo que entonces era el distrito de Ipís y ahora es Purral. Por tanto, la cantidad de viviendas que en 1984 había en Ipís se duplicó entre 1984 y 2000 (tómese en cuenta que los límites de Ipís de 1984 incluyen el distrito Ipís de 2000 más el distrito de Purral); (2) Mata de Plátano se convirtió en la zona de crecimiento del cantón y es el distrito con mayor nivel de crecimiento (si se excluye el comentado caso de Purral). Es importante mencionar que muchas de las invasiones de la zona se dieron asociadas a la creación de proyectos de vivienda formal, cuando luego de su inauguración se daban invasiones de las zonas de alrededor o incluso de áreas verdes.

En síntesis, Mata de Plátano ha sido en el siglo XXI una zona de crecimiento periurbana, Rancho Redondo una zona rural muy accesible, los distritos de Guadalupe, San Francisco y Calle Blancos son zonas de relativamente vieja urbanización e Ipís y Purral, de relativamente más reciente urbanización (asociada al particular caso de las invasiones y asentamientos, entonces informales, ahora en gran medida formalizados de la década de 1980s).

El tema vivienda se relaciona con cambio climático debido a que a mayor cantidad de viviendas en una zona se dará un aumento en la demanda de agua potable, aumentará la demanda de energía, demanda por confort climático si no se realizó el diseño con arquitectura bioclimática, se necesitará mayor arborización urbana, se podrían generar islas de calor, aumentará la demanda de gestión de aguas residuales, depende de la ubicación de las viviendas se puede dar invasión en zonas de riesgo por amenazas naturales que pueden incrementarse con cambios en el clima.

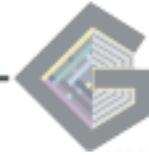
Asentamientos informales y gestión del riesgo

En el tema de Asentamientos informales, el diagnóstico del Plan Regulador presenta una sección sobre el tema, por lo que se aconseja revisar el documento para tener mayores detalles. A nivel general se puede mencionar que la gestión de estos poblados es de importancia en el tema de cambio climático debido a la demanda de servicios públicos que pueden afectarse con alteraciones del clima y al riesgo por amenazas naturales que puede ser afectado también por cambios en las condiciones climáticas.

Según información del Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH) en el año 2013 vivían 6497 personas en asentamientos informales, en 943 viviendas. Muchas de estas ubicadas en zonas con condiciones de riesgo a amenazas naturales o en zonas de protección de los cauces naturales. Eventos climáticos extremos podrían generar afectación en estas poblaciones, tanto en faltante de recurso hídrico como en eventos de inundación o deslizamientos.

3. Población total en el cantón de Goicoechea

Según la información del documento de diagnóstico para el tema de Población, para el año 2011 Costa Rica contaba con una población total que superaba los 4 millones trecientos mil habitantes, de los cuales el 2,67% corresponde a la población del cantón de Goicoechea;



entre los años 2000 y 2011 la población del cantón presentó una disminución neta de más de 2000 habitantes, como se observa en el siguiente cuadro.

Tabla 3 Población total del cantón de Goicoechea

Unidad geográfica	Población	
	Censo 2000	Censo 2011
Costa Rica	3 810 179	4 301 712
Goicoechea	117 532	115 084

Fuente: INEC, 2000-2011

Para el año 2011 la población de Goicoechea era de 115 084 habitantes y según las proyecciones de población actualizadas en el 2011 por el Centro Centroamericano de Población (CCP) y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se estima que la población para el año 2020 será de 138 525. En las estadísticas actuariales de la Caja Costarricense de Seguro Social, el cantón de Goicoechea cuenta con **136112** habitantes al 2018.

4. Demanda por recurso hídrico en el cantón

La información que se presenta a continuación corresponde a datos del diagnóstico del plan regulador, sección 1.5 Distribución de servicios públicos. Se recomienda revisar esa sección para obtener más información sobre el tema.

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados abastece el servicio de agua potable a la gran mayoría de habitantes de Goicoechea, únicamente una parte del distrito de Rancho Redondo es abastecida por la ASADA del mismo nombre.

El cantón se encuentra en la Macrozona Este, específicamente en la zona 4 de la división del acueducto de la Gran Área Metropolitana, actualmente el sistema se encuentra en estado límite, inclusive con zonas de restricción para disponibilidad de agua potable en las que es posible suplir únicamente el crecimiento vegetativo, esto en Mata de Plátano, Vista de Mar y Rancho Redondo; se estima que aproximadamente que la demanda total en el cantón es 620 l/s (Gamboa, 2020).

En la siguiente figura se observa la división de sistemas del ICAA que cubren a los distritos de Goicoechea, existen sistemas fuera del cantón que abastecen a algunos sectores de este y también hay distritos que están abastecidos por varios sistemas. En el mapa también se visualizan fuentes de abastecimiento, así como la ubicación de tanques.

En cuanto a las fuentes del sistema de abastecimiento de agua potable en el cantón se tiene la siguiente distribución (Gamboa, 2020):

- Tanto San Francisco como Calle Blancos pertenecen a la zona de operación Guadalupe, se abastecen de la planta potabilizadora de Guadalupe que se ubica en Ipís.



- El sector oeste de Guadalupe se abastece de la misma planta potabilizadora, pero el sector este pertenece a la zona de operación Moravia y utiliza la planta potabilizadora de Los Sitios de Moravia.
- Por otra parte, tanto Ipís como Purral se abastecen de tres puntos en común: las plantas potabilizadoras de Los Sitios, Tres Ríos, Los Cuadros, cierto sector al norte de Purral también se abastece de manantiales localizados en el sector de Vista de Mar.
- El distrito Mata de Plátano se abastece de la planta potabilizadora Tres Ríos, la de Los Cuadros y la que se ubica en el mismo distrito.
- Finalmente, Rancho Redondo se abastece netamente de la ASADA de la zona. Vista del Mar es abastecida por el AYA.

La distribución de las fuentes se presenta en la Figura 1, donde se observa la ubicación de las fuentes, tanques de almacenamiento y plantas potabilizadoras del cantón.

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados abastece el servicio de agua potable a la gran mayoría de habitantes de Goicoechea, únicamente una parte del distrito de Rancho Redondo es abastecida por la ASADA del mismo nombre, como se observa en la figura 1.

En la figura 1 se observa la división de sistemas del ICAA que cubren a los distritos de Goicoechea, existen sistemas fuera del cantón que abastecen a algunos sectores de este y también hay distritos que están abastecidos por varios sistemas. En el mapa también se visualizan fuentes de abastecimiento, así como la ubicación de tanques.

El análisis de las fuentes y distribución del agua potable en el cantón de Goicoechea refuerzan el postulado del análisis sistémico en los procesos de ordenamiento territorial, donde los cantones no pueden gestionarse como islas, sino que debe considerar el contexto y sus interacciones con los territorios colindantes. En escenarios de cambio climático donde el nivel local aún se está definiendo, es aún más importante ese análisis sistémico.

En cuanto a proyectos futuros, dentro de los límites del cantón el ICAA planea construir un nuevo tanque de almacenamiento, que se ubicará dentro de las instalaciones actuales de la planta potabilizadora de Guadalupe, con una capacidad de almacenamiento de 5000 m³ (Gamboa, 2020).

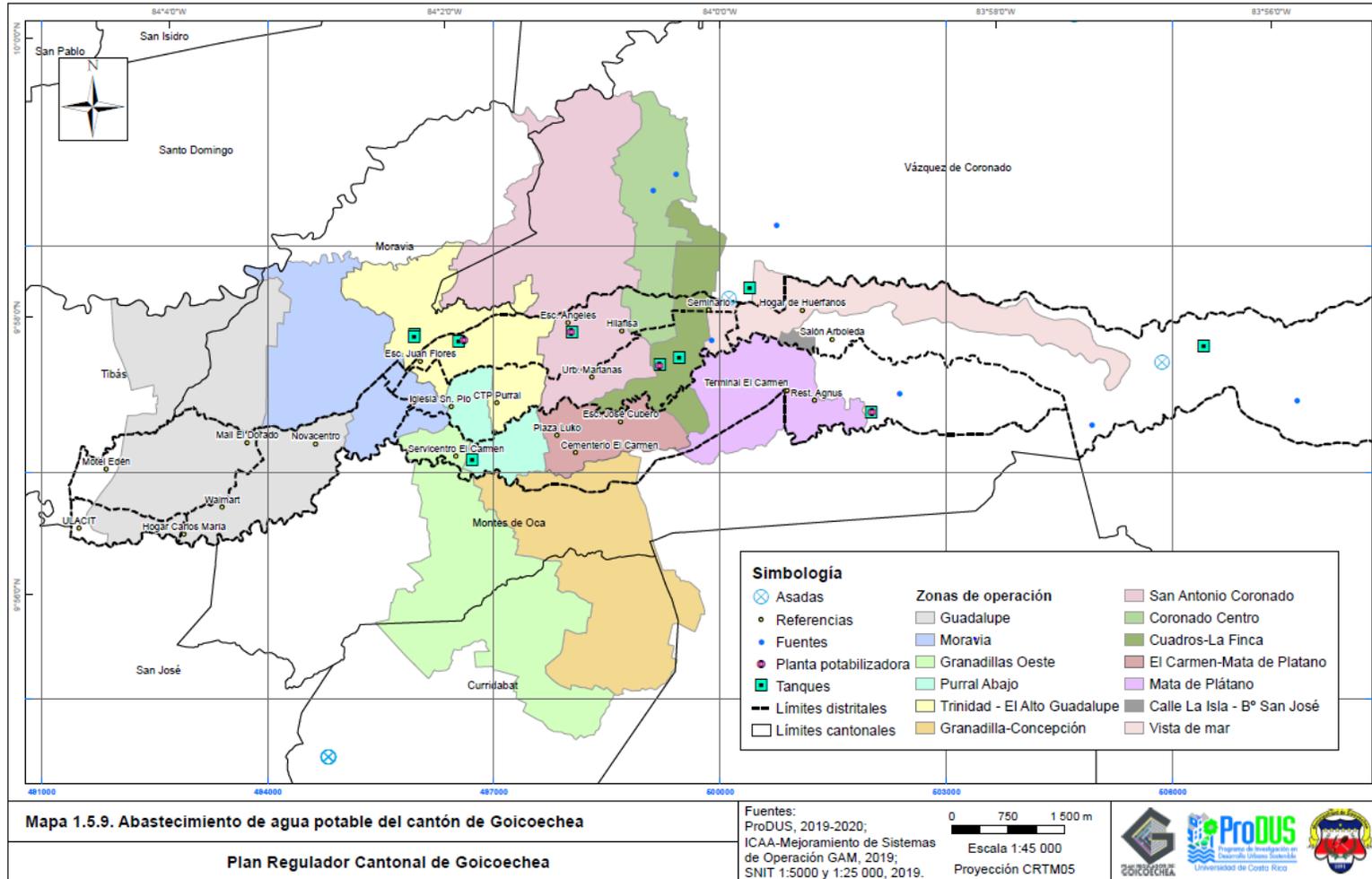
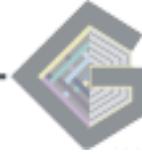


Figura 1 Abastecimiento de Agua potable en el cantón de Goicoechea.



5. Amenazas Naturales en el cantón



Figura 2. Inundaciones en el sector de La Lupita.

Fuente: Trabajo de campo, 2020

Según la información de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) El Cantón de Goicoechea posee una red fluvial bien definida, la misma cuenta con un grupo de ríos y quebradas que son el punto focal de las amenazas hidrometeorológicas del cantón, dicha red está compuesta principalmente por las quebradas Rivera, Barreal y los ríos Purral, Torres, Mozotal e Ipis.

Estos ríos y quebradas los más importantes, han disminuido el período de recurrencia de inundaciones a un año, y algunos a períodos menores, lo anterior por causa de la ocupación de las planicies de inundación, y el desarrollo urbano en forma desordenada y sin ninguna planificación. Por otro lado, el lanzamiento de desechos sólidos a los cauces, redundan en la reducción de la capacidad de la sección hidráulica, lo que provoca el desbordamiento de ríos y quebradas. Situación que se empeora por los serios problemas de viviendas cercanas a los ríos en el cantón de Goicoechea.

Las zonas o barrios más afectados entre otros y alto riesgo por las inundaciones de los ríos y quebradas antes mencionadas son: Calle Blancos, Purral Abajo, La Robert, Miraflores, Santa Eduvigis, Calle Carmen, Purral Arriba e Ipis. A continuación, se presenta el mapa de los ríos y quebradas del cantón con potencial de inundación según la Comisión Nacional de Emergencias (CNE).

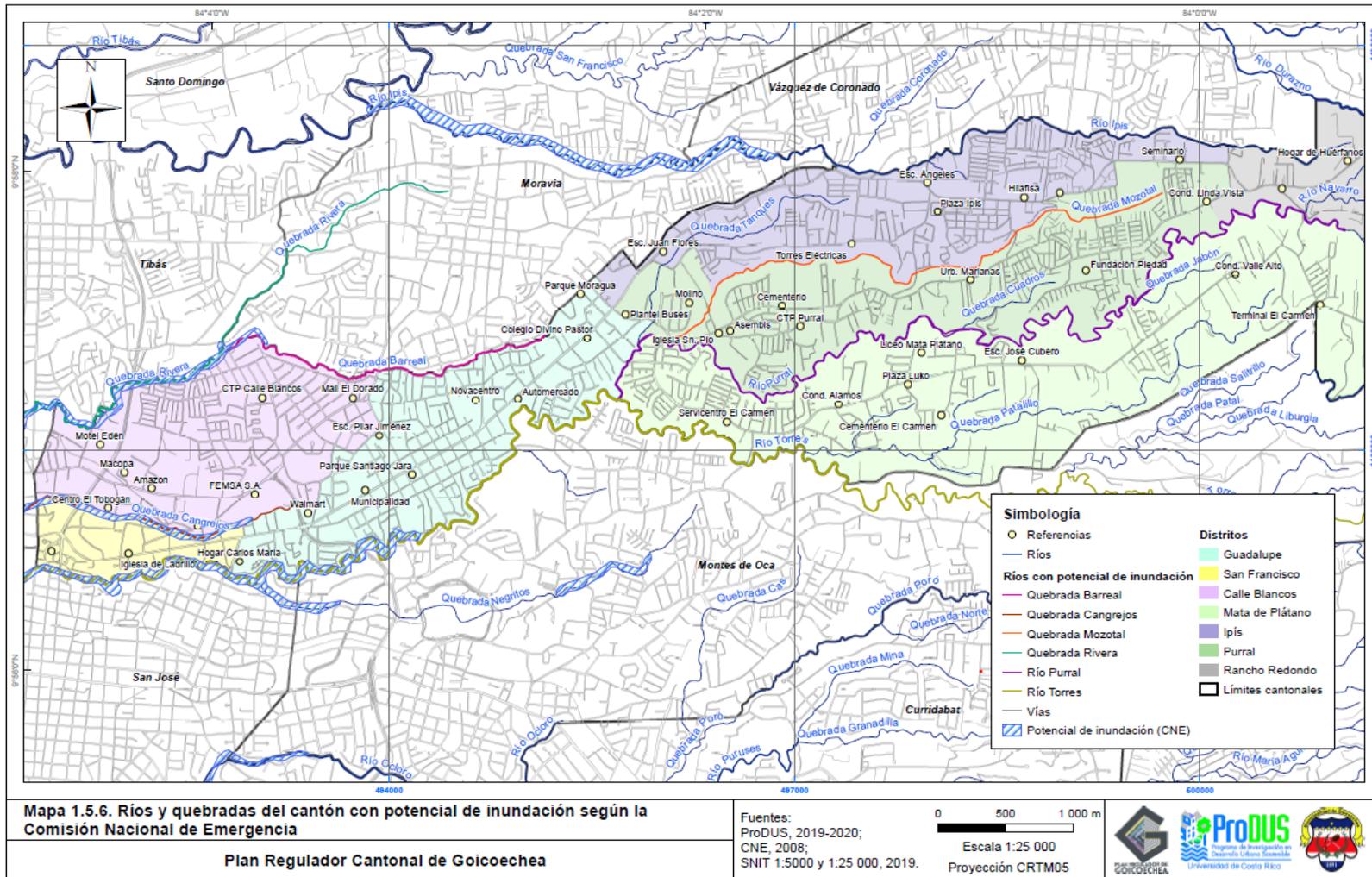
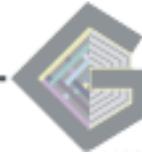


Figura 3. Ríos y quebradas del cantón con potencial de inundación según la CNE.
Fuente: Elaborado en ProDUS, 2020



En el tema de Deslizamientos, la CNE establece que El tipo de litología dominante en el cantón (cenizas), favorece la formación de laderas de muy fuerte pendiente. En estos sectores es común que bajo ciertas condiciones se presenten súbitas caídas de materiales que en algunos casos tienen consecuencias graves. Tales eventos se dan principalmente en los márgenes de los **ríos Torres, Purral, Durazno, Navarro.**

Este proceso puede ser acelerado por sismos, fuertes lluvias, socavación al pie de la ladera, rompimiento de tuberías de agua, etc.

Los efectos de los deslizamientos, podemos mencionar:

- Caminos y puentes dañados.
- Casas sepultadas
- Flujos de lodo, causadas por represamientos en ríos.

Gestión de residuos sólidos e inundaciones:

El potencial de inundación de los cuerpos de agua está directamente relacionado con la disposición de residuos sólidos aguas arriba y con la impermeabilización del espacio y el resultante aumento de escorrentía superficial. Otro factor sobresaliente es la contaminación localizada con residuos sólidos que afecta al sistema de alcantarillas y tuberías pluviales existente, condición que reduce su capacidad, y ocasiona la saturación de las secciones transversales del sistema actual.

Por ejemplo, fuera del rango de afectación directa de la quebrada La Cangreja ocurrieron inundaciones de mediana magnitud a causa de las lluvias en otras localidades del distrito Calle Blancos, durante los meses de abril y mayo 2020; en Monte limar, en la calle 41 del distrito (inmediaciones de COFASA) y en la avenida 19 (al sur de las instalaciones de FEMSA. Para mayor información se recomienda revisar la sección 1.5 Servicios Públicos en el cantón de Goicoechea.

Alcantarillado pluvial e inundaciones

También se observó en ciertos sectores del cantón otra problemática en torno al sistema de alcantarillado pluvial, y es que su capacidad en buen estado es sobrepasada por el volumen de precipitación que debe manejar el sistema, volumen que se acrecienta por el aumento de los desarrollos inmobiliarios circundantes, sin una mejora, o medida de mitigación, desarrollada.

Por ejemplo, en la siguiente figura se presenta la saturación del alcantarillado pluvial durante las lluvias, y la afección a la vía, a la acera inmediata y a las viviendas a las que sirve; esto en el barrio Las Américas del distrito Mata de Plátano. En la siguiente figura es notable el desarrollo habitacional y comercial que se ha generado en la zona.

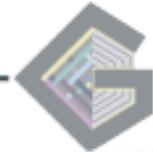


Figura 4 Saturación de componentes del alcantarillado pluvia, Mata de Plátano

Fuente: Vargas, 2019

En las inmediaciones del punto mostrado en la Figura 4 , en marzo del año 2015 existía una propiedad amplia cuyo uso de suelo era cafetal, para marzo del 2020 el cafetal se encuentra fraccionado y en él se ha desarrollado una serie de edificaciones. La precipitación que antes se infiltraba en el suelo natural del cafetal que cubría la huella de las viviendas, ahora es escorrentía superficial que se deposita en los caños y alcantarillas, los cuales presentan saturación que se agrava cuando la intensidad de precipitación alcanza niveles sobresalientes.



Figura 5 Desarrollo en sector de Mata de Plátano, mes de marzo 2015 y 2020

Fuente: GoogleEarthPro, 2020



La aplicación de medidas de mitigación relacionadas con el desarrollo constructivo, como lo es la construcción de sistemas de retención pluvial es una medida necesaria para garantizar la pertinencia de la infraestructura pluvial con la que cuenta el cantón. La Municipalidad también realiza labores de rehabilitación de infraestructura, por ejemplo, se muestra el trabajo de desbloqueo de cunetas sobre la vía 218 en Rancho Redondo.

Para mayor información se recomienda revisar la sección 1.5 Servicios Públicos en el cantón de Goicoechea.

Cambio climático y amenazas Naturales

Un clima cambiante produce cambios en la frecuencia, la intensidad, la extensión espacial, la duración y las circunstancias temporales de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, y puede dar lugar a fenómenos meteorológicos y climáticos extremos sin precedentes. Los cambios futuros en la exposición, la vulnerabilidad y los fenómenos climáticos extremos derivados de la variabilidad natural del clima, el cambio climático antropógeno y el desarrollo socioeconómico pueden alterar los impactos de los fenómenos climáticos extremos en los sistemas naturales y humanos y la posibilidad de que se produzcan desastres. (IPCC, 2012).

La gestión de las amenazas naturales desde los Planes Reguladores se realiza mediante la inclusión de aquellas zonas que han sido identificadas por la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) y aquellos estudios realizados por otras entidades con el rigor técnico necesario. Por medio de la inclusión en la zonificación se generan los lineamientos para gestionar aquellos lugares que han sido identificados con riesgos a inundaciones, deslizamientos u otros.

La alteración de los patrones climáticos puede generar afectaciones como la intensidad de lluvias en un menor periodo de tiempo, pudiendo afectar la dinámica territorial con respecto a temas como inundaciones, deslizamientos entre otros. Estos fenómenos pueden tener afectación poblacional y generar necesidad de movilización de asentamientos humanos.

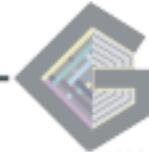
Un aspecto vital para la gestión de las amenazas naturales es la protección de las zonas altas del cantón, buscando no generar impermeabilización que puedan aumentar la escorrentía y erosión, con posibles afectaciones en las partes bajas del cantón, siendo un enfoque de reducción a la vulnerabilidad en la siguiente figura .

En el diagnóstico ambiental referente a los índices de fragilidad ambiental a presentar en SETENA se presenta también el análisis de las amenazas naturales según lo solicita la legislación nacional.

6. Cambio climático e interacciones urbanas

6.1 Cambio climático versus crecimiento urbano y sus interacciones con agua potable y residuales

La variabilidad climática puede afectar la disponibilidad del recurso hídrico de una zona, en temas de sequías o afectación de las fuentes de abastecimientos de agua potable es



importante desarrollar los estudios para estimar la capacidad de estas fuentes y las afectaciones que podría tener a futuro la gestión inadecuadas de las mismas.

Por ejemplo, los patrones de crecimiento en una zona urbana pueden aumentar la demanda del recurso hídrico en un territorio, siendo prioritario establecer la disponibilidad de agua para las poblaciones futuras, considerando que en muchos casos las fuentes de agua de una comunidad se ubican fuera del territorio del cantón, como en el caso de Atenas y las fuentes de agua en Los Chorros de Grecia, o Orotina con fuentes en el cantón de Turrubares. En el caso de Goicoechea, también se presentan fuentes de agua en zonas fuera del cantón.

Por medio de los planes de ordenamiento territorial se debe realizar el adecuado diagnóstico de la gestión del agua potable, incluyendo los estudios hidrogeológicos y los estudios de vulnerabilidad a la contaminación. La información anterior dará lineamientos generales sobre tipos de uso del suelo y regulaciones que deberán incorporarse en un plan de ordenamiento territorial para lograr disminuir el riesgo de contaminación de las fuentes de agua.

La expansión de las zonas urbanas aumentará la demanda de recurso hídrico, por lo que se debe considerar este aspecto dentro de las regulaciones de crecimiento de la cobertura de la mancha urbana o el cambio de uso del suelo de rural a urbano.

Otro de los aspectos de relevancia para el tema de gestión del recurso hídrico y cambio climático, es conservar y aumentar la cobertura arbórea de los territorios, con énfasis en aquellas partes altas de las cuencas o en zonas de recarga acuífera. En el caso del cantón de Goicoechea, es fundamental preservar las zonas boscosas existentes en el territorio, y aumentar la cantidad de cobertura boscosa en la parte alta de la cuenca, en los cantones de Rancho Redondo y un sector de Mata de Plátano.

En el tema de gestión de las aguas residuales, es importante establecer que las variaciones climáticas pueden generar mayor concentración de precipitaciones en menores periodos de tiempo, lo que podría sobrepasar la capacidad de los sistemas de alcantarillado pluvial generando inundaciones.

Este aspecto puede también desarrollarse por el cambio de uso del suelo en las cuencas altas de pastos a agrícola intensivo o de agrícola a urbano. Un ejemplo de esta problemática se presenta en el estudio desarrollado por ProDUS (2016) en el Plan de Desarrollo de Uso del Suelo de las faldas del volcán Irazú, donde los cambios de uso del suelo han generado problemas de inundación en la cuenca baja del cantón de Oreamuno.

Los diseños de caudales de los sistemas de alcantarillado pluvial deben considerar estos aspectos para lograr una adecuada gestión con respecto al crecimiento urbano proyectado.



6.2 Cambio climático, crecimiento urbano y sus interacciones con el sector transporte/mercado inmobiliario

Otro de los aspectos con una relación directa en el tema de cambio climático y el crecimiento urbano es el sector inmobiliario y transporte.

La definición de nuevas zonas de crecimiento, mayores coberturas o regulaciones de densificación en altura en un sitio aumentarán la oferta inmobiliaria en un determinado espacio. El aumento de la cantidad de suelo urbanizable genera un incremento en los flujos vehiculares desde y hacia esas zonas, siendo que la quema de combustibles fósiles es el principal generador de gases de efecto invernadero en Costa Rica, este es un factor que debe articularse dentro del enfoque de gestión del cambio climático en el ordenamiento territorial.

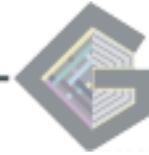
La gestión integral del transporte y la planificación de proyectos de mejora al transporte público deben considerarse como ejes prioritarios en el desarrollo del cantón.

6.3 Crecimiento urbano versus islas de calor y arborización



Figura 6 Barrio en Purral, nótese la carencia de vegetación en el entorno urbano.

Fuente: Trabajo de campo, 2020.



El tema de las islas de calor es uno de los ejes de investigación que se han generado en el campo de la investigación en cambio climático y urbanismo. Autores como Zhou et al (2019), Marando et al (2019), Renard et al (2019), Menacho y Teruya (2019), Williams (2019), Palacio (2019), Soto et al (2019) han analizado el tema en contextos como Francia, Italia, Colombia, México, Lima entre otros.

Soto *et al* (2019) establecen que “Las Islas de calor Urbano (UHI) se definen como el aumento de la temperatura de la ciudad respecto a su entorno rural, este fenómeno tiene implicaciones directas en la calidad del aire, salud pública y planeación urbana (EPA. Environmental Protection Agency, 2008). La capacidad de absorción de calor que poseen las edificaciones y el concreto durante el día, y su lenta irradiación nocturna son las variables más fuertes que determinan la anomalía térmica de la ciudad, por ello las UHI se identifican como temas centrales cuando se habla de mitigación y adaptación ante el Cambio Climático desde la perspectiva urbana (Villanueva, Ranfla, & Quintanilla, 2013). Los satélites de observación terrestre han permitido a los científicos tener una visión global de este fenómeno a través de la captura de datos climáticos, recopilados durante muchos años a escala global, revelando las señales del Cambio Climático”

Temperatura de la superficie terrestre (LST)

La temperatura en la superficie terrestre puede ser estimada a partir de cómo se absorbe, refleja o refracta el calor y la radiación del sol sobre una superficie.

El cálculo del LST se llevó a cabo mediante imágenes satelitales, a través de la información de sus bandas espectrales, divididas en diferentes intervalos de longitud de onda en el espectro electromagnético, así como los parámetros de calibración, propios de cada producto.

Específicamente se utilizaron imágenes Landsat de febrero del 2019, febrero del 2000 y marzo de 1991, esto debido a la disponibilidad de las mismas y mejor escenario de cobertura nubosa de la zona de interés. Además, con esa distribución de años se pudo comparar el uso del suelo respectivo con el LST obtenido.



Tabla 4 Tipos de bandas y longitudes de onda para las imágenes Landsat utilizadas.

Landsat-5 TM (μm)			Landsat-8 OLI / TIRS (μm)		
			30m Band 1	Coastal/Aerosol	0,43 – 0,45
Band 1	30m Blue	0,45 – 0,52	Band 2	30m Blue	0,45 – 0,51
Band 2	30m Green	0,52 – 0,6	Band 3	30m Green	0,53 – 0,59
Band 3	30m Red	0,63 – 0,69	Band 4	30m Red	0,64 – 0,67
Band 4	30m NIR	0,76 – 0,9	Band 5	30m NIR	0,85 – 0,88
Band 5	30m SWIR-1	1,55 – 1,75	Band 6	30m SWIR-1	1,57 – 1,65
Band 6	30m* TIR	10,4 – 12,5	Band 10	30m* TIR-1	10,6 – 11,19
			Band 11	30m* TIR-2	11,5 – 12,51
Band 7	30m SWIR-2	2,08 – 2,35	Band 7	30m SWIR-2	2,11 – 2,29
			Band 8	15m Pan	0,5 – 0,68
			Band 9	30m Cirrus	1,36 – 1,38

Fuente: USGS. Modificado por ProDUS, 2020.

*La resolución de las bandas del infrarrojo térmico es de 120m (Landsat 5) y 100m (Landsat 8), pero estas se vuelven a muestrear a píxeles de 30m.

Metodología

Existen varias metodologías para realizar el cálculo, la utilizada se muestra a continuación:

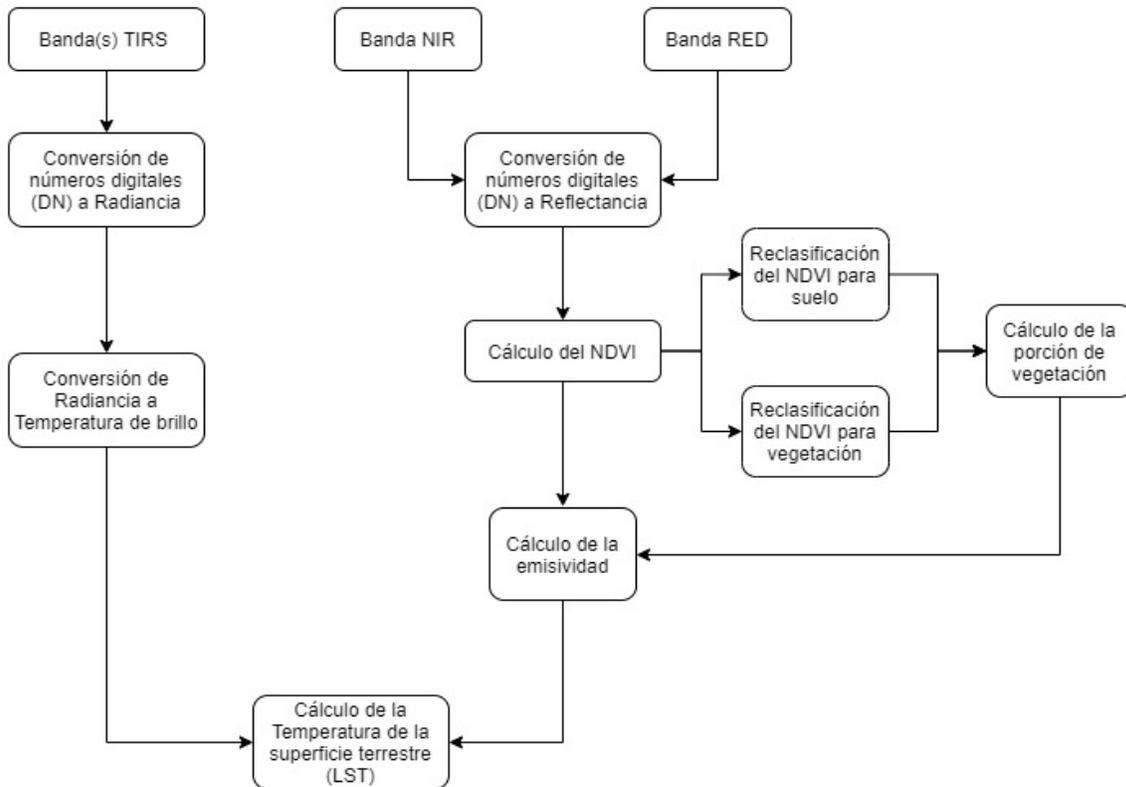
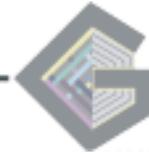


Figura 7 Metodología para determinar la temperatura de la superficie.

Fuente: Reddy, S. N., & Manikiam, B. (2017). Modificado por ProDUS, 2020.

Para generar estudios comparativos es necesario que las imágenes satelitales que se utilicen en los análisis sean de los mismos meses, esto genera una limitación para realizar estudios comparativos, restringiendo las imágenes que pueden analizarse a las que estén disponibles cumpliendo esa condición.

A continuación se presenta el mapa con el resultado del análisis comparativo de la temperatura superficial en el cantón de Goicoechea para los años 1991, 2000 y 2009.



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

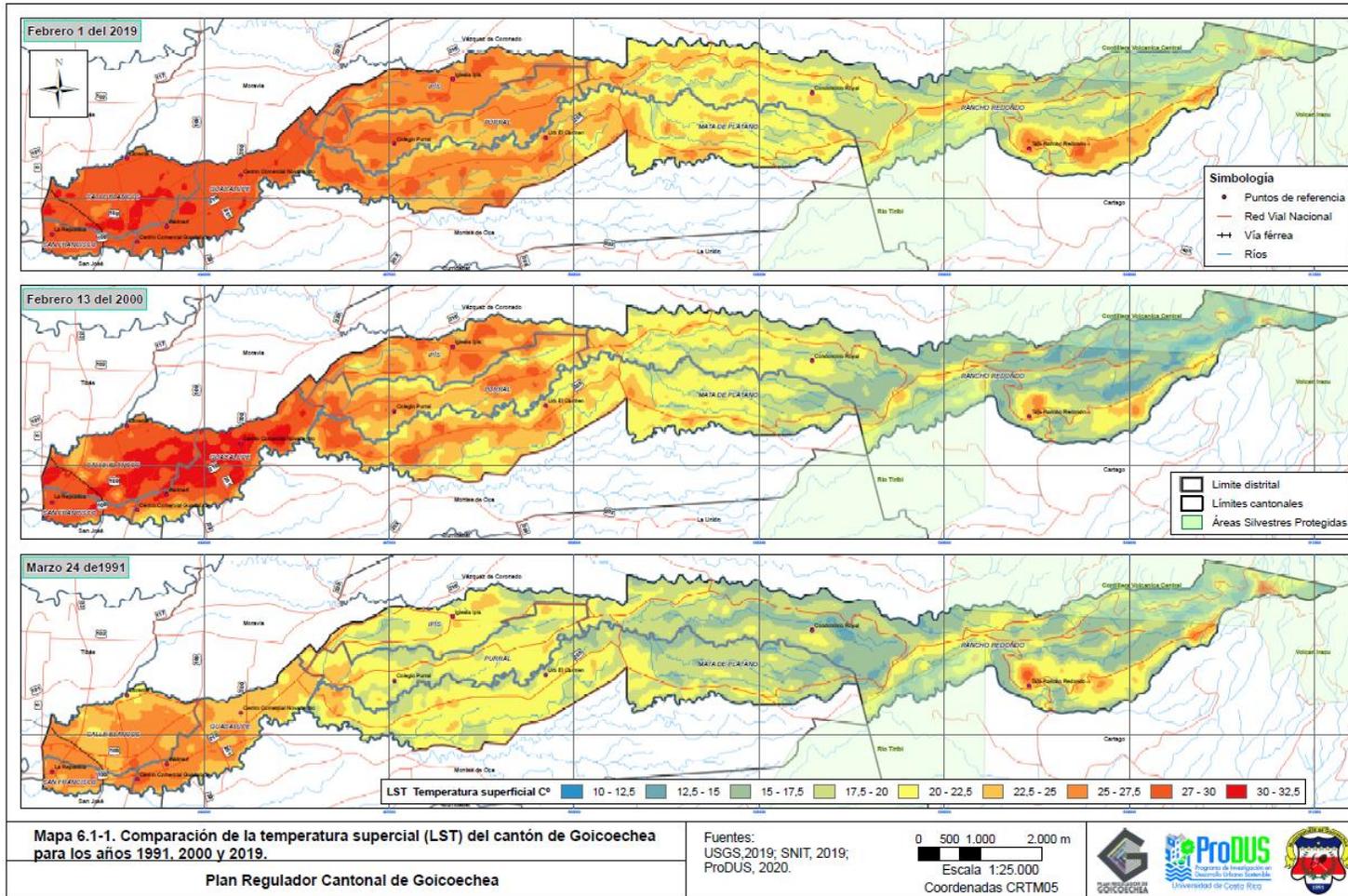
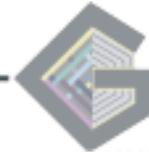


Figura 8 Mapas de comparación de temperatura superficial (mapas de calor) del cantón de Goicoechea, años 1991, 2000 y 2019.
Fuente: Elaborado por ProDUS, 2020.



El mapa de comparación de temperatura superficial presenta una clasificación de temperatura de 9 categorías, en rangos que van desde los 10 grados Celsius °C hasta el rango mayor a los 30 grados.

Con el fin de facilitar el análisis y acorde con los resultados, se subdividió el cantón en tres sectores; sector 1: distritos de Guadalupe, Calle Blancos y Goicoechea; sector 2: distritos de Purral, Ipis y sector este del oeste del distrito de Mata de Plátano; sector 3: sector oeste de Mapa de Plátano y Rancho Redondo.

Temperatura superficial en el Año 1991:

La figura de las temperaturas del año 1991 muestra que la zona correspondiente al sector 1 (distritos de Guadalupe, San Francisco y Calle Blancos) se diferencia del resto del cantón debido a que presenta temperaturas más altas, en el mapa la zona se presenta con tonalidades rojas- naranjas lo que indica que las temperaturas promedio se ubicaron en el rango de 22,5 a 32,5 °C.

Esta zona es la que históricamente ha presentado el mayor desarrollo urbano, por lo que se podría establecer la hipótesis de la relación directa entre estas variables.

Para el sector 2 (Purral, Ipis y Mata de Plátano este), corresponde al sector con temperaturas medias con respecto a los otros dos sectores del cantón, se observa una predominancia de color amarillo y algunas secciones verdes que corresponden en su mayoría a los cauces de ríos. El tono amarillo corresponde a temperaturas de 20-22,5 °C, con una temperatura media menor al sector 1.

El sector 3 (Rancho Redondo y el oeste de Mata de Plátano presentan una mayor cantidad de zonas con colores azul claro y verdes, centrándose las manchas de color amarillo en las márgenes de las carreteras y zonas adyacentes. El color azul claro y verde representa temperaturas que van desde los 12 °C hasta los 20 °C.

Temperatura superficial en el Año 2000:

El mapa de temperatura superficial para el cantón de Goicoechea en el año 2000 muestra que el sector 1 concentra la mayor cantidad de zonas con el color rojo y naranja fuerte, lo que representa que es la zona con mayores temperaturas del cantón, expandiéndose ese hasta el sector 2. Para Ipis y Purral se presenta mayores temperaturas en las zonas adyacentes a las carreteras, representado en el mapa por los colores rojos, tendiéndose en las zonas cercanas a los cauces menores temperaturas representado por el color amarillo.

Es importante establecer que conforme se reduce la distancia con el límite del sector 1 aumenta la temperatura, lo que es contrario a lo que sucede con el sector 3, donde se va generando disminución de las temperaturas conforme se acerca al límite de Rancho Redondo y Mata de Plátano.

El sector 3 que corresponde a Rancho Redondo y el este de Mata de Plátano son los espacios con menor temperatura en el cantón para el año 2000. En ese sector se observa que las zonas de mayor temperatura también corresponden a los espacios colindantes con las carreteras, donde se observa la mayor ubicación de infraestructuras en la zona.



Análisis comparativo de los resultados de temperatura superficial para los años 1991, 2000 y 2019.

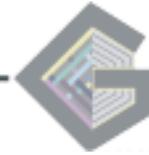
En la figura se nota que conforme aumenta el tiempo se va generando un mapa con una mayor cantidad de color rojo- naranjas y menos azules- verdes, lo que corresponde a que se ha dado un aumento de las temperaturas superficiales en el cantón.

La zona este o sector 1, distritos de Guadalupe, San Francisco y Calle Blancos son cada año de análisis más rojos, lo que significa que tiene una temperatura superficial más elevada. Es notorio también como la mancha roja se va extendiendo desde estos tres distritos hasta el sector 2 del cantón.

El sector de Purral, Ipis y Mata de Plátano sector este inicialmente presentaba en 1991 una tonalidad amarilla, con bloques de color azul claro cerca de los cauces de los ríos. Sin embargo, para el año 2000 se observa como esa zona se muestra con una mayor predominancia de color naranja y rojo, desapareciendo los sectores azules claro. Para el año 2019 la mayor parte de esos distritos se muestra de color rojo naranja. Lo anterior significa que estos distritos pasaron de temperaturas superficiales en 1990 de 20-22,5 °C a temperaturas predominantes de 22,5-27 °C, 5 y 27-30 °C.

Para la zona oeste de Mata de Plátano y Rancho Redondo se aprecia que para el año 1990 las temperaturas superficiales eran las menores del cantón, con mayores temperaturas en la sección sur correspondiente con la carretera principal y sus alrededores. Para el año 2000 se aprecia que la zona presentó una disminución de su temperatura superficial con respecto al año 1990, pero en el sector sur, donde ya se tenía la mayor temperatura superficial de esa zona se aprecia un aumento de temperatura superficial, lo que se muestra en el mapa con colores rojos naranjas.

Uno de los aspectos que genera más interés en los resultados es la interacción entre el aumento de temperatura superficial en las zonas cercanas a las carreteras, lo que concuerda con el patrón de expansión lineal de muchos asentamientos humanos en la zona, que se ubican en fraccionamientos paralelamente a las carreteras. Sobre este punto, las investigaciones científicas han encontrado relación directa entre la cobertura de suelo urbana y el aumento de las temperaturas, por ejemplo Bounoua et al (2015) establece que en la mayor parte de las ciudades los materiales que se utilizan para la construcción de las edificaciones y carreteras absorbe más energía en comparación con una zona con uso de suelo bosque o arbóreo, esa mayor absorción de energía provoca que esas superficies y el aire a su alrededor se calienten más rápido que las zonas circundantes con presencia mayoritaria de vegetación. Por lo que los resultados obtenidos en la investigación son concordantes con los resultados de investigaciones científicas en el tema. Por ejemplo, Melas et al (2016) citan que en las zonas urbanas la presencia de edificios, carreteras y otras superficies impermeabilizadas incrementan la absorción de radiación de onda corta, además reducen la evapotranspiración en comparación con las zonas con vegetación, como resultado, la temperatura del aire tiende a ser de 0,5 a 3 más alta en las ciudades que en las zonas rurales circundantes un fenómeno conocido como islas de calor.



Temperatura promedio por distrito:

Con el fin de profundizar en el tema de la influencia de la vegetación y el uso urbano sobre la temperatura del ambiente se procedió a determinar la temperatura promedio por distrito para los 3 años de referencia del estudio. A continuación, se presenta el cuadro con el resumen de la información.

Tabla 5 *Temperatura superficial promedio por distrito (°C)*

Distrito	Año y temperatura promedio superficial			Diferencias en grados Celsius entre años		
	1991	2000	2019	2000-1991	2019-1991	2019-2000
Guadalupe	24,69	28,39	28,63	3,7	3,94	0,24
San Francisco	25,84	28,4	28,65	2,56	2,81	0,25
Calle Blancos	25,15	28,81	29,08	3,66	3,93	0,27
Mata de Plátano	19,81	22,28	23,48	2,47	3,67	1,2
Ipís	20,76	25,39	26,19	4,63	5,43	0,8
Purrál	20,63	24,36	25,56	3,73	4,93	1,2
Rancho Redondo	18,47	18,39	20,09	-0,08	1,62	1,7

La temperatura superficial de los años 1991, 2000 y 2019 sigue un patrón específico. Las mayores temperaturas en los tres años corresponden a los distritos más urbanos, Guadalupe, San Francisco, Calle Blancos. En segundo lugar, se ubica un segundo bloque de distritos con temperaturas menores a los tres anteriores, pero se presentan un notable aumento, Ipís, Purrál y Mata de Plátano. Finalmente, el distrito de Rancho Redondo es el que presentó las menores temperaturas en los tres años analizados.

Como se observa en la tabla 5, según los datos de comparación de la temperatura superficial de los años 2019-2000 solo el distrito de Rancho Redondo no presentó un aumento de temperatura, el resto de distritos del cantón evidencia un aumento de temperatura que va desde los 0,24 °C hasta 1,2 °C . Los sectores de Guadalupe, San Francisco y Guadalupe presentaban en la fecha inicial un uso del suelo urbano, por lo que en esas fechas se generó un proceso de expansión en las zonas adyacentes. Lo anterior se podría relacionar con el aumento de temperatura superficial en estos distritos, que fue muy similar para los tres, ubicándose en 0,24, 0,25 y 0,27 °C respectivamente. Los distritos de Ipís Purrál y Mata de Plátano que en esa fecha eran menos urbanizados presentaron un mayor incremento en la temperatura, con aumentos de 0,80 °C , 1,20 °C y 1,20 °C respectivamente.

Para el periodo 2019- 1991, resalta que las diferencias de temperatura superficial son mucho mayores que los datos obtenidos de la comparación con el periodo de 2019-2000. El único distrito donde no se presentó un aumento de la temperatura con respecto a este



periodo fue Rancho Redondo, donde la temperatura superficial es menor a la reportada en el periodo de análisis anterior.

Una diferencia con respecto al periodo de análisis del año 2000, es que si se compara desde 1991 hasta el año 2019 los distritos que tienen el mayor aumento de temperatura superficial son Ipis, Purral y Guadalupe. Se genera la hipótesis que relaciona directamente este aumento de temperatura superficial con el cambio de uso del suelo y la expansión urbana que han presentado estas zonas en ese periodo de 27 años.

Es notable también el aumento de temperatura superficial en Mata de Plátano, en el año 1991 esa zona se aproximaba más a la temperatura del distrito de Rancho Redondo, pero conforme han pasado los años hasta llegar al 2019, esa zona se aproxima más a las temperaturas superficiales de los cantones de Guadalupe, San Francisco y Calle Blancos.

Vegetación y temperatura superficial

En los ambientes naturales, la vegetación tiene un equilibrio natural con el medio ambiente, dándose intercambio gaseoso y de energía con el medio. Cuando se da el cambio de uso del suelo de la cobertura natural al uso urbano se rompe el ciclo natural y se dan alteraciones de estos intercambios de energía. Estas zonas urbanas tendrán entonces mayores temperaturas que sus zonas circundantes en donde no se da el uso urbano.

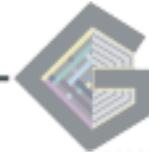
Estas variaciones se incrementan conforme aumenta la cobertura de las zonas urbanas y disminuye la capa vegetal natural del suelo.

Debido a que el crecimiento urbano es una necesidad del ser humano para su establecimiento en los territorios se deben buscar las alternativas para lograr que estos impactos en el ambiente sean minimizados.

La solución con mayor mención en las referencias de investigaciones sobre el tema se refiere a lograr incorporar la vegetación a las zonas urbanas, entre mayor sea la cantidad de capa vegetal se logrará una minimización de esos efectos negativos de aumentos de la temperatura. La arborización urbana con especies nativas y que sean aptas para cada espacio es imprescindible para mejorar el tema de microclimas urbanos. Las especies a plantar deben ser adecuadas para cada sitio sin destruir con sus raíces las superficies de rodamiento o las aceras, por lo que se debe generar una selección de la especie de acuerdo al espacio donde se ubicará, aceras, parques, franjas verdes y otras.

En el contexto de los planes de ordenamiento territorial es fundamental generar una zonificación que promueva zonas con diferentes coberturas según sea las necesidades existentes en el territorio para lograr un equilibrio entre las necesidades de expansión urbana y la gestión ambiental.

En el mapa 6-1.2 se observan varias capas de información para el año 2019 en el cantón de Goicoechea. En la figura superior se presenta la temperatura superficial, aspecto que ya fue comentado en la sección anterior. En la figura 2 se encuentra la capa de información del índice de vegetación de diferencia normalizada, posteriormente se ubica el uso del suelo y finalmente el catastro con la fotografía aérea.



Olivares et al (2019) establecen que el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (IVND conocido también como NDVI por sus siglas en inglés), es un índice de gran aplicación para determinar la vegetación, ya que es eficiente para el análisis y monitoreo de las condiciones vegetativas y su dinámica en la cobertura terrestre. El IVND es un índice que es derivado a través de la respuesta de la vegetación en relación con el espectro electromagnético.

Diaz (2015) establece que los valores del IVND están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. La respuesta espectral que tiene la vegetación sana, muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja, y el Infrarrojo Cercano (NIR). Mientras que en el visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, en el NIR, las paredes de las células de las hojas, que se encuentran llenas de agua, reflejan la mayor cantidad de energía. En contraste, cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés, ya sea por presencia de plagas o por sequía, la cantidad de agua disminuye en las paredes celulares por lo que la reflectividad disminuye el NIR y aumenta paralelamente en el rojo al tener menor absorción clorofílica. Esta diferencia en la respuesta espectral permite separar con relativa facilidad la vegetación sana de otras cubiertas. El cálculo del IVND implica el uso de una simple fórmula con dos bandas, el Infrarrojo cercano (NIR) y el rojo (RED).

Los valores que resultan del análisis del IVND van -1 y 1. Este índice es de gran utilidad para los análisis espaciales de los territorios debido a que permite identificar por medio de análisis remoto el tipo de vegetación de una zona, ayudando a generar mapas y conocer los cambios que se dan en el territorio. En cuanto a la interpretación de los resultados, el agua se refleja con valores negativos, aquellas zonas con nubes se agrupan bajo valores cero, el suelo desnudo o con vegetación muy escasa o de porte muy bajo presenta valores positivos pero bajos, mientras que los valores mayores y más cercanos a 1 son aquellos de vegetación densa y con alto contenido de humedad. Los usos urbanos se representan con valores de 0 a 0,2.

Es importante aclarar que en los resultados pueden influir condiciones climáticas como sequías, eventos lluviosos extremos, eliminación de cobertura vegetal, o incluso aspectos relacionados con el sensor.

Al analizar el mapa 6-1.2 es posible establecer que las zonas con mayor presencia de usos urbanos en el IVND y en el mapa de uso del suelo presentan mayores temperaturas superficiales. Por el contrario, las zonas que corresponden a los bosques, áreas verdes, y vegetación densa el mapa de IVND presentan las temperaturas superficiales más bajas.

En el mapa se observa la misma situación en los cauces de los ríos y las zonas boscosas en los márgenes, en aquellos donde se conserva esta zona se presentó una menor temperatura superficial. La misma condición sucede con las zonas con coberturas arbóreas dentro de las zonas urbanas.

La expansión de las zonas urbanas en el cantón de Goicoechea debe considerarse como un elemento de afectación de las condiciones del paisaje, del suelo, de la temperatura superficial y en general del sistema natural que se conforma en el total del espacio geográfico del cantón.



Este tema es de gran relevancia para la delimitación de las regulaciones de las nuevas zonas de expiación que se permitan en las zonas urbanas, sino también para generar regulaciones en general en las zonas urbanas actuales. La ciudad y poblados circundantes presentan este aumento de temperatura del aire que genera la necesidad de crear respuestas locales para contrarrestar el problema.

Soluciones ante la problemática de las islas de calor:

El problema asociado con el aumento de temperatura en las zonas urbanas se ha gestionado desde varios enfoques, encontrándose en la literatura elementos que resaltan la necesidad de adaptar las construcciones para lograr mejorar los materiales y su interacción con el medio. Otro de los enfoques principales es generar un entorno con mayor vegetación, lo que disminuirá los efectos de la isla de calor a nivel local.

Arborización urbana:

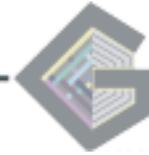
La arborización urbana se presenta como una solución para lograr mejorar los microclimas en las ciudades, aportando además otros beneficios como diversidad paisajística, incorporación al paisaje urbano de elementos naturales, aumento de los servicios eco sistémicos urbanos, generación de espacios de alimentación y estancia para fauna local, creación de corredores verdes urbanos, fijación de carbono, aporte a la purificación del aire, entre otros. Este tema se aborda en otros trabajos con nombres como bosques urbanos o infraestructura verde, buscando todos los enfoques un aumento de la cantidad de vegetación en las urbes.

Lamentablemente, en las zonas urbanas costarricenses no se ha generado este tema con fuerza, siendo que la mayoría de áreas urbanas carecen del componente verde o de la integración a gran escala de la vegetación.

La integración de estos componentes se puede realizar desde varios enfoques, que dependerán de las condiciones específicas del territorio y de las alianzas estratégicas que se realicen entre los diferentes actores locales y los gobiernos municipales.

Algunas de los proyectos que podrían realizarse para mejorar el tema de arborización urbana son:

- Arborización con especies nativas de los espacios públicos ya existentes
- Convenios con los grupos vecinales para incentivar que las personas de las comunidades siembren en sus jardines plantas nativas
- En sitios con las condiciones adecuadas colocar macetas para el establecimiento de árboles
- Creación de nuevos espacios urbanos verdes, por ejemplo, en zonas de amenazas naturales o recuperando los espacios de protección de cauces que han sido impermeabilizados
- Arborización en las franjas verdes en aceras, cuando el espacio disponible permita realizar esta actividad
- Convenios con las personas propietarias de terrenos destinados a comercio, industria o servicios para fomentar arborizar aquellos espacios disponibles en estas propiedades privadas
- Recuperar las zonas de protección de cauces que han sido deforestadas



En el tema constructivo:

Las recomendaciones para mejorar la situación desde el aporte del sector construcción son:

- Fomento de la arquitectura bioclimática
- Uso de pintura color blanco en los techos
- Siembra de vegetación alrededor de las construcciones para generar sombra que disminuya la temperatura de la edificación,
- Propiciar los flujos de aire en la ciudad
- En los espacios donde sea propicio, generar arborización junto a las vías para crear sombras que permitan disminuir la temperatura de las superficies de rodamiento, sin que esto ponga en riesgo a los conductores por posibilidades de choques
- Análisis de factibilidad de uso de concretos permeables
- Fachadas o techos verdes en los edificios
- Arborización en parqueos

Para finalizar, se resalta la importancia de incorporar vegetación en las zonas urbanas como un elemento para minimizar los efectos de las islas de calor, sin dejar de lado la estrecha relación del tema con el diseño de las ciudades y la expansión sin planificación de las zonas urbanas. Este tema debe considerarse como crítico debido a que ante el panorama de aumentos de temperaturas debido al cambio climático se debe trabajar para buscar soluciones a las problemáticas pendientes y que podrán acrecentar sus efectos negativos a futuro. Este tema es vital para el buen funcionamiento de las ciudades y se debe gestionar mediante el ordenamiento territorial.

Retos y conclusiones

Pautas a considerar en la zonificación del Plan Regulador

- La gestión del cambio climático dentro del contexto legal del Plan Regulador se deberá realizar mediante el enfoque de gestión de las amenazas naturales, protección de las fuentes de agua, conservación de zonas de alta fragilidad ambiental y cobertura boscosa, integración de los servicios ecosistémicos, fomento de la cobertura vegetal en las zonas urbanas y gestión de las coberturas y densidades, densificación, infraestructura verde, movilidad sostenible entre otros.
- Muchos de los temas en acciones para la adaptación/mitigación al cambio climático escapan a la competencia legal de un Plan Regulador y son responsabilidades de instituciones estatales costarricenses como el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) o el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).
- La zona de Rancho Redondo y el este de Mata de Plátano representa un reto para la gestión territorial en Goicoechea, este espacio con uso predominante de bosque, pastos y muy baja cobertura urbana tiene presiones por cambios de usos del suelo que podrían afectar negativamente al resto del cantón.
- Arquitectura resiliente: este concepto novedoso surge como respuesta para que las nuevas construcciones puedan adaptarse a los cambios del entorno y mejorar la sostenibilidad de los asentamientos humanos ante las amenazas naturales y los cambios de las condiciones climáticas. Este es un tema que se desarrolla en detalle en el reglamento de construcciones del plan regulador



7. Bibliografía

Anandababu, D., Purushothaman, B. M., & Suresh, B. S. (2018). Estimation of land surface temperature using Landsat 8 data. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 4(2), 177-186.

Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016.

Bounouau, L.; Mostovoy, G.; Thome, K.; Masek, J.; Imhoff, M.; Quattrochi, D.; Santanello, J.; Silva, J.; Wolfe, R.; Mounirou, T. (2015). Impact of urbanization on US surface climate. *Environment Research Letter*. Vol 10.

Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 41(11), 2674-2677.

Diaz, J. (2015). Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. Trabajo final de graduación para optar por el título de Master en tecnologías de la información geográfica. Universidad Complutense de Madrid. 66p.

Enríquez, F. (2004). Pasado y presente del cantón de Goicoechea. EUNED, 2004 - Goicoechea (Costa Rica: Canton) - 266 p

Fung E., Corrales L. (2017). Diagnóstico de experiencias globales relevantes y recomendaciones para gobiernos locales de la inclusión del cambio climático dentro de sus Planes de Ordenamiento Territorial. CATIE. Turrialba-Costa Rica.

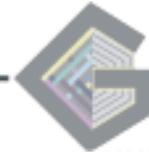
Gamboa Carrillo, A. (24 de Enero de 2020). Fuentes de abastecimiento de los distritos de Goicoechea. (D. Sanabria Barboza, Entrevistador)

Giannini, M. B., Belfiore, O. R., Parente, C., & Santamaria, R. (2015). Land Surface Temperature from Landsat 5 TM images: comparison of different methods using airborne thermal data. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 8(3).

IPCC, Panel Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (2012). Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas. 32 p

Jiménez-Muñoz, J. C., & Sobrino, J. A. (2003). A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22).

Kovalskyy, V., & Roy, D. P. (2013). The global availability of Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM+ land surface observations and implications for global 30 m Landsat data product generation. *Remote Sensing of Environment*, 130, 280-293.



Marando, F.; Salvatori, E.; Sebastian, A.; Fusaro, L.; Manes, F (2019). Regulating Ecosystem Services and Green Infrastructure: assessment of Urban Heat Island effect mitigation in the municipality of Rome, Ital. Ecological Modelling. Vol. 392. P 92-102.

Melas, E.; Wang, J.; Miller, D.; Friedl, M. (2016). Interactions between urban vegetation and surface urban heat islands: a case study in the Boston metropolitan region. Environmental Research Letters. Vol 11

Menacho, E.; Teruya, S. (2019). Análisis de la relación de la isla de calor urbano con factores demográficos, espaciales y ambientales de Lima metropolitana usando sensores remotos. Anales científicos. , Vol. 80, N°. 1, 2019, págs. 60-75

Olivares, B.; López, M. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. UNED Research Journal. 11. 112-121.

Palacio, C. (2019). Medidas de adaptación/mitigación ante islas de calor en el Valle de Aburrá Trabajo final de graduación para optar por el grado de Ingeniero Ambiental. Universidad EIA, Colombia Recuperado de: <http://repository.eia.edu.co/handle/11190/2334>

Reddy, S. N., & Manikiam, B. (2017). Land surface temperature retrieval from LANDSAT data using emissivity estimation. International Journal of Applied Engineering Research, 12(20), 9679-9687.

Renard, F.; Alonso, L.; Fitts, Y.; Hadiiosif, A.; Comby, J. (2019). Evaluation of the Effect of Urban Redevelopment on Surface Urban Heat Islands . Remote Sens.

Saleh, A. M. (2017). Land Surface Temperature Retrieval of Landsat-8 Data Using Split Window Algorithm-A Case Study of Mosul District. Journal of American Science, 13(12).

Sobrino, J. A., & Raissouni, N. (2000). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. International journal of remote sensing, 21(2), 353-366.

Soto, J.; Garzón, J.; Jiménez, G. (2019). Análisis de islas de calor urbano usando imágenes Landsat: caso de estudio Armenia-Colombia 1996-2018. Revista Espacios, Colombia. Vol 41 N 8.

USGS. (2019), Landsat 8 Data Users Handbook .Recuperado en diciembre 2019, de <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook>

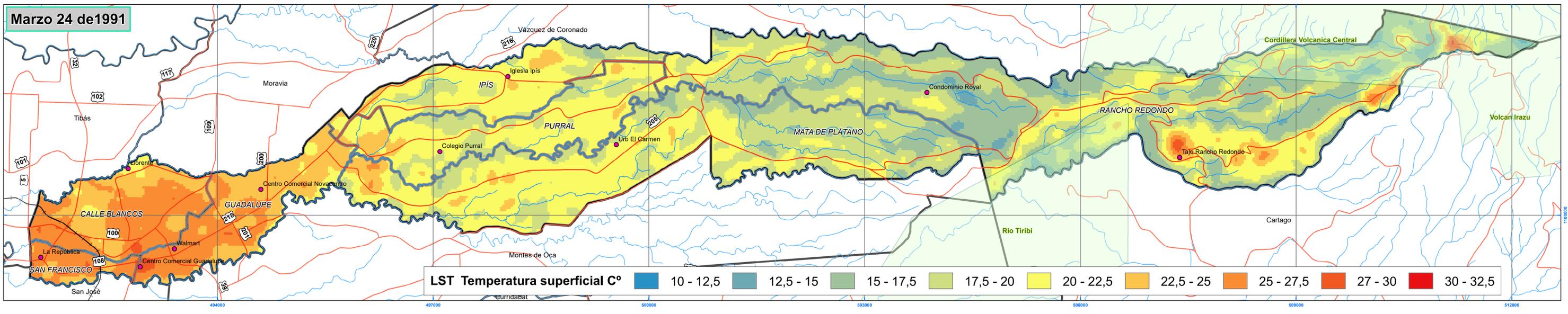
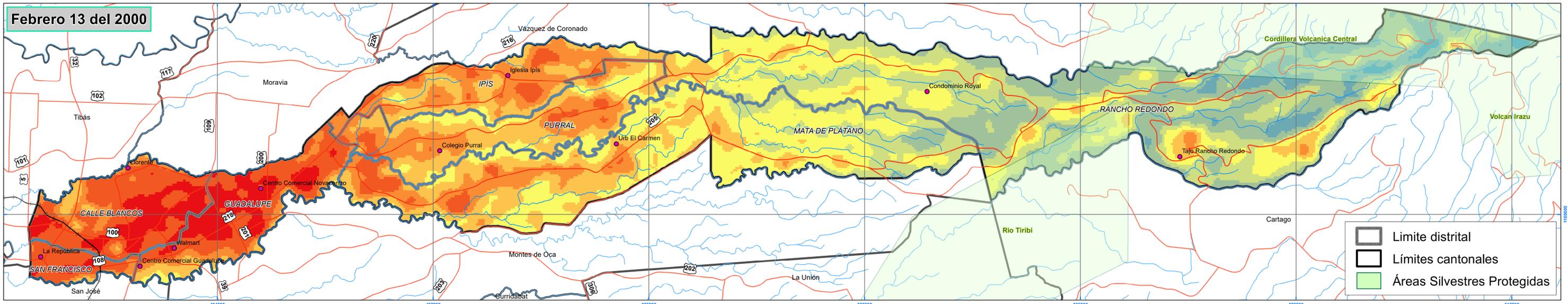
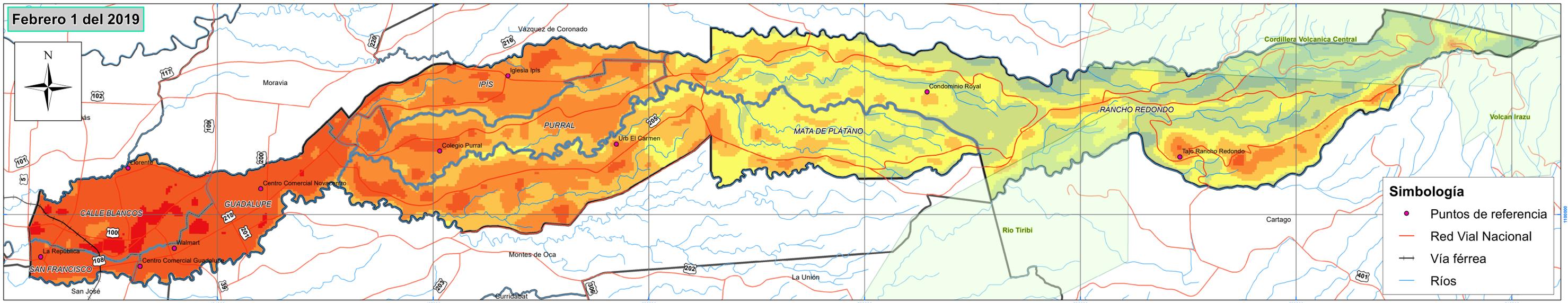
USGS. (2019). Landsat 8 data users handbook. Department of the interior U. S. Geological Survey, 114, 11-56.

Vollmann, F. (2019). Las ciudades, causa y solución del cambio climático. ONU Noticias. Recuperado de: <https://news.un.org/es/story/2019/09/1462322>

Williams , C. (2019). Intensidad de las islas de calor urbanas superficiales en las principales conurbaciones de la V región de Valparaíso y factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del gran Valparaíso. Trabajo final de graduación para optar por el título de Licenciado en Geografía, Universidad de Chile. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173610>



Zhou, D.; Xiao, J.; Bonafoni, S.; Berger, C.; Deilami, K.; Zhou, Y.; Froking, S.; Yao, R.; Qiao, Z.; Sobrino, J. (2019). Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives. *Remote Sens.*, 11, 48.



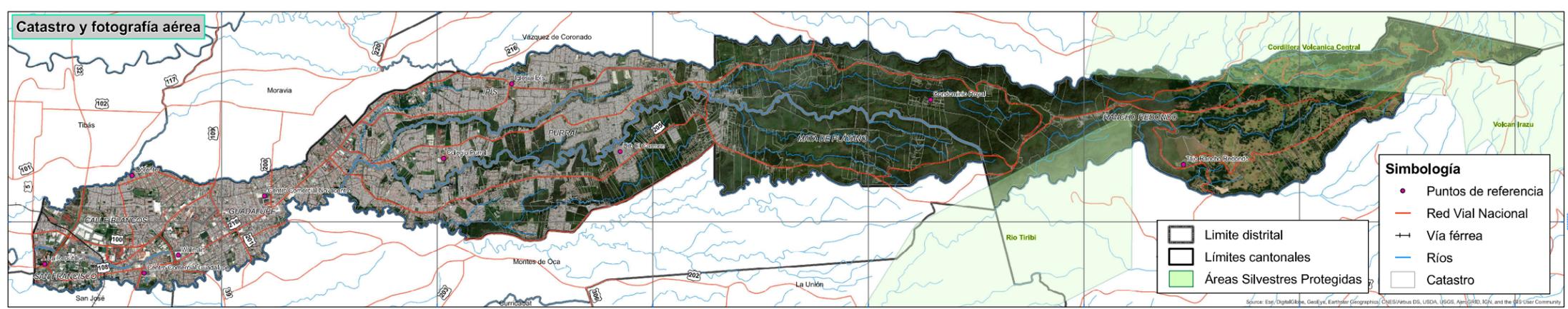
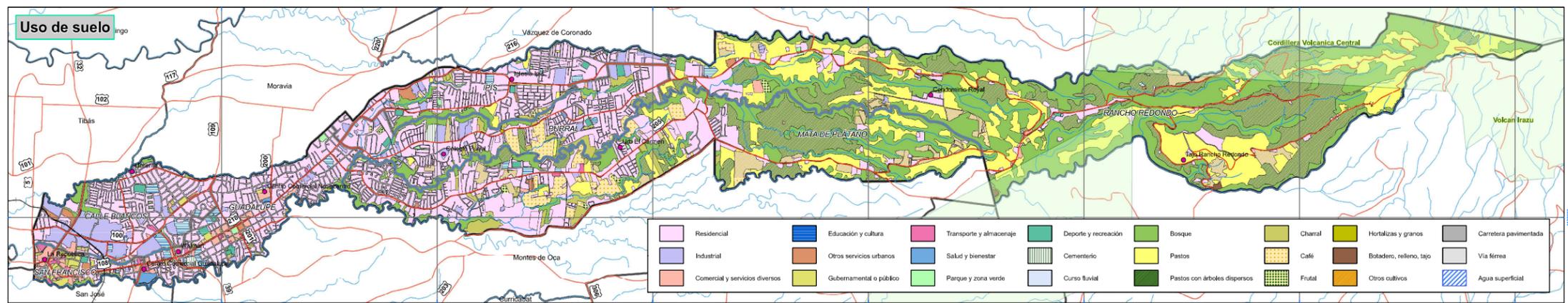
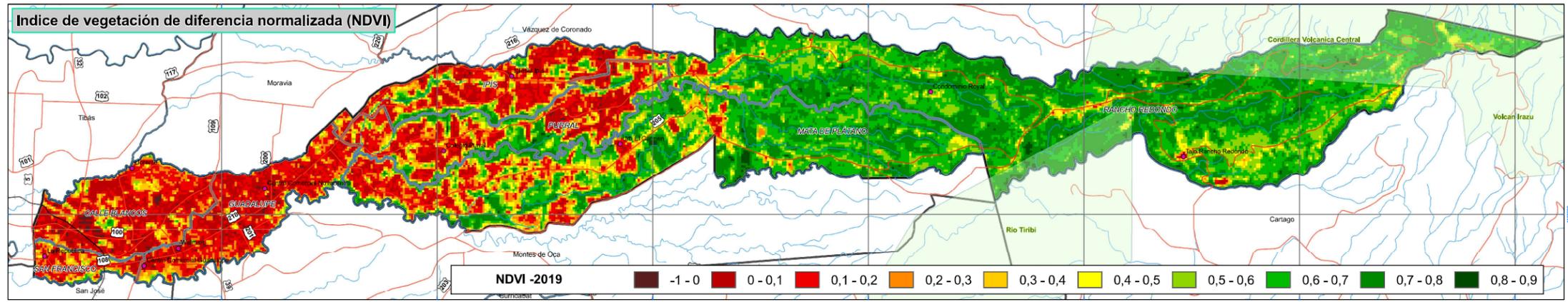
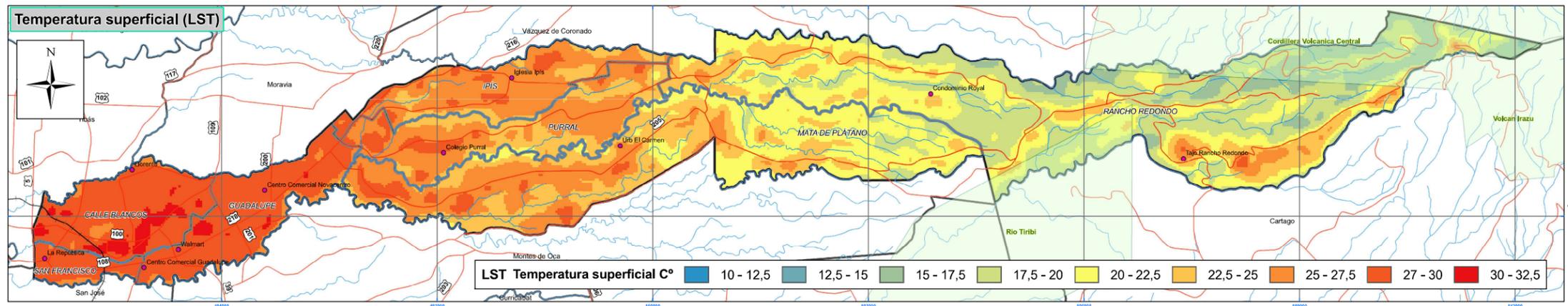
Mapa 6.1-1. Comparación de la temperatura supercial (LST) del cantón de Goicoechea para los años 1991, 2000 y 2019.

Plan Regulador Cantonal de Goicoechea

Fuentes:
USGS, 2019; SNIT, 2019;
ProDUS, 2020.

0 500 1.000 2.000 m
Escala 1:25.000
Coordenadas CRTM05





Mapa 6.1-2. Comparación de la temperatura superficial, Índice de vegetación de diferencia normalizada, Uso del suelo y Catastro del cantón de Goicoechea para el año 2019.

Plan Regulador Cantonal de Goicoechea

Fuentes:
USGS, 2019; SNIT, 2019;
PRUGAM, 2005; ProDUS, 2020.

0 500 1.000 2.000 m
Escala 1:25,000
Coordenadas CRTM05



GEOLOGÍA Y AMENAZAS NATURALES



7. Geología del Cantón de Goicoechea

INDICE GENERAL

Contenido

1. Generalidades.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Geología local.....	3
1.3. Formación Colima.....	3
1.4. Formación Tiribí (Avalancha Ardiente).....	4
1.5. Formación Reventado.....	5
1.6. Formación Sapper.....	7
1.7. Lahares y cenizas.....	8
2. Estructuras Morfotectónicas.....	10
2.1. FALLA LARA.....	11
2.2. Falla Nubes.....	12
2.3. Falla Cipreses.....	12
3. Geomorfología del cantón de goicoechea.....	13
3.1. Introducción.....	13
3.2. Metodología.....	13
4. Resultados.....	14
4.1. Descripción de unidades geomorfológicas.....	14
4.2. Formas de origen denudacional.....	15
5. Referencias.....	21



1. Generalidades

1.1. Introducción

Para el apartado de la geología del cantón de Goicoechea, 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 tectónicas 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 Goicoechea

Las investigaciones que sobresalen en la zona de estudio, hacen referencia a las formaciones geológicas aflorantes en la misma, las cuales corresponden a rocas de origen volcánico.

El Valle Central Occidental, según Malavassi & Madrigal (1967), ha sido construido por el acúmulo de materiales que provienen de las áreas vecinas, constituidos por piroclastos y lavas de los volcanes; deslizamientos de cerros circunvecinos, lahares y materiales acarreados por los ríos. Estos materiales yacen discordantemente sobre rocas sedimentarias del Terciario (las cuales no se encuentran aflorando en el área de estudio).

Fernández (1969) propone los nombres para las unidades volcánicas que se distinguen en la zona, refiriéndose a estas como: Formación Colima y Formación Tiribí; asignándole una edad Plio-Pleistoceno a ambas formaciones. Esta nomenclatura y edades también son utilizadas por Paniagua (1975), Echandi (1981) y Denyer & Arias (1991). Previamente; Malavassi (1965), Dóndoli (1954) y Williams (1952) clasificaban estas rocas volcánicas en el Valle Central como Lavas Intracañón y Depósitos de Ignimbritas respectivamente.

Posteriormente Denyer & Arias, 1991 indican que la secuencia es sobreyacida por las formaciones Lahares y cenizas y los Depósitos aluviales y coluviales, los cuales tienden a aflorar en la mayoría del área de estudio.



Finalmente Krushensky, 1972 y Alvarado et al., 2006, añaden las Formaciones Reventado y Sapper pertenecientes al Grupo Irazú. Los autores las ubican en la ladera oeste del macizo del volcán Irazú.

Con respecto a la tectónica regional del área de estudio, ésta se caracteriza por estar en la gran área metropolitana, la cual se caracteriza por ser una zona es atravesada por el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR), el cual ha sido interpretado como el límite entre la placa Caribe y la microplaca de Panamá (e.g. Marshall et al., 2000; Montero, 2001). El CDCCR incluye en una zona de ~100 km de ancho. Fallas y pliegues neotectónicos de diversa geometría que transfieren desplazamientos entre los bloques tectónicos de la zona (Montero, 1994, 2001; Marshall et al., 2000). El origen del CDCCR puede estar asociado con la colisión del levantamiento del Coco con el sureste de Costa Rica y la subducción de corteza oceánica engrosada, los cuales provocan el desplazamiento de la microplaca de Panamá con respecto de la placa Caribe (Marshall et al., 2000; Montero, 2001). Desde 1900, el CDCCR ha sido la fuente de 20 sismos destructivos incluyendo el que devastó la ciudad de Cartago en 1910 (6,1 Ms) que con un saldo de 300 víctimas, constituye el peor desastre de la historia de Costa Rica (Montero y Miyamura, 1981; Montero, 2010; Peraldo y Montero, 2010; Alonso-Henar et al., 2013;

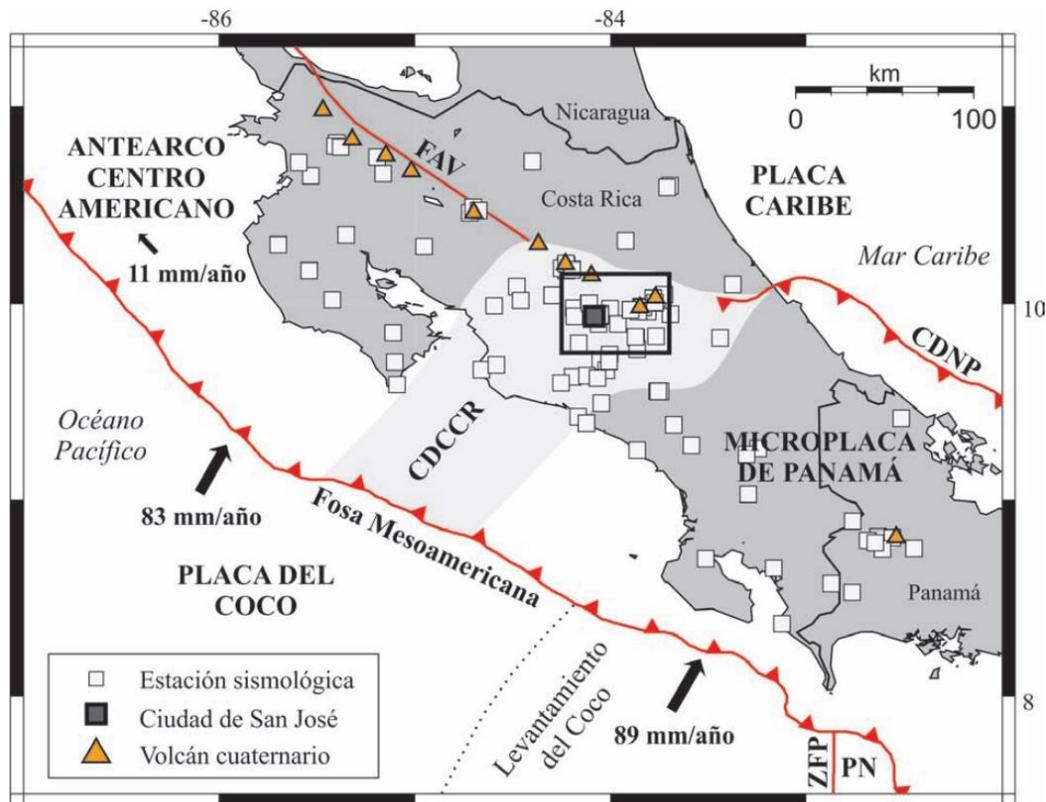


Figura 1: Marco tectónico de Costa Rica, tomado de Rodríguez et al, 2019.



1.2. Geología local

A continuación se presentan las características generales de la geología dominante en el cantón de Goicoechea y alrededores, 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. Ver figura 7.

Como se ha mencionado la geología de la zona se compone por un basamento volcánico constituido por las formaciones Colima y Tiribí las cuales sobreyacen una serie de rocas sedimentarias del Terciario; sin embargo debido a que éstas unidades no aflora en el cantón y no se han sido descritas por los registros de pozos circundantes, para los alcances de esta investigación éstas formaciones sedimentarias se han excluido, enfatizando en el basamento volcánico, y en Formaciones sobreyacientes como Lahares y Cenizas, Sapper y .Reventado respectivamente.

1.3. Formación Colima

Esta unidad no se encuentra aflorando en el área de estudio sin embargo Ramos (2014) indica que los registros de perforaciones dentro del cantón corresponden con coladas asociadas a dicha formación y denominada por Ramos (2014) como la unidad de Brechas Lávicas y la Unidad de Lavas Fracturadas ambas pertenecientes al Acuífero San José, definido por el mismo autor.

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).

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 Lahares y Cenizas (Ramos, 2014).

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.

1.4. Formación Tiribí (Avalancha Ardiente)

De la misma forma que con la Formación Colima, ésta unidad no se encuentra aflorando en el área de estudio sin embargo, Ramos (2014) indica que algunos registros de perforaciones dentro del cantón corresponden con depósitos asociados dicha formación y denominada por Ramos (2014) como parte de la Unidad de Piroclastos perteneciente al Acuífero San José, definido por el mismo autor.

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, lapílica, 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.

1.5. Formación Reventado

Dicha Unidad aflora dentro del área de estudio, propiamente en los sectores cercanos al macizo volcánico del Irazú, abarcando la parte central y sur del distrito de Rancho Redondo.

Krushensky, 1972, separa esta formación en tres unidades, donde el miembro superior aflora en los cañones de los ríos Reventado, Tiribí, Birrís, Chiquito, Durazno, entre otros, y cuyos afloramientos pueden ser seguidos por cerca de 3 o 4 km. Este miembro puede tener más de 600 m de espesor y subyace a la Formación Sapper. Está compuesto por coladas de lava andesítica augítica de color gris intermedio, de grano fino, localmente vesiculares; por lahares abundantes, ligeros a profundamente meteorizados y por algunas capas de ceniza, que se tornan más gruesas hacia el oeste de la ladera. Según este autor la edad es del Pleistoceno. Alvarado, et al., 2006, describe la unidad como una secuencia de muchos flujos de lava, principalmente andesitas basálticas a andesitas con hornablenda, intercaladas con depósitos epiclásticos y de tefra. Con base en dataciones radiométricas de U/Th se obtiene una edad de 110.000 años. En una muestra reciente y utilizando el método 40Ar/39Ar, la edad resultante fue de 136.000 ± 5.000 años.

Se visitó un afloramiento de la Formación Reventado en un tajo localizado en las coordenadas crtm05 longitud 507937 / y latitud 1100403, en este lugar se aprecia una secuencia de coladas de lava, brechas y piroclastos.



Las coladas de lava presentan una alta dureza, son consistentes y presentan una lineación moderada, presentan una coloración morada lo que implica un cierto grado de meteorización, su contenido de arcilla es bajo y no presentan contenido de agua.

La colada en su estado masivo presenta un espesor estimado de 15 metros, la cual es sobreyacida y subyacida por una serie de depósitos de autobrechas y piroclastos.

Además se presenta interdigitada entre las autobrechas una capa de tobas color grisáceo de una textura arenosa y unos 20 metros de espesor.



Figura 2: Afloramiento de la Formación Reventado, coordenadas Crtm05 longitud 507937 / y latitud 1100403.



Figura 3: Afloramiento de un depósito de piroclástos asociado a la Fm. Reventado.

1.6. Formación Sapper

Dicha Unidad aflora dentro del área de estudio, propiamente en los sectores cercanos al macizo volcánico del Irazú, abarcando la parte norte del distrito de Rancho Redondo.

Krushensky, 1972, describe a la Formación Sapper como una secuencia de más de 15 coladas de lava, lahares intercalados y capas de ceniza que sobreyacen en forma discordante a la Formación Reventado en la cabecera del Río Reventado. El nombre se asigna a partir de la loma de 1,7 km de largo ubicada al suroeste del cráter activo del Volcán Irazú; donde una gruesa secuencia de la formación está expuesta. La Formación Sapper es diferenciable de la Formación Reventado principalmente por la composición de los flujos de lava y en el contacto de disconformidad. Las lavas son densas, de color negro verdoso oscuro a negro. Superficies meteorizadas se presentan de color rojizo oscuro. Cuando están frescas, son oscuras y vidriosas semejando carbón. Los flujos de lava constituyen el flanco sur del Cerro Cabeza de Vaca. Los lahares son muy similares a los de la Formación Reventado. Contienen inclusive clastos de lava de la Formación Reventado. Los clastos pueden medir desde tamaño arena hasta bloques de 4 m. Los lahares están poco meteorizados y afloran en el cauce del río Durazno. La edad que le asigna Krushensky es del Pleistoceno al Holoceno. Alvarado et al., 2006 mencionan una edad a partir de datación radiométrica U/TH de entre 68.000 ± 26.000 años y 36.000 ± 14.000 años.

En el cantón de Goicoechea la Formación Sapper aflora en los sectores cercanos a Rancho Redondo, un ejemplo de ello es un corte en la carretera en las coordenadas crtm05 503887



longitud y 1102287 latitud, en este afloramiento la roca se caracteriza por una secuencia de depósitos de lapilli y ceniza de por lo menos 2 metros de espesor, los cuales se encuentran meteorizados y conforman una capa de suelo color café claro de textura arenosa. El material es suave y poco consistente, presenta poco contenido de arcilla y es bastante poroso, la lineación es alta debido al alto contenido de aire entre las partículas de suelo.



Figura 4: Afloramiento de la Formación Sapper 503887 longitud / 1102287 latitud.

1.7. Lahares y cenizas

Aflora en el área de estudio desde la parte oeste del distrito de Rancho Redondo hasta cubrir el resto del cantón de Goicoechea.

Definida por Denyer & Arias (1991), los cuales indican que los lahares son depósitos muy heterogéneos. Contienen fragmentos volcánicos subangulares principalmente de composición andesítica. El tamaño de los fragmentos puede llegar hasta 1m. La matriz es arcillosa arenosa y mal cementada. Buenos afloramientos se encuentran en el río María Aguilar, desde el cruce en la carretera Curridabat-San Pedro hasta la confluencia con el río Tiribí; en el río Jorco cerca del antiguo Balneario Los Juncales y en algunas secciones del río Damas (Madrigal, 1966). Aluviones y avalanchas volcánicas se encuentran con probabilidad interestratificadas. El espesor es de 60m. Sobre estos lahares se encuentra una capa de ceniza. Tiene un espesor variable de 15 y 20 m, según las localidades donde afloran. La edad que se les atribuye es Pleistoceno tardío – Holoceno. Sobreyace a las unidades volcánicas Cuaternarias.



Con respecto a la capa de ceniza, ésta se ha observado en un afloramiento ubicado en las coordenadas crtm05 longitud 494091 y 1099414 de latitud, en este sitio ya las capas de ceniza se han meteorizada a un suelo, el cual presenta un espesor mayor de 8 metros, se observa un color café claro con un contenido de arcilla bajo, además presenta una dureza moderada, con una consistencia considerada como firme, y una porosidad moderada. Se observan ciertas fracturas con diferente dirección las cuales determinan un factor de lineación de tipo moderado.



Figura 5: Afloramiento de capa de Ceniza de la Formación Lahares y Cenizas, coordenadas longitud 494091 y 1099414 de latitud.

Con respecto a la unidad de Lahares, ésta se localiza principalmente en los cauces de los ríos como el Torres o el río Chiquita. En el caso del afloramiento del río Torres, éste se



localiza en las coordenadas crtm05 494920 de longitud y 1100009 de latitud, la roca se compone de una serie de bloques de lava de forma redondeada y poca angulosa de un tamaño máximo observable de 50 cm, la composición de los es generalmente de origen andesítica, pero se pueden observar bloques de origen poligenético muy meteorizados. Los clastos se encuentran envueltos en una matriz de suelo arcilloso y de coloración café claro, la relación entre clastos y matriz en de 45% / 55% respectivamente.

La roca presenta una dureza y consistencia moderada, con una meteorización alta, con un contenido de arcillas bajo y un factor de lineación considerado como moderado debido a la presencia de poros y bloques que favorecen una porosidad considera también como moderada.



Figura 6: Afloramiento de capa de lahares de la Formación Lahares y Cenizas, coordenadas longitud 494920 y 1100009 de latitud.

2. Estructuras Morfotectónicas

A continuación se describen las estructuras Morfotectónicas más importantes, las cuales se asocian al por ser una zona es atravesada por el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR), el cual ha sido interpretado como el límite entre la placa Caribe y la microplaca de Panamá

A continuación se describen las fallas neotectónicas presentes en el área de estudio.



2.1. FALLA LARA

Ubicada en la zona central del país, dentro del Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica; específicamente sobre el flanco oeste y noroeste del volcán Irazú. Abarca parte del distrito de Rancho Redondo con un rumbo Noroeste/sureste.

Posee una longitud de aproximadamente 30 km (Montero et al., 1998), pero dentro del cantón abarca los 3,3 km aproximadamente.

Varios autores concuerdan con un movimiento predominantemente dextral y una orientación nor-noroeste (Montero & Alvarado, 1995; Montero et al., 1998; Montero, 2003). Además, Montero et al. (1998) supone un alto ángulo de inclinación para esta falla y la interpretan con una componente normal. Montero et al. (1998) consideran una tasa de movimiento probable de entre 1-5 mm/año para la Falla Lara.

Montero & Alvarado (1995) mencionan que la traza de la falla se evidencia por valles lineales, valles de falla, escarpes y sillars de falla, además de estructuras incipientes del tipo de cuenca de tracción y estribaciones desplazadas. Montero et al. (1998) evidencian la presencia de escarpes mirando hacia el oeste, así como trincheras de fallas y supuestos desplazamientos de cauces. Además, especifican que se trata de una falla neotectónica, puesto que atraviesa depósitos cuaternarios en las laderas noroeste del volcán Irazú. A lo anterior, Montero (2001) agrega la presencia de varios escarpes juveniles facetados al oeste, específicamente en los tramos norte-sur de la falla. Finalmente, Montero (2003) hace la mención a varias estructuras volcánicas que están dentro del macizo del Irazú (volcán Las Nubes, antiguos volcanes Cabeza de Vaca, Retes y Sapper), cuyo emplazamiento se asocia con zonas de fracturas tensionales relacionadas con la cuenca de tracción de Turrialba. En el caso del volcán Las Nubes se asocia con la Falla Lara.

Montero (2003) cree que el terremoto de Patillos del 30 de diciembre de 1952 (Ms 5,7) puede estar asociado al extremo norte de la Falla Lara, la cual se encuentra dentro de la posible zona macrosísmica del terremoto. La intensidad del temblor alcanzó el grado VIII en la escala de Mercalli Modificada originando considerables deslizamientos y varias muertes.

Fernández & Pacheco (1998) señalan que la intersección de la Falla Lara con la Falla Hondura es una de las zonas donde se concentra mayor sismicidad en el macizo Irazú-Turrialba, a diferencia de las zonas comprendidas por las fallas Alto Grande, Río Sucio, Río Blanco y Blanquito, donde la actividad sísmica no es significativa.

Montero & Alvarado (1995) catalogan esta área, como de peligrosidad sísmica, con potencial para generar temblores con magnitudes de entre 5,0 y 6,6 basados en la longitud de las fallas identificadas. Basados específicamente en la longitud de la Falla Lara, y en las relaciones empíricas Wells & Coppersmith (1994), ésta falla puede llegar a generar sismos de magnitudes máximas que alcanzan los 6,3.



2.2. Falla Nubes

Se ubica en el sector más hacia el este del cantón de Goicoechea, propiamente en el distrito de Rancho Redondo, Presenta una longitud de 4 kilómetros con un rumbo principal noroeste, y con algunas fallas asociadas con rumbo hacia el suroeste.

Los estudios neotectónicos de detalle sugieren que este último sistema de fallas es de desplazamiento de rumbo dextral (Denyer et al, 2003, Montero & Alvarado, 1995).

A su historia se le asocia el enjambre sísmico de 1997 (Fernández, et al., 1998).

De acuerdo con el laboratorio de ingeniería sísmica de la Universidad de Costa Rica, para una ruptura de 4 km, se podría esperar un sismo de Mw 5.2 con aceleraciones de 0.1g - 0.2g en las cercanías de la zona epicentral.

2.3. Falla Cipreses.

De acuerdo con Montero & Fernández (2002) la falla Cipreses y el sistema de pliegues asociados se ubican entre Granadilla de Montes de Oca y Tres Ríos, con un rumbo noroeste y este-oeste. Además, según Rodríguez et al (2019) podría extenderse hacia el cantón de Goicoechea por el sector de El Alto

Puede presentar una longitud de aproximadamente 7 km (Montero et al., 2005). Pero en el área de estudio abarcaría unos 3 kilómetros aproximadamente con un rumbo noroeste-sureste.

Montero et al (2005) indica que en la parte oeste de este sistema corresponde con una falla inversa activa inclinada al este. Se expresa como pliegues y escarpes.

Montero et al. (2005) menciona que el temblor del 12 de julio de 1933 puede relacionarse con el sector sur del sistema de falla inversa de Cipreses. Además, Montero (2001) indica que el terremoto del 21 de febrero del 1912 puede estar asociado con este sistema de fallas, ya que causó muchos daños en Tres Ríos y los alrededores.

Las capas de suelo reciente desplazadas que fueron observadas al norte de San Juan de Tres Ríos, son indicadores que la falla está activa (Montero & Fernández., 2002). De acuerdo con las características geométricas de la falla y la evidencia histórica, este tipo de fallas podrían generar terremotos de magnitud (Mw) 6,0.



3. Geomorfología del cantón de Goicoechea

3.1. Introducción

El presente informe corresponde a un estudio geomorfológico realizado en el cantón de Goicoechea, cantón de la Provincia de San José, ubicado en la Gran área Metropolitana de Costa Rica.

La geomorfología es una disciplina que estudia de manera descriptiva y explicativa el relieve de la Tierra, el cual es el resultado de un balance dinámico —que evoluciona en el tiempo— entre procesos constructivos y destructivos.

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., esto 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.

3.2. 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 el 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 del cantón de Goicoechea, se siguieron los siguientes pasos:

Etapa 1: Creación del Mapa Geomorfológico escala 1: 25 000 del Cantón de Goicoechea.

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 1:25 000, 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.

4. Resultados

Mediante la evaluación tanto de modelos de elevación y las visitas al de campo, se realizó un mapa geomorfológico del Cantón de Goicoechea provincia de San José. Al final del presente documento se encuentra el mapa geomorfológico obtenido. Ver figura 8.

4.1. Descripción de unidades geomorfológicas.

La geomorfología de la zona de estudio, está dominada por la presencia de relieves de composición volcánica, los cuales son afectados por factores erosivos y esfuerzos tectónicos, que han generado su topografía actual.

La forma general del relieve que domina la zona de estudio es de tipo cóncava teniendo su punto más alto en los cerros asociados al Macizo del Irazú, con forme se aleja de este sector con rumbo hacia el oeste, la pendiente disminuye, conformando así una gran cuenca, en la cual en los sectores montañosos(al este) predominará la erosión producto principalmente de los ríos y quebradas presentes, los cuales tienden a transportar y depositar el material en la zona central (hacia el oeste) del cantón en donde la pendiente se torna plana.

Las Unidades geomorfológicas se han agrupado de acuerdo a su origen como de tipo denudacionales, éstas serán descritas a detalle a continuación; todas las formas descritas se pueden apreciar en el mapa geomorfológico del área de estudio.



Formas de origen denudacional: Se refiere a las formas que deben su origen a un constante moldeo producto de factores erosivos como la escorrentía, a la acción fluvial y gravitacional 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 peso espesor y pendientes muy fuertes.

4.2. Formas de origen denudacional

Desarrolladas por la acción de procesos exógenos (meteorización y erosión) que afectan a diferentes rocas asociadas a la actividad volcánica y sedimentaria del pacífico central las cuales al exponerse a diferentes factores de dinámica externa han generado montañas y colinas de diferente grado de pendiente, así como zonas depositacionales, producto del acarreo y acumulación de los materiales.

Laderas Volcánicas Denudacionales de Alta Pendiente

Ubicación: Comprende un área de aproximadamente 24,7 Km² lo que involucra un 34,6 por ciento del área estudiada, incluye las zonas altas pertenecientes a los poblados de Rancho Redondo, Vista de Mar y sus alrededores.

Morfografía: Esta unidad agrupa a parte de las laderas occidentales del macizo volcánico del Irazú. Presentan una topografía sumamente disectada producto del socavamiento de los ríos y quebradas de la zona (20 metros o más en las partes más altas), los cuales presentan una dirección preferencial rumbo oeste, las pendientes presentes en esta unidad son sumamente altas, involucrando inclinaciones generalmente superiores a los 35°, con divisorias de aguas muy angostas.

Con base en la topografía observada es posible delimitar ciertos flujos y depósitos, los cuales se caracterizan por presentar un drenaje con dirección este-oeste. Los depósitos tienden a orientar a los ríos y quebradas del lugar, dichos flujos se podrían relacionar con frentes de colada provenientes del foco volcánico del Irazú, sin embargo son difíciles de observar en el campo debido a potentes espesores de cenizas meteorizadas que se encuentran en la zona. Los fondos de los valles por lo general son angostos en forma de V, evidenciando una erosión intensa a profundidad. Se caracteriza por tener divisorias de aguas angostas, poco redondeadas.

Esta unidad presenta dos tipos de patrón de drenaje dominantes, uno paralelo y otro dendrítico, este último predomina en las partes más altas, tornándose paralelo en los principales ríos colectores de la zona como lo es el Virilla.



Además los cauces de los ríos presentan gran cantidad de material coluvial, lo cual incluye bloques de tamaños métricos. Al pie de los cauces de río, en ciertos sectores se pueden presentar, movimientos de reptación, socavamiento y deslizamientos producto de materiales poco estables. 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 (Muy Alta), mientras que la sedimentación se daría en muy baja proporción siendo destinada a sectores puntuales y de poco espesor (Muy Baja).

En lo referente a la relación entre la dirección del talud con las lineaciones y estructuras tectónicas regionales, se ha observado que en su mayoría los taludes y cauces de ríos y quebradas presentan una tendencia a ser perpendiculares con rumbos hacia el suroeste en contraparte con los sistemas de fallas que tienen rumbo NW/SE (Fallas Cipreses, Lara y Nubes), cerca de las cuales se observan secciones paralelas.

Para otras secciones en donde la roca presenta un alto contenido de material arcilloso y no hay evidencia en superficie de fallamiento se ha optado por indicar una relación una relación de tipo Oblicua ya que se conoce por los registros litológicos de pozos (descripciones realizadas por Ramos, 2014) el alto grado de fracturamiento que poseen las coladas de roca de la zona.

Tipo de Rocas: Litológicamente esta unidad está conformada por depósitos de origen volcánico, incluyendo coladas de lavas y depósitos de cenizas interdigitados provenientes del flanco suroeste del volcán Irazú asociadas a las Formaciones Sapper y Reventado.

MORFOGÉNESIS: Genéticamente esta unidad es producto de la interacción entre los depósitos de origen volcánico del Irazú y la erosión hídrica de los ríos de la zona.

La actividad volcánica generó una serie de productos eruptivos (flujos de lava o material piroclástico). Dichos procesos que generaron relieves positivos, que luego con el pasar del tiempo se han ido erosionando debido a factores climáticos.

EDAD: Alvarado, et al., 2006, indica dataciones radiométricas para las Formaciones Sapper y Reventado con un rango de edad entre los 110.000 años hasta los ± 5.000 años.

LADERAS DENUDACIONALES DE MODERADA PENDIENTE

Ubicación: Comprenden los cerros ubicados al oeste, de Goicoechea, en los distritos de Purral y Mata de Plátano. Comprende un área de aproximadamente 22,9 Km² lo que involucra un 32 por ciento del área estudiada,

Morfografía: Presenta topografía medianamente disectada producto del socavamiento de los ríos y quebradas de la zona (valles menores a 20 metros), las pendientes presentes en



esta unidad son moderadas, involucrando inclinaciones dominantes entre los 8° a los 35°. Las divisorias de aguas presentan un relieve más redondeado.

Esta unidad presenta un patrón de drenaje, predominantemente paralelo, indicativo de antiguos flujos de origen volcánico son su principal dominante. Los ríos presentan una transición de sus cauces de tipo V a tipo U, pasando de una erosión a profundidad a una erosión laminar lateral.

En ciertos sectores cercanos a los orillas se pueden presentar deslizamientos pequeños producto de la dinámica de los ríos y de la invasión a la zona de protección del río por parte de actividades urbanas. Debido a esto, en lo que respecta los procesos de erosión/sedimentación, debido a que ésta unidad posee una pendiente moderada, y con base en sus productos, se considera como una zona de transición en donde se considera que ambos procesos se encuentran en equilibrio (Procesos erosión/sedimentación Moderados).

En lo referente a la relación entre la dirección del talud con las lineaciones y estructuras tectónicas regionales, no se ha observado un relación importante debido a la cobertura litológica presente y a la no presencia de fallas neotectónicas en el área, por lo que en general para ésta unidad el sentido del talud con respecto a la tectónica regional, se considera como sin relación.

Tipo de Rocas: Las rocas aflorantes dentro de esta unidad involucran litologías asociadas depósitos de origen volcánico, incluyendo coladas de lavas y cenizas interdigitados provenientes del flanco suroeste del volcán Irazú asociadas a las Formaciones Sapper y Reventado. Además de depósitos de Lahares asociados a la Formación Lahares y cenizas.

MORFOGÉNESIS: Producto de la acción erosiva sobre el relieve el cual tiende a presentarse más estable, es decir la acción erosiva es menos intensa, debido a una relativa estabilidad entre los procesos de sedimentación/erosión.

EDAD: Alvarado, et al., 2006, indica dataciones radiométricas para las Formaciones Sapper y Reventado con un rango de edad entre los 110.000 años hasta los ± 5.000 años. Mientras que Denyer & Arias (1991) asignan una edad pleistoceno tardío a Holoceno para la Formación Lahares y Cenizas.

LADERAS VOLCÁNICAS DE BAJA PENDIENTE

Ubicación: Se localizan desde la parte oeste de Ipís y Purral, abarcando todos los distritos de Guadalupe, San Francisco y Calle Blancos

Morfografía: Abarca un área de 23,8 km², lo que equivale al 33,35 % del área estudiada. Presenta un relieve de ondulado con pendientes bajas. Esto se debe a una disminución en



el ángulo promedio de pendiente la cual ronda valores promedio menores a los 8 grados de inclinación.

El cambio de pendiente favorece la presencia de depósitos de mayor espesor conformados por materiales que varían de gruesos a más finos con conforme se aleja de la zona montañosa ubicada al este, en esta sección los cauces de los ríos son anchos cambiando la forma en V por una en U y disminuyendo la fuerza de arrastre, por lo cual es una unidad que favorece el inicio de procesos de sedimentación. Las divisorias son anchas y el patrón de drenaje es paralelo, los cauces presentan una dirección predominante de flujo hacia el oeste.

Los movimientos de masa son muy escasos centralizándose en los márgenes de los ríos durante eventos extraordinarios o por producto de la invasión de las zonas de protección debido a un crecimiento urbano sin planificación. La erosión predominante es la laminar, con sentido a descargar a la cuenca del río Virilla.

Debido a éstas características en esta unidad se estima una predominancia de los procesos de sedimentación (Altos) sobre los erosivos (Bajos).

En lo referente a la relación entre la dirección del talud con las lineaciones y estructuras tectónicas regionales, no se ha observado un relación importante debido a la cobertura litológica presente y a la no presencia de fallas neotectónicas en el área, por lo que en general para ésta unidad el sentido del talud con respecto a la tectónica regional, se considera como ninguna. Cabe señalar los sectores cercanos a la Falla Ciprés se ha considerado con respecto a la geomorfología una zona con presencia de alineamientos de cauces con respecto a la traza de falla, que podría indicar un cierto grado de relación por lo cual para este sector se ha determinado una lineación de tipo Oblicua.

Tipo de roca: Ésta unidad se conforma de depósitos de lahares y capas de ceniza que generan un suelo arcilloso color café claro, los cuales se asocian a la Formación Lahares y Cenizas definida por Denyer & Arias (1991).

Morfogénesis: El origen de esta unidad se encuentra relacionado con el relleno de lahares y otros debrís de origen volcánico, que se depositaron sobre anteriores depósitos de ignimbrita de topografía plana. Estos materiales representan una forma originada por la geodinámica interna denominada por Bergoing et al (1981) como Planos y mesetas estructurales.

Edad de la forma: Denyer & Arias (1991) asignan una edad pleistoceno tardío a Holoceno para la Formación Lahares y Ceniz



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

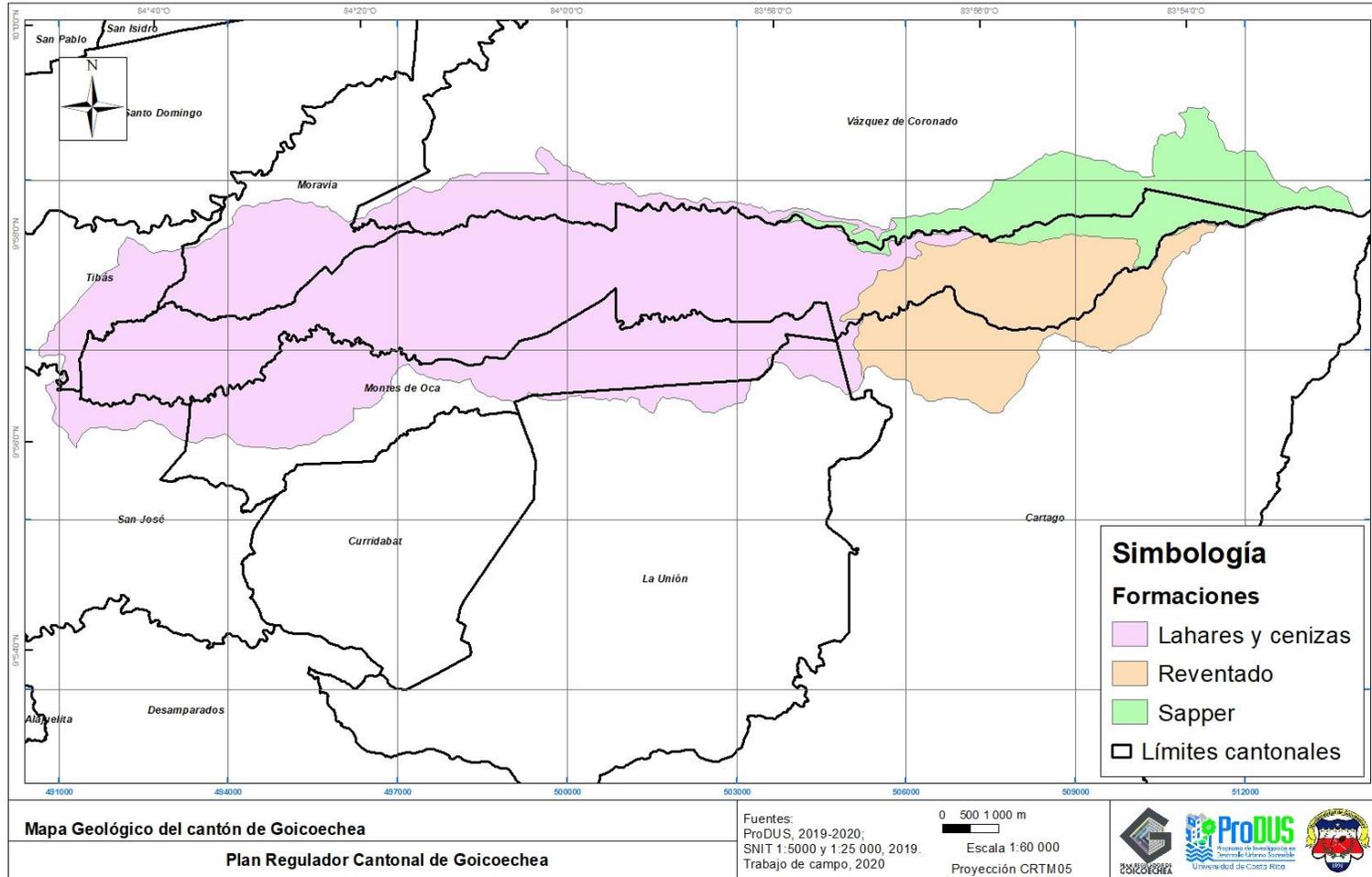


Figura 7: Mapa geológico.



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

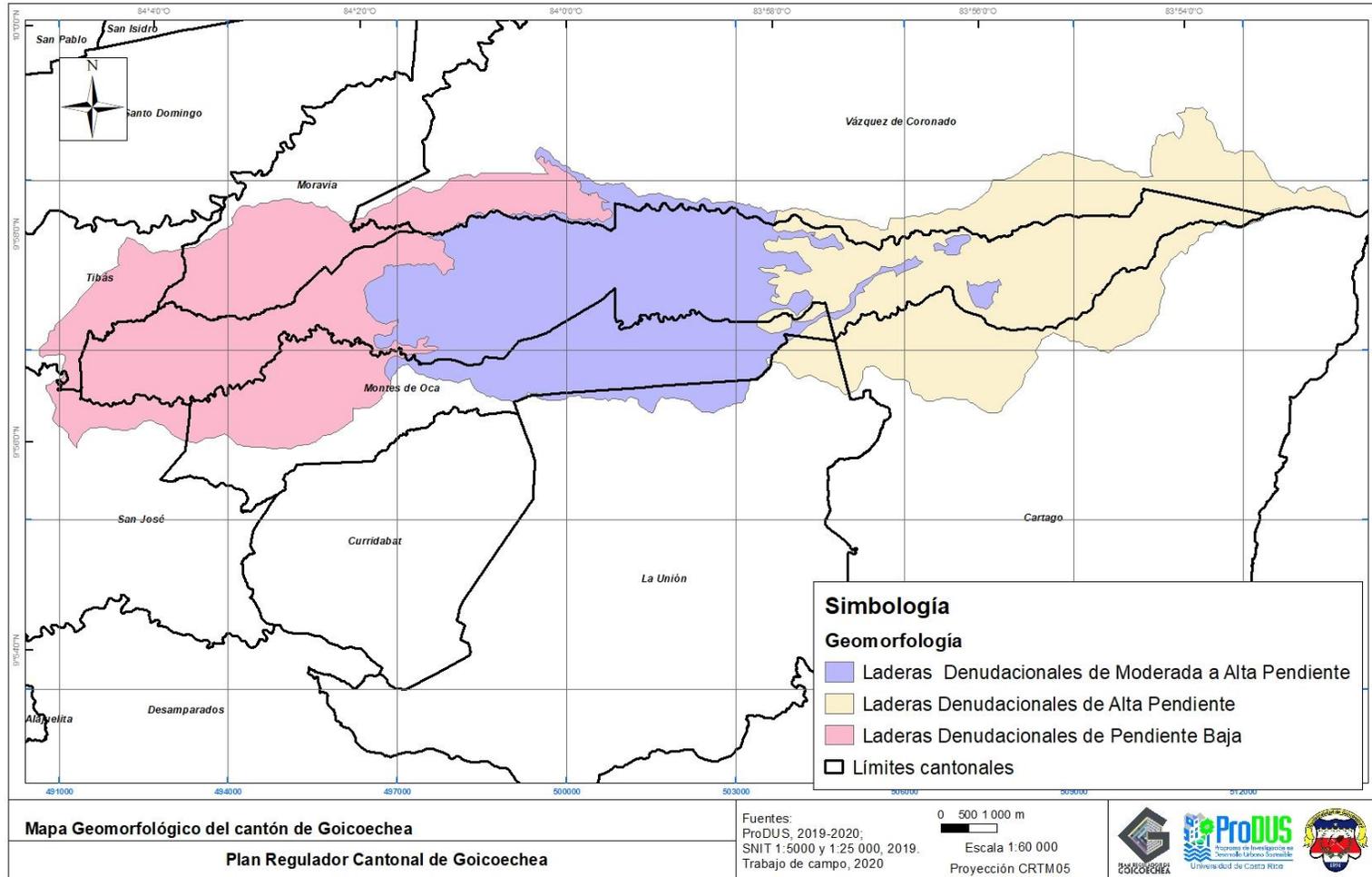


Figura 8: Mapa geomorfológico.



5. Referencias

- ALONSO-HENAR, J., MONTERO, W., MARTÍNEZ-DÍAZ, J., ÁLVAREZ-GÓMEZ, J., INSUA-ARÉVALO, J., AND ROJAS, W. (2013). The Aguacaliente Fault, source of the Cartago 1910 destructive earthquake (Costa Rica). *Terra Nova*, 25(5), 368-373. doi: 10.1111/ter.12045.
- ALVARADO, G.E.; CARR, M.J.; TURRIN, B.D.; SWISHER, C.C.; SCHMINCKE, H.U. & HUDNUT, K.W., 2006: Recent volcanic history of Irazú volcano, Costa Rica: Alternation and mixing of two magma batches, and pervasive mixing. -En: ROSE, W.I.; BLUTH, G.J.S., CARR, M.J., EWERT, J., PATINO, L.C. & VALLANCE, J. (eds.): *Volcanic Hazards in Central America*, *Geol. Soc. Amér. Sp. Paper*, 412: 259-276.
- ALVARADO, G. E. & GANS, P., 2012: Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 46: 7-122.
- ARREDONDO, S.G. & SOTO, G.J., 2006: Edad de las lavas del Miembro Los Bambinos y sumario cronoestratigráfico de la Formación Barva, Costa Rica. – *Rev. Geol. Amér. Central*, 34 – 35: 59 – 71.
- BERGOEING, J. P. & E. MALAVASSI. 1981. Carta Geomorfológica del Valle Central. Escala: 1:50.000 (9 hojas mas texto) editada en colores por Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica (900 ejemplares)
- COMISIÓN NACIONAL DE EMERGENCIAS, 2020: Mapa de amenazas Naturales del Cantón de Goicoechea, Escala 1:50 000.
- CLIMENT, A., ROJAS, W., ALVARADO & G., BENITO B., 2008: Evaluación de la amenaza sísmica en Costa Rica. Proyecto Resis II. Universidad de Costa Rica, Instituto Costarricense de Electricidad, Comisión Nacional de Emergencias. 110 págs.
- DENYER, P., & ARIAS, O., 1991: Estratigrafía de la región central de Costa Rica. – *Rev. Geológica de América Central* (12): 1-59. San José, Costa Rica.
- BATALLA, M Y BURCALLA, P 2002: Licuefacción de los suelos. Informe Final del Proyecto de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Fidelitas 126p
- DENYER, P. et al, 2003: Atlas tectónico de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- DÓNDOLI, C., 1954: Estudio geoagronómico de la región oriental de la Meseta Central. Ministerio de Agricultura e Industrias, 180 pág.
- ECHANDI, E., 1981: Unidades Volcánicas de la vertiente norte de la Cuenca del río Virilla. – Escuela Centroamericana de Geología. San José, Costa Rica. 123 pág. + 1 mapa. [Tesis de licenciatura].



FERNÁNDEZ, M., 1969: Las unidades hidrogeológicas y los manantiales de la vertiente norte de la cuenca del Río Virilla. 43 pág. San José, Costa Rica.

FERNÁNDEZ, M., MORA, M. & BARQUERO, R., 1998: Los procesos sísmicos en el volcán Irazú (Costa Rica) . – Rev. Geol. Amér. Central, 21: 47-59.

FERNÁNDEZ, M. & PACHECO, A., 1998: Sismotectónica de la región central de Costa Rica. – Rev. Geol. Amér. Central, 21: 5-23.

FERNANDEZ et al, 1998: Procesos Sísmicos en el Volcán Irazú. Rev. Geol. Amér. Central. 21: 47 -58.

KRUSHENSKY, R.D., 1972: Geology of the Irazú Quadrangle: Washington, U.S. Geological Survey Bulletin 1353, 46 p.

LÓPEZ-OVIEDO, J.D., 2015: Recarga Potencia para los Acuíferos de un sector al sur del río Virilla, San José, Costa Rica.- ECG-UCR. San José, Costa Rica. [Tesis de Licenciatura].

MALAVASSI, E., 1965: Reseña geológica del Valle Central de Costa Rica. – Informes técnicos y notas geológicas. 25 pág. San José, Costa Rica

MALAVASSI, E., & MADRIGAL, R., 1967: Reseña geológica del Área metropolitana de Costa Rica. – Informes técnicos y notas geológicas. 9 págs. San José, Costa Rica.

MARSHALL, J., FISHER, D., AND GARDNER, T., 2000: Central Costa Rica deformed belt: Kinematics of diffuse faulting across the western Panama block. *Tectonics*, 19(3), 468-492. doi: 10.1029/1999TC001136.

MONTERO, W., Y MIYAMURA, S. (1981). Distribución de intensidades y estimación de los parámetros focales de los terremotos de Cartago de 1910, Costa Rica, América Central. Informe Semanal Instituto Geográfico Nacional, San José, pp. 9-34.

MONTERO, W. (1994). Neotectonics and related stress distribution in a subduction collisional zone: Costa Rica. In: H. Seyfried, W. Hellmann (Eds.). *Geology of an Evolving Island Arc. The Isthmus of Southern Nicaragua, Costa Rica and Western Panamá* (pp. 125-141). Profil 7. Stuttgart: Institut fuer Geologie und Palaeontologie der Universitaet Stuttgart.

MONTERO, W. & ALVARADO, G., 1995: El Terremoto de Patillos del 30 de diciembre de 1952 ($M_s=5,9$) y el contexto Neotectónico de la Región del Volcán Irazú, Costa Rica. *Rev. Geol. Amér. Centr.*, 18: 26 - 40.

MONTERO, W., DENYER, P., BARQUERO, R., ALVARADO, G., COWAN, H., MACHETTE, M., HALLER M K & DART, RICHARD. 1998: Map an database of Quaternary faults and folds in Costa Rica and its offshore regions. – Reporte preliminar de USGS.

MONTERO, W. (2001). Neotectónica de la región central de Costa Rica: frontera oeste de la microplaca de Panamá. *Revista Geológica de América Central*, 24, 29-56. doi: 10.15517/rgac.v0i24.8551.



MONTERO, W., FERNANDEZ, M., 2002: Fallamiento y sismicidad del area entre Cartago y San José, valle central de Costa Rica. *Rev. Geol. Amér. Central.*, 26: 25-37.

MONTERO, W., 2003: El sistema de falla Atirro-Río Sucio y la cuenca de tracción de Turrialba-Irazú: indentación tectónica relacionada con la colisión del levantamiento del Coco. – *Rev. Geol. Amér. Central*, 28:05-29.

MONTERO, W., BARAHONA, M., ROJAS, W., TAYLOR, M., 2005: Los sistemas de fallas Agua Caliente y Río Azul y rellenos compresivos asociados, valle central de Costa Rica. *Rev. Geol. Amér. Central.*, 33:7-27.

MONTERO, W. (2010). El Terremoto de Cartago del 4 de mayo de 1910: Aspectos sismológicos y neotectónicos. En: G. Peraldo, B. Acevedo (eds.). *Efemérides de la destrucción de Cartago cien años después (1910-2010)* (pp. 37-47). San José: Ediciones Perro Azul.

PANIAGUA, S., 1975: Geología y aspectos hidrogeológicos generales del primer campo de pozos para el abastecimiento completo del agua del Área metropolitana de San José. – Escuela Centroamericana de Geología. San José, Costa Rica. 39 pág. [Tesis de licenciatura].

P.PARDO & J. PALOMAR., 2012: Metodología para la caracterización geomorfológica de los barrancos del sur de menorca mediante perfiles transversales. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría Universidad Politécnica de Valencia.

PERALDO, G., Y MONTERO, W. ,2010: Sismicidad anterior y posterior a los terremotos del 13 de abril y el 5 de mayo de 1910. En: G. Peraldo, y B. Acevedo (Ed.). *Efemérides de la destrucción de Cartago cien años después (1910-2010)* (pp. 37-47). San José: Ediciones Perro Azul.

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 Cental, C.R.-*Bull. Volcanology*, 69-:25-40

RAMOS, J., 2014: Modelo hidrogeológico conceptual de un sector al sur de la margen izquierda del Río Virilla, San José, Costa Rica.- ECG-UCR. San José, Costa Rica. [Tesis de Licenciatura].

RODRÍGUEZ, E., LINKIMER, L., Y MONTERO, W.:2019. Neotectónica de la falla Cipreses, Costa Rica. *Boletín de Geología*, 41(2), 15-33. DOI: 10.18273/revbol.v41n2-2019001.

VAN ZIUDAM, R., 1986: *Aerial Photo-interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. Smits Pub., The Hague, 442 pp.



WELLS, D. & COPPERSMITH, K., (1994): New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. - Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 4: 974-1002.

WILLIAMS, H., 1952: Volcanic History of the Meseta Central Occidental Costa Rica. – University of California publications in geological sciences, 29 (4): 145-180.

ZINCK, J., 2012: Elementos de geomorfología para studios de suelos y de riesgos naturales. - 123 págs. ITC, Faculty of Geo-Information. Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.

COMPONENTE BIOLÓGICO



8. IFA Cantón Goicoechea, diagnóstico Biótico.

INDICE GENERAL

1	Caracterización Biológica	1
1.1	Generalidades del Cantón.....	1
2	Metodología de la caracterización	1
3	. Zonas de Vida descritas para el cantón	2
3.1	Bosque Húmedo Premontano (bh-P) (1000-2000mmm)	2
3.2	Bosque muy húmedo premontano (bmh-P) (2000-400mm).....	3
3.3	Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) (2000-4000mm)	3
3.4	Bosque húmedo montano bajo (bh-MB) (1000-2000mm).....	4
3.5	Bosque pluvial montano (bp-M) (2000-4000mm)	4
4	Descripción biológica de los distritos	4
4.1	Flora y Fauna de distritos más urbanizados, Guadalupe, San Francisco, Calle Blancos, Ipís y Purral.....	4
4.1.1	Árboles más comunes.	5
4.1.2	Fauna	6
4.2	Flora y Fauna de los distritos menos urbanizados, Mata de Plátano y Rancho Redondo.....	7
4.2.1	Árboles más comunes.	8
4.2.2	Fauna	9
2.1.1	Sobre los corredores biológicos.....	10
2.1.2	Recomendaciones	12
5	Literatura consultada	15
6	Anexos	18
6.1	Registros de árboles en el cantón Goicoechea.	18
6.2	Registros de Anfibios en el cantón Goicoechea.	25
6.3	Registros de reptiles en el cantón Goicoechea.	26
6.4	Registros de mamíferos en el cantón Goicoechea.	27
6.5	Registros de aves en el cantón Goicoechea.	29



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 y 2. Diferenciación de posible calidad de aguas en partes altas y urbanas dentro del cantón de Goicoechea.....	3
Figura 3. Parte del río Torres y de los distritos Guadalupe, San Francisco, Calle Blancos, Ipís y Purral con casi la totalidad de su área urbanizada con escasa cobertura arbórea en zonas riparias (Google Earth 2020).	5
Figura 4. Árboles en potreros y zonas de recarga acuífera de los contribuyentes de los ríos con cobertura arbórea y altas pendientes.	7
Figura 5. Zona más alta del cantón, con pastizales, árboles dispersos y cobertura arbórea aledaña a cauces de contribuyentes de los ríos del cantón evidenciando conectividad con la Cordillera Volcánica Central,.....	8
Figura 6. Conectividad con la Cordillera Volcánica Central, sector Parque Nacional Braulio Carrillo y Parque Nacional Volcán Irazú.....	11

1 CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA

1.1 Generalidades del Cantón.

La fundación del cantón número 8 de la provincia de San José se ve consolidada con el nombramiento de Goicoechea en el año 1891, consta de 7 distritos, Guadalupe, San Francisco, Calle Blancos, Mata de plátano, Ipís, Rancho Redondo y Purral. Con una extensión de 31,5 Km² y una población de 133 557 habitantes (INEC 2020).

El cantón posee más de su tercera parte del territorio urbanizado, comprendido por los distritos Guadalupe, San Francisco, Calle Blancos, Ipís y Purral donde los únicos espacios con cobertura vegetal comprenden parques urbanos, cañones de ríos y quebradas con charral y algunos árboles pioneros dispersos. Los dos restantes distritos, Mata de Plátano y Rancho Redondo poseen aproximadamente las dos terceras partes de su territorio conformado por actividades de turismo, ganadería de leche, agricultura, plantaciones forestales y remanentes de bosque secundario en cañones de ríos y quebradas, pero en su mayor parte en el límite con áreas protegidas como el Parque Nacional Braulio Carrillo y zonas protegidas como Coyotes y río Tiribí (INTERNET 1).

En cuanto al relieve del cantón, cuenta con alturas sobre el nivel del mar que van desde los 1170 metros hasta los 3040 msnm en el Cerro Cabeza de vaca, con cambios de altitud, precipitación (hasta de 1800mm) y humedad relativa que propician un clima templado de montaña con gran diversidad de flora y fauna que se ha visto desplazada por la actividad humana, urbana y como productiva debido a los ricos suelos de origen volcánico que posee el cantón.

Por otro lado, la hidrografía o sistema fluvial del cantón de Goicoechea, corresponde a la vertiente del Pacífico, drenando sus aguas hacia la cuenca del río Grande de Tárcoles. El cantón es recorrido por los ríos Purral, al que se le unen el río Navarro y la quebrada Mozotal, el río Ipís, el río Durazno, el río Torres, el río Tiribí y las quebradas Barreal, Cangrejos, Patalillo, Patal y Ribera. Todos los cursos de agua, excepto el río Torres, nacen en el este del cantón en la ladera oeste del cerro Cabeza de Vaca (Solano 2004). Es muy evidente la diferenciación de la calidad de aguas de los diferentes cauces, en las partes altas del cantón, se encuentran aguas relativamente limpias a simple vista, contrastante con la contaminación visual de las aguas dentro de las zonas urbanas, donde la mayoría de los ríos y quebradas se evidencian grados de contaminación en las aguas (Figura 1 y 2)

Figura 1 y 2. Diferenciación de posible calidad de aguas en partes altas y urbanas dentro del cantón de Goicoechea.

2 METODOLOGÍA DE LA CARACTERIZACIÓN

El monitoreo e inspección del cantón se realizó durante finales del mes de agosto y principios de setiembre del 2020, con recorridos por los distritos, en zonas urbanas como rurales, cultivadas y con vegetación natural. Los recorridos se realizaron mediante un vehículo todo terreno, además se realizaron caminatas en sectores donde la topografía y los permisos de los pobladores lo permitían, así como en zonas seguras del cantón.



Para determinar la diversidad de anfibios y reptiles se utilizó la técnica de inspección por encuentros visuales establecida por varios autores (Heyer *et al.* 1994, Lips *et al.* 2001, Doan 2003, Savage 2002 y Solórzano 2004), los individuos encontrados fueron identificados en el campo mediante la ayuda de material didáctico de los autores mencionados además del expertiz profesional.

La diversidad de aves se registró durante los recorridos por el área como en caminatas por algunos sectores donde se evidenciaba posible recurso alimenticio para este grupo taxonómico, mediante búsqueda intensiva (Ralph *et al.* 1996, Stiles y Skutch 2007), aves de costa rica (Garriges 2007) y el CD de cantos de aves de Costa Rica (David y Ross 2001), Se registraron tanto las especies observadas como las escuchadas.

Para mamíferos terrestres y arborícolas se utilizó la técnica de búsqueda intensiva directa (observación de individuos) e indirecta (ubicación de rastros como huellas, excretas, sonidos, madrigueras y bañaderos). Las especies fueron identificadas y corroboradas con una guía de campo (REID 1997, Wainwright 2007).

Los sitios visitados fueron ubicados en hojas cartográficas y georeferenciados con un posicionador satelital GPS Garmin Map 62S.

3. ZONAS DE VIDA DESCRITAS PARA EL CANTÓN

Para realizar una descripción de las principales zonas de vida del cantón Goicoechea, se utilizó la clasificación de Zonas de Vida de L.R. Holdridge (1987 adaptado por el autor Bolaños *et al.* 2005). Las zonas de vida involucran ámbitos bióticos específicos, determinados por factores climáticos fundamentales (específicamente temperatura, precipitación y humedad), altitud sobre el nivel del mar y su integración a los sistemas bióticos presentes. Se debe subrayar que la clasificación por zonas de vida se refiere a las variables de geografía física mencionadas, no al uso del suelo.

En este sentido, una zona de vida permite conocer el tipo de ecosistema que se desarrollaría en los pisos altitudinales definidos (potencialmente), caso de que existiera bosque primario o naturalmente desarrollado con especies nativas de la zona en cuestión. Las zonas de vida presentes en el área estudiada, según Quesada (2007), se describen a continuación.

3.1 Bosque Húmedo Premontano (bh-P) (1000-2000mmm)

En esta zona de vida se ubicaron los distritos San Francisco, Calle Blancos, Guadalupe y una pequeña parte de Ipis, Purral y Mata de plátano. La parte más urbanizada del cantón de Goicoechea se encuentra dentro de esta zona de vida, Bosque Húmedo Premontano (bh-P), constituido en el área de estudio por escasa vegetación ribereña del río Torres, la quebrada Cangrejos y otras quebradas de menor cauce con zonas de protección muy angostas y poco densas a nivel de cobertura vegetal.

En este caso los árboles presentes están rodeados por urbanismo, en relieves con pendiente en la mayoría de los casos mayores al 10% y en muchos casos a 30%, dispuestos de forma irregular, en pocos segmentos conforman un dosel, muchas veces



solitarios en una matriz de hierbas o arbustos y enredaderas. En otras áreas los árboles están en potreros, cercas vivas y pequeños parques o bulevares.

Según el sistema de zonas de vida de Holdridge (Bolaños *et al.* 2005) este es un bioclima muy atractivo para el asentamiento humano y probablemente es la Zona de Vida más apreciada del país, debido a su clima. Es también un excelente bioclima para el desarrollo de las actividades del uso de la tierra.

El ámbito de precipitación varía entre 1200 y 2200 mm, como promedio anual y su biotemperatura oscila entre 17 y 24 °C. Presenta un periodo seco de 3.5 a más de 5 meses. El tipo de bosque predominante es semidecíduo, con pocas epífitas, en dos estratos, árboles con fustes cortos y macizos, poco denso y con alturas inferiores a los 25 metros.

3.2 Bosque muy húmedo premontano (bmh-P) (2000-400mm)

En esta zona de vida se encuentra casi la totalidad de los distritos Ipís y Purral mientras que de Mata de Plátano aproximadamente el 50% de su área. La flora y fauna silvestre se encuentra mayormente en un tramo de la zona de protección del río Torres, Ipís, Purral y quebradas Mozotal, Patalillo y otras menores o sin nombre en la zona.

Esta zona de vida posee un rango de precipitación mayor que la anterior, 2000 a 4000 mm como promedio anual (Bolaños *et al.*, 2005). Comprende partes bajas de cordilleras (500-1500 metros sobre el nivel del mar aproximadamente) 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 montana* (carne asada), *Cedrela odorata* (Cedro amargo), *Turpinia occidentalis* (falso cristóbal), *Ulmus mexicana* (tirá), entre otras especies.

3.3 Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) (2000-4000mm)

En esta zona de vida se encuentra casi la totalidad del territorio del distrito Rancho redondo, además de una pequeña parte de Mata de Plátano y Purral. Esta parte del cantón es de gran importancia para la conservación de flora, fauna y fuentes de agua, además, estamos ante la presencia del bosque nuboso, con precipitaciones cercanas a los 4000 mm y con cobertura boscosa en latitudes superiores funge como una gran zona de recarga acuífera. Esto lo evidencia las nacientes de ríos y quebradas como el río Navarro, Ipís, Tiribí y Purral. Así mismo las quebradas Patalillo, Patal, Salitral y Corralillo.

Por lo anterior es un sector con remanentes de bosque que mantienen fauna y flora, proporcionando hábitats, refugio, rutas de dispersión y reservorio de material genético de muchas especies conformando parte de un corredor biológico proveniente de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica, especialmente del Parque Nacional Braulio Carrillo con presencia de neblina durante largos periodos durante el día y en transcurso del año, típico de este bosque nuboso de Costa Rica.

Los terrenos de esta zona de vida son en su mayoría de topografía accidentada, con ladera expuesta a vientos (que traen considerable humedad). Esta formación se ubica en las partes altas de las cordilleras, superando los 2000 msnm, donde predomina el género *Quercus*, *Alnus acuminata* (jaúl), *Cornus disciflora* (lloró), *Magnolia poasana* (magnolia),



entre otras. Los troncos de los árboles están cubiertos por abundantes epifitas (Bolaños *et al.* 2005).

3.4 Bosque húmedo montano bajo (bh-MB) (1000-2000mm)

En esta zona de vida se encuentra el resto del territorio de Mata de Plátano. Por su parte el distrito Rancho Redondo posee quizá más del 75% de su área en esta zona de vida, incluyendo parte del Parque Nacional Braulio Carrillo y de la Zona Protectora río Tiribí.

Esta zona de vida presenta un periodo efectivamente seco moderado entre 2 a 4 meses secos (Bolaños *et al.* 2005), en zonas con altitudes entre los 1400 y 2100 msnm con bosques de baja altura, dos estratos, poco densos, abundantes epifitas y siempreverde. En estos sectores es común encontrar especies como los aguacatillos y quizarrá (Familia Lauraceae) (*Cinnamomum triplinerve*, *Ocotea veraguensis*, *Nectandra latifolia*, *Persea americana*), cedro dulce (*Cedrela tonduzii*) y asteráceas como *Montanoa guatemalensis*, entre otras.

3.5 Bosque pluvial montano (bp-M) (2000-4000mm)

En esta zona de vida se encuentra gran parte del distrito Rancho Redondo, con territorio dentro del Parque Nacional Braulio Carrillo.

Esta zona de vida, presenta un rango de precipitación entre 2200 y 4500 mm anuales en promedio (Bolaños *et al.* 2005), incluye territorios cercanos a las faldas del Volcán Irazú, como en este caso. Esta zona de vida presenta en las partes más altas vegetación predominante como *Chusquea sp*, *Artostaphylos sp*, *Pernetia sp*, *Vaccinium consanguineum*, *Senecio sp*. Sobre los 3500 msnm, se presenta el límite superior de crecimiento de árboles, sobre esta altura, la vegetación se torna a una forma enana o bien el componente arbóreo desaparece.

4 DESCRIPCIÓN BIOLÓGICA DE LOS DISTRITOS

4.1 Flora y Fauna de distritos más urbanizados, Guadalupe, San Francisco, Calle Blancos, Ipís y Purral.

De acuerdo al nivel de urbanismo y altitud sobre el nivel del mar podemos agrupar 5 distritos del cantón de Goicoechea para describir su flora y fauna ya que por esas condiciones presentan especies comunes en zonas alteradas y en el caso de la fauna especies que toleran la presencia humana, ya sea que salgan durante el día a sitios donde conviven con humanos o que se escondan o refugien y salgan de noche cuando hay menor actividad humana.

Los distritos como Guadalupe, San Francisco, Calle Blancos, Ipís y Purral poseen en la mayoría de su territorio elevaciones entre los 1170 y 1300 metros sobre el nivel del mar (msnm), con casi la totalidad de su área urbanizada, quedando la vegetación existente restringida a orillas de cauces de ríos y quebradas, además de algunos parques urbanos con árboles aislados. Esta vegetación son árboles aislados, algunos plantados otros de forma natural, inmersos en pastizales, charrales, enredaderas o arbustos. En algunos



sectores los árboles logran conectar sus copas formando un dosel de un remanente de bosque, pero en la mayoría de los casos, en las márgenes riparias, los árboles se encuentran de manera separada.

En Guadalupe se encontró vegetación remanente de un bosque ribereño en la quebrada Barreal, que comparte con Calle Blancos, un tramo del río Purral y a lo largo del río Torres, al igual que San Francisco, en este cantón también está la quebrada Cangrejos. En el distrito Ipís el río del mismo nombre y la quebrada Mozotal que comparte con el distrito Purral colindando con el río del mismo nombre (Figura 3).



Figura 3. Parte del río Torres y de los distritos Guadalupe, San Francisco, Calle Blancos, Ipís y Purral con casi la totalidad de su área urbanizada con escasa cobertura arbórea en zonas riparias (Google Earth 2020).

4.1.1 Árboles más comunes.

Podemos mencionar algunas de las especies observadas como jaules (*Alnus acuminata*), aguacates (*Persea americana*), laurel (*Cordia alliodora*, *C. cymosa*), Sauco (*Sambucus nigra*), guarumo (*Cecropia obtusifolia*), orquídea de palo o casco de venado (*Bauhinia purpurea*), laurel de la india (*Ficus benjamina*), árbol del saprissa o flor nacional de Paraguay (*Brunfelsia pauciflora*), mangle de montaña (*Bravaisia integerrima*), dama (*Citharexylum donnell-smithii*), guitite (*Acnistus arborescens*), árbol de orégano (*Lippia myriocephala*), pavón (*Megaskepasma erythrochlamys*), guachipelín (*Diphysa americana*, *Diphysa* sp.), guayaba (*Psidium guajava*), ciprés (*Cupressus lusitanica*), pino (*Pinus caribea*), eucalipto (*Eucalyptus deglupta* y *E. gunnii*), mango (*Mangifera indica*), sota caballo (*Zygia longifolia*), jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), manzana rosa (*Syzygium jambos*), corteza (*Tabebuia ochracea*), acerola (*Malpighia glabra*), sonzapote (*Licania platypus*), manzana de agua (*Syzygium malaccense*), carambola (*Averrhoa carambola*), cas (*Psidium friedrichsthalium*), Uruca (*Trichilia hirta*, *T. havanensis*), lagartillo (*Zanthoxylum acuminatum*), nispero (*Eriobotrya japonica*), poró (*Erythrina poeppigiana*), higueros (*Ficus máxima*, *F. costaricana*, *F. jimenezii*, *F. padifolia*, *F. costaricana*), nogal (*Juglans olanchana*), lorito (*Cojoba arborea*), candelillo (*Senna spectabilis*), vainillo (*Tecoma stans*), manzanillo (*Mauria heterophylla*), chilillo (*Picramnia antidesma*), yos (*Sapium*



glandulosum), jocote (*Spondias purpurea*), tucuico (*Ardisia revoluta*), cacho de venado (*Dendropanax arboreus*), guácimo colorado (*Luehea seemannii*), lengua de vaca o maría (*Conostegia xalapensis*), nance (*Byrsonima crassifolia*), gravilea (*Grevillea robusta*), anona (*Annona cherimola*), limón dulce (*Citrus limetta*), cuadrado, banano, plátano (*Musa paradisiaca*), güízarro (*Psidium guineense*), moquillo (*Saurauia montana*) (Anexo 7,1).

Estas especies de flora son de gran importancia para la fauna, debido a que la utilizan como refugio, alimento y hábitats potenciales en un entorno tan urbanizado, con especies que toleran y sobreviven en áreas alteradas y con presencia humana. Estos árboles en zonas riparias forman microcorredores potencializando la dispersión de la fauna y su sobrevivencia, siendo parte de un gran corredor conformado por el río Purral y Torres.

4.1.2 Fauna

En estos delgados hilos con algunos árboles que funcionan como microcorredores y hábitats potenciales podemos estimar la presencia ocasional o perenne de mamíferos como zorros pelones (*Didelphis marsupialis*), zorro hediondo (*Conepatus semistriatus*), yaguarundi (*Puma yaguarondi*), coyotes (*Canis latrans*), nutrias (*Lontra longicaudis*), pizotes (*Nasua narica*), mapaches (*Procyon lotor*), martillas (*Potos flavus*), algunos murciélagos (*Artibeus jamaicensis*, *Desmodus rotundus*, *Carollia spp.*, *Glossophaga soricina*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), ratones (*Mus musculus*, *Reithrodontomys mexicanus*, *Sigmodon hispidus*), taltuzas (*Orthogeomys heterodus*, *O. cherrei*), ardillas (*Sciurus variegatoides*) (Anexo 7,4).

Se observaron algunos reptiles como gallegos y lagartijas en los arbustos o sustrato del bosque como *Norops polylepis*, *N. intermedius*, gecos (*Hemidactylus frenatus*), serpientes como corales (*Micrurus nigrocinctus*), lagartijeras (*Mastigodryas melanolomus*), boas o bequer (*Boa constrictor*), saperillas (*Leptodeira septentrionalis*), eventualmente podrían ser observadas otras especies, pero en un muestreo tan puntual, es poco probable que se puedan encontrar (Anexo 7,3).

En cuanto al grupo de las aves podemos ver y estimar la presencia de este grupo, especies propias de áreas abiertas y alteradas como en orillas de pozas o lagos artificiales algunos pichis (*Dendrocygna autumnalis*) y alzacolitas (*Actitis macularius*), gallinas de monte (*Aramides cajaneus*), en cañones de los ríos y quebradas los vencejones (*Streptoprocne zonaris*), colibríes (*Phaethornis striigularis*, *Chlorostilbon assimilis*, *Phaethornis guy*), tortolitas (*Columbina inca*, *C. talpacoti*), tijos o garrapateros (*Crotophaga ani*), cuyeos (*Nyctidromus albicollis*), gavián chapulinero (*Rupornis magnirostris*), zopilotes como *Cathartes aura* y *Coragyps atratus*, comemaíz (*Zonotrichia capensis*), golondrinas (*Petrochelidon pyrrhonota*, *Stelgidopteryx serripennis*), oropéndulas (*Psarocolius decumanus*), zanates (*Quiscalus mexicanus*), reinita guardariveras (*Myiothlypis fulvicauda*), mieleros y tangaras (*Dacnis venusta*, *Ramphocelus costaricensis*, *Thraupis episcopus* y *T. palmarum*), soterrés (*Catorchilus semibadius*), pechoamarillos (*Megarhynchus pitangua*, *Pitangus sulphuratus*, *Tyrannus melancholicus*), carpinteros (*Melanerpes chrysauchen*), pericos (*Brotogeris jugularis*), búhos y lechuzas (*Ciccaba virgata*, *Pulsatrix perspicillata*), entre otras (Anexo 7,5).

Las especies de anfibios en esta área debería ser considerables ya que existen varias quebradas y ríos, sin embargo, la condición de estos cauces con una delgada franja de



vegetación y altos niveles de contaminación y basura podrían comprometer la supervivencia de estas especies. Entre los anfibios más comunes en el área podemos encontrar ranas de hojarasca de la familia Eleutherodactylidae como *Diasporus diastema*, *Craugastor fitzingeri* de la familia Craugastoridae y *Smilisca sórdida* por parte de las ranas semiarborícolas (Hylidae). Así mismo especies comunes en áreas urbanizadas como el sapo común *Rhinella horribilis* de la familia Bufonidae, entre otras (Anexo 7,2).

4.2 Flora y Fauna de los distritos menos urbanizados, Mata de Plátano y Rancho Redondo.

El distrito Mata de Plátano posee casi la mitad de su territorio urbanizado, sobre todo en el sector Jaboncillal, sin embargo, el resto del distrito, al igual que su homólogo vecino Rancho Redondo poseen viviendas inmersas en potreros con árboles dispersos y en cercas vivas, así como pequeños reductos de remanentes de bosque secundario asociados a ríos, quebradas y nacientes (Figura 4).



Figura 4. Árboles en potreros y zonas de recarga acuifera de los contribuyentes de los ríos con cobertura arbórea y altas pendientes.

Ambos distritos se consideran de suma importancia para la conservación del agua ya que poseen el mayor porcentaje de cobertura arbórea del cantón (20-40%) y nacen importantes afluentes de ríos y quebradas, afirmando esto, se observaron instalaciones del AyA en el área. En Mata Redonda nace el río Purral, mediante tres afluentes y también nace la quebrada Platal que más abajo se llama quebrada Patalillo. Por su parte, en Rancho Redondo, nace el río Tiribí, Navarro y Durazno, además de la quebrada Corralillo. Se pueden observar también las quebradas Jaboncillal, Yoyitos y María Auxiliadora.

Sumado a la importancia por nacientes y los más altos porcentajes de cobertura arbórea está la presencia de más de 62 hectáreas que son parte del Parque Nacional Braulio Carrillo y 50 hectáreas de la Zona Protectora río Tiribí. Esto favorece la conectividad con la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica, de donde procede la mayoría de especies de flora como de fauna y que se podrían encontrar en el corredor biológico formado por la cobertura vegetal de los ríos Purral, Tiribí, Torres y sus afluentes.

Las elevaciones sobre el nivel del mar de los distritos Mata de Plátano y Rancho Redondo van desde los 1355 hasta los 3040 msnm en el Cerro Cabeza de Vaca, extremo este del cantón, punto limítrofe entre Goicoechea y los cantones de Cartago y Vázquez de Coronado.



En estos sitios se observaron vehículos como cuadraciclos y motocicletas de cilindraje considerable haciendo lo que popularmente se conoce como “motocross” debido a las altas pendientes y el mal estado del camino, lo cual genera ruido para la fauna, mayor daño en el camino y probabilidad de accidentes. Se recomienda mejorar el estado del camino y establecer regulaciones, ya que es el camino de acceso para los pobladores de la zona y por dónde trasladan y comercializan sus productos (Figura 5).



Figura 5. Zona más alta del cantón, con pastizales, árboles dispersos y cobertura arbórea aledaña a cauces de contribuyentes de los ríos del cantón evidenciando conectividad con la Cordillera Volcánica Central,

4.2.1 Árboles más comunes.

Algunos de los árboles observados en el área de estudio fueron el sotacaballo (*Zygia longifolia*), espavel (*Anacardium excelsum*), el lagartillo (*Zanthoxylum acuminatum*), jaeles (*Alnus acuminata*), aguacates (*Persea americana*), laurel (*C. cymosa*), guarumo (*Cecropia obtusifolia*), laurel de la india (*Ficus benjamina*), mangle de montaña (*Bravaisia integerrima*), dama (*Citharexylum donnell-smithii*), guitite (*Acnistus arborescens*), árbol de orégano (*Lippia myriocephala*), ciprés (*Cupressus lusitanica*), pino (*Pinus caribea*), eucalipto (*Eucalyptus deglupta*), cas (*Psidium friedrichsthalium*), níspero (*Eriobotrya japonica*), poró (*Erythrina poeppigiana*), higuerones (*Ficus máxima*, *F. costaricana*, *F. jimenezii*, *F. padifolia*, *F. costaricana*), nogal (*Juglans olanchana*), candelillo (*Senna spectabilis*), manzanillo (*Mauria heterophylla*), chilillo (*Picramnia antidesma*), yos (*Sapium glandulosum*), tucuico (*Ardisia revoluta*), cacho de venado (*Dendropanax arboreus*), guácimo colorado (*Luehea seemannii*), lengua de vaca o maría (*Conostegia xalapensis*), nance (*Byrsonima crassifolia*), gravilea (*Grevillea robusta*), anona (*Annona cherimola*), moquillo (*Saurauia montana*), sauce criollo (*Salix humboldtiana*), mango (*Mangifera indica*), casuarina o pino australiano (*Casuarina cunninghamiana*), ceiba (*Ceiba pentandra*), itabo (*Yucca elephantipes*), colpachí (*Croton niveus*), cedro dulce (*Cedrela tonduzii*), cedro nogal (*Juglans olanchana*), papayillo (*Bocconia frutescens*), dama (*Citharexylum donnell-smithii*), orégano de árbol (*Lippia myriocephala*), tubú (*Montanoa guatemalensis*), azulillo (*Ilex lamprophylla*), hoja de salvia (*Buddleja nitida*), capulín (*Trema integerrima*, *T. micrantha*), zorrillo (*Cestrum aurantiacum*), lengua de vaca (*Miconia argentea*, *M. affinis*, *Conostegia xalapensis*), liriotropo (*Hedychium coronarium*), guayabo (*Myrcianthes storkii*), tucuico (*Ardisia revoluta*), robles (*Quercus costaricensis*, *Q. seemannii*), aguacatillos (*Nectandra membranacea*, *Ocotea austini*, *O. veraguensis*, *Persea americana*), magnolias (*Magnolia poasana*), manteco (*Trichilia hirta*), arrayán o cebo (*Morella cerifera*), cas (*Psidium friedrichsthalium*),



guarumo (*Cecropia obtusifolia*), burío (*Heliocarpus appendiculatus*), burío ratón (*Hampea appendiculata*), corcho (*Melaleuca quinquenervia*), anona (*Annona cherimola*), ortiga (*Myriocarpa longipes*), pilón (*Alchornia latifolia*), *Perrottetia longistylis*, nance macho (*Clethra costaricensis*, *C. mexicana*), lloró (*Cornus disciflora*), escobo negro (*Terminalia bucidoides*), cedrillo (*Brunellia standleyana*), guarumo (*Coussapoa parvisceps*), cheflera o papayillo (*Schefflera rodriguesiana*), turrá (*Ulmus mexicana*) (Anexo 7,1).

4.2.2 Fauna

Por la conectividad existente con la Cordillera Volcánica Central propiamente con el sector del Parque Nacional Braulio Carrillo y el Parque Nacional Volcán Irazú la fauna que podría ocurrir en los distritos Mata de Plátano y Rancho Redondo constaría de importantes especies en tamaño, rol ecológico y con estados poblacionales delicados y vulnerables.

Muchas de las especies se prevé que procedan de las grandes áreas silvestres protegidas mencionadas ocurriendo de manera temporal y en sitios muy cercanos a la cordillera o cañones de los ríos y quebradas con más bosque debido a la necesidad de hábitats grandes y recurso alimenticio como dantas (*Tapirus bairdii*), cabro de monte (*Mazama temama*), felinos (*Puma concolor*), saínos (*Pecari tajacu*), tigrillo (*Leopardus tigrinus*), yaguarundi (*Puma yaguarondi*), manigordo (*L. pardalis*), grisón (*Galictis vittata*), nutrias (*Lontra longicaudis*), conejo de monte (*Sylvilagus dicei*), zorros pelones (*Didelphis marsupialis*), zorrí (*Marmosa mexicana*), zorro hediondo (*Conepatus semistriatus*), coyotes (*Canis latrans*), pizotes (*Nasua narica*), martillas (*potos flavus*), algunos murciélagos (*Artibeus jamaicensis*, *Artibeus watsoni*, *Desmodus rotundus*, *Carollia spp.*, *Glossophaga soricina*, *Sturnira lilium*, *Vampyressa pusilla*), armadillo (*Dasybus novemcinctus*), ratones de altura (*Reithrodontomys rodriguezii*), *Peromyscus mexicanus*), taltuzas (*Orthogeomys heterodus*, *O. cherrei*), ardillas (*Microsciurus alfari*), toluco (*Eira barbara*), oso hormiguero (*Tamandua mexicana*), mono Congo (*Alouatta palliata*), mono carablanca (*Cebus imitator*) y tepezcuinte (*Cuniculus paca*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) (Anexo 7,4).

Se estima la presencia de algunos reptiles como gallegos y lagartijas en los árboles o sustrato del bosque *Norops polylepis*, *N. intermedius*, *N. limifrons*, *N. oxylophus*, geco cola naranja (*Lepidoblepharis xanthostigma*), lagartija caimán (*Celestus cyanochloris*), serpientes como corales (*Micrurus nigrocintus*), lagartijeras (*Mastigodryas melanolomus*), boas como la bequer (*Boa constrictor*), saperillas (*Leptodeira septentrionalis*), hojarasqueras (*Coniophanes fissidens*, *Rhadinaea decorata*), serpiente de látigo (*Chironius grandisquamis*), bejuquillas (*Imantodes cenchoa*), loras falsas (*Leptophis ahaetulla*), lora venenosa (*Bothriechis lateralis*), entre otras (Anexo 7,3).

En cuanto al grupo de las aves podemos mencionar aves propias de áreas con mayor cobertura arbórea y cercanía a las montañas, gallinas de monte (*Aramides cajaneus*), vencejones (*Streptoprocne zonaris*), colibríes (*Phaethornis striigularis*, *Chlorostilbon assimilis*, *Phaethornis guy*, *Heliomaster longirostris*, *Amazilia decora*, *Amazilia amabilis*), tortolitas (*Claravis pretiosa*, *Patagioenas nigrirostris*, *Leptotila verreauxi*), tijos o garrapateros (*Crotophaga ani*), cuyeos (*Nyctidromus albicollis*), gavián chapulinero, tizereta y aguilillo listado (*Rupornis magnirostris*, *Elanoides forficatus*, *Spizaetus tyrannus*), zopilotes como *Cathartes aura* y *Coragyps atratus*, comemaíz (*Zonotrichia capensis*), golondrinas (*Pygochelidon cyanoleuca*, *Petrochelidon pyrrhonota*, *Stelgidopteryx serripennis*), oropéndulas y urracas pardas (*Psarocolius decumanus*, *Psilorhinus morio*), zanates



(*Quiscalus mexicanus*), reinita guardarriveras (*Myiothlypis fulvicauda*), mieleros y tangaras (*Dacnis venusta*, *Ramphocelus costaricensis*, *Thraupis episcopus*, *T. palmarum*, *Chlorophanes spiza*), soterrés (*Catorchilus semibadius*), pechoamarillos (*Megarhynchus pitangua*, *Pitangus sulphuratus*, *Tyrannus melancholicus*), carpinteros (*Melanerpes chrysauchen*, *Melanerpes rubricapillus*), tucán (*Ramphastos ambiguus*), pericos copete rojo y aliazulfrado (*Brotogeris jugularis*, *Pyrrhura hoffmanni*), búhos y lechuzas (*Ciccaba virgata*, *Glaucidium brasilianum*, *Pulsatrix perspicillata*), martín pescador (*Chloroceryle americana*), bobo (*Momotus lessonii*), cuclillo listado (*Tapera naevia*), codornices (*Colinus cristatus*, *C. leucopogon*), tangaras y saltarines (*Habia rubica*, *Saltator maximus*), pájaro campana (*Procnias tricarunculatus*), cotingas (*Cotinga ridgwayi*), gallitos de montaña (*Formicarius analis*), yigüirros (*Turdus grayi*, *Turdus nigrescens*), tinamús (*Crypturellus soui*, *Tinamus major*), trogón coliplomizo (*Trogon massena*), quetzal (*Pharomachrus mocinno*), entre otras (Anexo 7,5).

En cuanto a los anfibios en el área podemos encontrar pocas especies, comúnmente de la familia Eleutherodactylidae y en menor cantidad Craugastoridae y Strabomantidae, con desarrollo directo, habitando en la mayoría de los casos la hojarasca, orillas de caminos o charral cerca de las quebradas. Algunas de ellas en el área de estudio con mayor cobertura arbórea como *Diasporus diastema*, *Pristimantis ridens*, *Craugastor fitzingeri*. Otra familia importante es Hylidae, ranas arborícolas como *Smilisca phaeota*, *S. sórdida* y *Duellmanohyla rufioculis* una especie endémica y amenazada, esperada en el sitio. Estas especies son muy susceptibles a la contaminación con herbicidas, gases y al calor por deforestación o desarrollo urbano cerca de sus hábitats.

En menor cantidad especies de desarrollo indirecto que son importantes indicadores de la contaminación en los cauces lo que los hace víctimas de cauces sin cobertura arbórea, basura y aguas contaminadas. Entre ellas familias como Centrolenidae, las ranas de vidrio, *Cochranella granulosa*, *Sachatamia albomaculata*, familia Ranidae, especie *Lithobates warszewitschii*, y familia Bufonidae, con la especie más común del país *Rhinella horribilis*, el sapo común e *Incilius coniferus*, entre otros (Anexo 7,2).

4.2.3 Sobre los corredores biológicos

El Corredor Biológico, de conformidad con el Decreto 34433, Reglamento a la Ley de Biodiversidad, se define como aquel territorio que proporciona conectividad entre paisajes, ecosistemas y hábitat ya sean naturales o modificados con el objetivo de garantizar el mantenimiento de la biodiversidad. Desde 1999 se gestionó el corredor biológico mesoamericano (CBM), formulándose el Programa Nacional de Corredores Biológicos por parte del Sinac, sin que incorporara los corredores biológicos como una de las categorías de Áreas Silvestres Protegidas, dejando los corredores biológicos como una política pública de protección ambiental con una importante función ambiental a raíz de la conectividad que permiten.

En el caso del cantón Goicoechea, se observa mayor cobertura arbórea en los distritos Rancho Redondo y Mata de Plátano, con remanentes de bosque secundario muy alterado en lo que resta de la zona de protección de los ríos Purrál, Tiribí y Torres. También se observa mayor conectividad de estos ríos en los distritos mencionados con la Cordillera Volcánica Central propiamente con el sector del Parque Nacional Braulio Carrillo y el Parque Nacional Volcán Irazú. Se recomienda extender las gestiones y diseños del corredor



interurbano Río Torres hasta conectar con la Cordillera Volcánica Central, sector Noreste del distrito de Rancho Redondo (Figura 6).



Figura 6. Conectividad con la Cordillera Volcánica Central, sector Parque Nacional Braulio Carrillo y Parque Nacional Volcán Irazú.

La conectividad existente con la Cordillera Volcánica Central, sector Parque Nacional Braulio Carrillo y Parque Nacional Volcán Irazú permite deducir que la fauna que podría ocurrir en los distritos Mata de Plátano y Rancho Redondo constaría de importantes especies en tamaño, rol ecológico y con estados poblacionales delicados y vulnerables provenientes de las grandes áreas protegidas mencionadas ocurriendo de manera temporal y en sitios muy cercanos a la cordillera o cañones de los ríos y quebradas con más bosque debido a la necesidad de hábitats grandes y recurso alimenticio.

Sin embargo, no se espera que estas especies silvestres no acostumbradas al urbanismo y presencia humana bajen hasta los distritos más urbanizados salvo algunas ocasiones muy esporádicas, lo cual es bueno para estas y para la población urbana del cantón evitando conflictos. No obstante, otras especies más tolerantes a condiciones de urbanismo como coyotes, zorros, mapaches y pizotes como aves de áreas alteradas como el pájaro bobo, tangaras y reinitas como zopilotes o zanates si se espera que lo hagan. Entre estos también reptiles como serpientes, tortugas y lagartijas pequeñas.



4.2.4

Cobertura de bosques

Es importante establecer que la cercanía de Goicoechea con el centro del Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica ha sido un factor determinante en los procesos de intervención de la flora y fauna local.

Los bosques originales de la zona fueron alterados desde tiempos de precolombinos, en baja escala por las culturas originarias del territorio, siendo que en la época de la llegada de la cultura Española y colonización hasta la actualidad se produjo un proceso acelerado de cambio de uso del suelo.

Es necesario considerar también la influencia que ejerce la cordillera volcánica central en las zonas de mayor cercanía a los volcanes, donde se presentan cambios de uso del suelo asociados con los efectos del vulcanismo. Los bosques quemados del volcán Turrialba son un ejemplo de este tipo de afectación de la cobertura vegetal en las zonas altas de ese cinturón territorial que rodea estos macizos.

Por lo anterior, se considera que los remanentes de cobertura boscosa presentes en el cantón de Goicoechea se clasifican como bosques en regeneración (ver mapa en la figura 7), debido a la alta intervención que se ha dado en el territorio durante los últimos cientos de años. Estos espacios no presentan las características de diversidad biológica o integridad ecológica de un bosque primario o secundario, Lo anterior según las observaciones de campo realizadas.

Durante el trabajo de campo realizado se comprobó que los parches de remanente de bosque se concentran en sectores adyacentes a las márgenes de los ríos, o en bloques aislados, concentrándose en la parte oeste y media del cantón, disminuyendo considerablemente conforme se avanza al este. Los distritos de Guadalupe, San Francisco y Calle Blancos no presentan estos parches de cobertura de remanente de bosque secundario, concordantemente con la alta ocupación urbana evidenciada en otras secciones del diagnóstico presentado por ProDUS-UCR

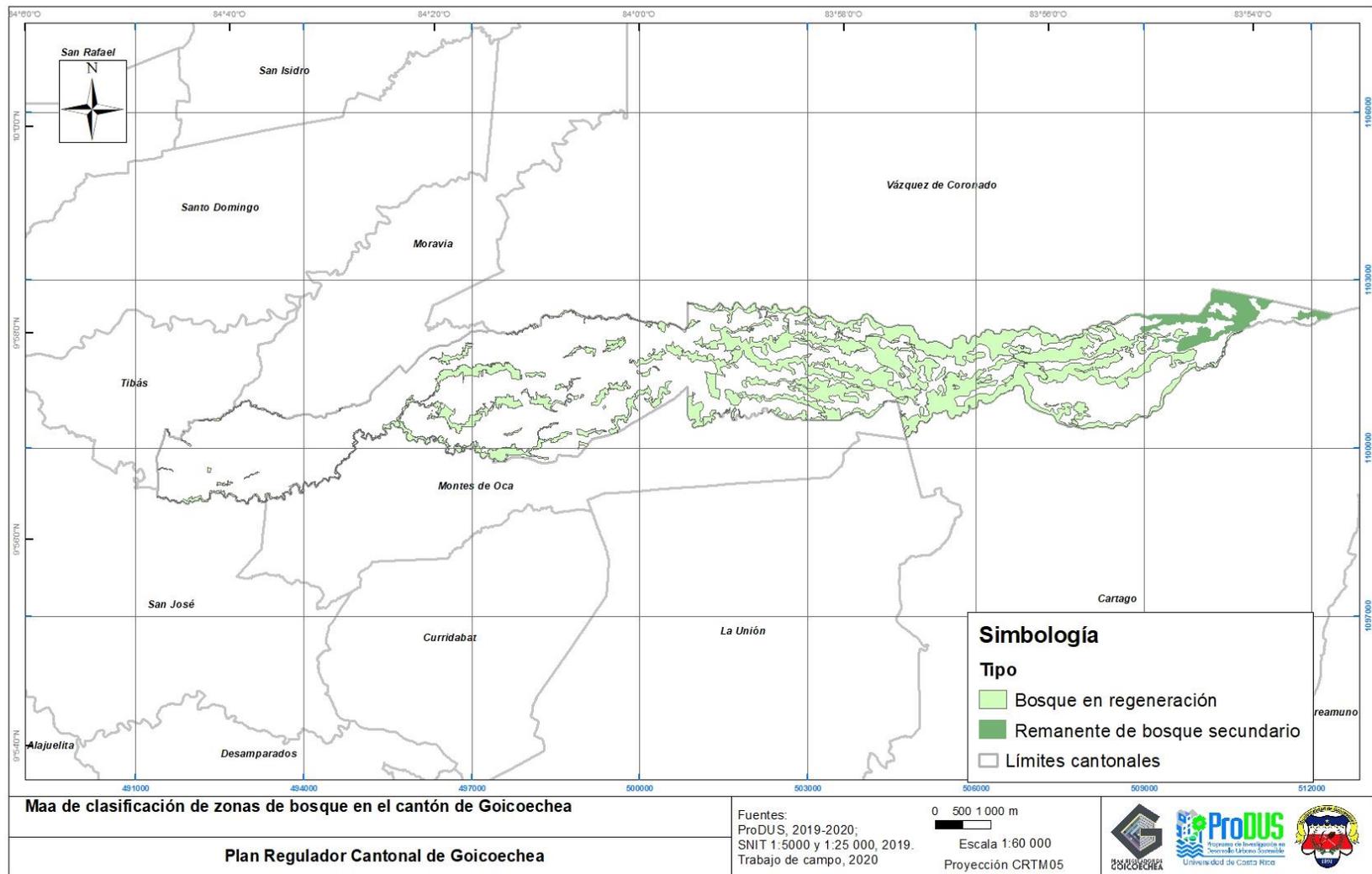


Figura 7 Clasificación por tipo de bosques, cantón de Goicoechea

4.2.5 Recomendaciones

- ◇ Fomentar esfuerzos para mejoras en la condición del corredor biológico y los remanentes de bosque que lo sustentan como enriquecer con especies de flora que aportan mayor cobertura y alimento para la fauna.
- ◇ La conectividad con áreas protegidas de gran riqueza de especies como la Cordillera Volcánica Central, nacientes y remanentes de bosque asociado a cauces, hace que se espere la presencia 43 especies con poblaciones reducidas y con estatus de protección junto con 11 más que presentan endemismo. Lo cual justifica gestiones para conservar y enriquecer este corredor biológico, al menos en la parte de mayor conectividad, el sector Noreste (Rancho Redondo y Mata de Plátano).
- ◇ Valorar la inclusión en los diseños de construcciones inmediatas a cauces que son parte de este corredor una barrera por lo menos de 1 metro de un material liso para que especies como serpientes, iguanas y otros arborícolas no puedan escalar, para evitar su ingreso a las construcciones y por ende conflictos con fauna silvestre.
- ◇ En construcciones inmediatas o cercanas a los cauces, incluso que invaden las zonas de protección, deben evitar o podar la vegetación circundante para evitar que las ramas de árboles o enredaderas hagan contacto con las construcciones para que la fauna silvestre arborícola no accede a estas, evitándose así conflictos con la fauna silvestre.
- ◇ Elaborar una campaña de concientización y un programa que involucre a voluntarios o empresas para el fomento del corredor como la prevención y manejo de conflictos con fauna silvestre.
- ◇ Los fragmentos de bosques ubicados en los linderos de los ríos y quebradas del cantón deben mantenerse por su importancia ecológica, estabilización de laderas y porque no son zonas aptas para urbanizar. La municipalidad local deberá aplicar la legislación ambiental pertinente (art. 33 Ley Forestal) para conservar y proteger las márgenes riparias en quebradas y ríos.
- ◇ Restringir la construcción en bordes de ríos y quebradas, así como regular las construcciones antiguas que se encuentran junto a cauces, ya que son sitios que la fauna silvestre frecuente.
- ◇ Promover la siembra de árboles y plantas nativas en las zonas urbanas. Esta recomendación pretende aumentar la belleza escénica de las comunidades y a su vez atraer aves nativas.
- ◇ Incentivar el uso de cercas vivas que rodean algunas propiedades del cantón, así como en fincas. Los árboles introducidos o especies exóticas podrían ser sustituidos paulatinamente por árboles nativos como poró, madero negro, indio desnudo (*Bursera simaruba*), ojoche (*Brosimum alicastrum*), jocotes, higueros, o especies maderables nativas, los cuales tienen excelente uso como cercas vivas por reproducirse también por estacones.



- ◇ Ayudar en la adquisición y uso por parte de finqueros de especies maderables nativas para uso como cercas o plantaciones de madera para un futuro aprovechamiento.
- ◇ Promover fuentes de financiamiento para el monitoreo de fauna y flora silvestre como indicador del desempeño de la gestión en el corredor biológico, así como en la prevención y manejo de conflictos con fauna silvestre.

5 LITERATURA CONSULTADA

Abarca Alvarado J. G. 2012. Historia natural de la herpetofauna de El Rodeo y el oeste del Valle Central, Costa Rica. *BRENESIA* 77:229-250.

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.

Boraschi Feoli Sergio. 2009. Corredores biológicos: una estrategia de conservación en el manejo de cuencas hidrográficas. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)* 6(17).

David, L. y Jr. Ross. 2001. Costa Rican bird song: an identification guide. A Zona Tropical Production. San José, Costa Rica.

Doan T. M. 2003. Which Methods are Most effective for surveying Rain Forest.

Fournier L. A. y E. G. Garcia. 1998. Nombres Vernaculares y Científicos de los Árboles de Costa Rica. Guayacán. Costa Rica.

Garrigues R. y Robert Dean. 2007. Birds of Costa Rica; a field guide. A zone tropical publication. Printed in China. 387p.

Guariguata, M. y G. H. Kattan. 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. 1ª edición. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Heyer R. W. 1994. Measuring and Monitoring Biological Diversity Standard Methods for Amphibians. Smithsonian Institution Press. USA. 364 p.

Holdridge, L.R.1987. Ecología basada en zonas de vida. IICA, San José, Costa Rica. 216p.

Holdridge, L. R., L. J. Poveda y Q. Jiménez.1997. Árboles de Costa Rica, vol. 1. Centro Científico Tropical. Costa Rica

InBio 2020. Instituto Nacional de Biodiversidad - Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. Base de consulta, <http://atta2.inbio.ac.cr/neoportal-web/species>.

INTERNET 1. Cantón Goicoechea. <https://es.wikipedia.org/wiki/CantónGoicoechea>. Consultado el 05/09/2020.



- IUCN. 2020. The IUCN red list of threatened species. <http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/search>. (Consultado: set-2020).
- Jiménez, Q., A. Estrada, A. Rodríguez y P. Arroyo. 1999. Manual Dendrológico de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
- Laval R.K. & B., Rodríguez. 2002. Murciélagos de Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad, Santo Domingo de Heredia. 320p.
- Lips, K.R., J.K. Reaser, B.E. Young & R. Ibañez. 2001. Amphibian Monitoring in Latin America: A protocol Manual. Herpetological Circular No. 30, Society for the Study of Amphibians and Reptiles. Shoreview, MN 55126 USA.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. 2007. Atlas del Desarrollo Humano Cantonal de Costa Rica. 2007. PNUD; Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Ralph, C. John; Geupel, Geoffrey R.; Pyle, Peter; Martin, Thomas E.; DeSante, David F; Milá, Borja. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 46 p.
- Reid F. 1997. A field guide to the mammals of Central America and Southeast México. Oxford University Press. New York. 334 p.
- Rodríguez H.B., J. D. Ramírez H., D. Villalobos CH., Ragde Sánchez. 2014. Actualización de la lista de mamíferos vivientes de Costa Rica. Mastozoología neotropical, 21(2)275-289.
- Savage J. 2002. The Amphibians and Reptiles of Costa Rica. The University of Chicago Press. 934 p.
- Solano Enríquez, Francisco (2004). *Pasado y Presente del Cantón de Goicoechea*. Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED). p. 6. ISBN 9968-31-336-X.
- Solórzano A. 2004. Serpientes de Costa Rica: Distribución, taxonomía e historia natural. Editorial INBio. Heredia, Costa Rica. 792 p.
- Stiles F.G. y A. Skutch. 2007. Guía de Aves de Costa Rica. Cuarta edición. Editorial INBIO. Heredia, Costa Rica. pp 572.
- Timm R.M.; R.K. Laval y B. Rodríguez. 1999. Clave de campo para los murciélagos de Costa Rica. Brenesia, 52: 1-32.
- Wainwright Mark. 2007. The mammals of Costa Rica; a natural history and field guide. A zona tropical publication. Printed in china, 454 p.



Young BE, Stuart SN, Chanson JS, Cox NA, Boucher y TM. 2004. Joyas que están desapareciendo: El estado de los anfibios en el Nuevo mundo. Nature Serve, Arlington Virginia.

Zamora, N., Q. Jiménez & L. J. Poveda. 2000. Árboles de Costa Rica, vol II. INBio. 374 p.

Zamora, N., Q. Jiménez & L. J. Poveda. 2004. Árboles de Costa Rica, vol III. INBio. 556p.



6 ANEXOS

6.1 Registros de árboles en el cantón Goicoechea.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Tipo de Registro (Observada-Esperada)	Estado de conservación según UICN-Cites-CR	Importancia
Acanthaceae	<i>Bravaisia integerrima</i>	Mangle blanco de montaña	Observada		Bosques ribereños, raíces adventicias.
	<i>Megaskepasma erythrochlamys</i>	Pavón	Observada		Arbusto de uso ornamental.
Actinidiaceae	<i>Saurauia montana</i>	Moquillo	Observada	Endémica A. central	Frutos comestibles y alimento para fauna, regeneración natural.
Adoxaceae	<i>Sambucus nigra</i>	Sauco	Observada		Planta medicinal, diurético, sistema inmunológico, tos.
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	Mango	Observada	Exótica, naturalizada	Frutal, alimento para fauna y uso de la madera para hacer yugos.
	<i>Mauria heterophylla</i>	Manzanillo	Observada		Restauración de bosque y alimento para fauna
	<i>Spondias dulcis</i>	Yuplón	Observada	Exótica, Polinesia	Frutal, ornamental y alimento para fauna.
	<i>Spondias purpurea</i>	Jocote	Observada		Frutal, postes y cercas vivas, alimento para fauna
Annonaceae	<i>Annona cherimola</i>	Anona	Observada		Restauración de bosque, frutal, alimento para fauna
Aquifoliaceae	<i>Ilex lamprophylla</i>	Azulillo	Observada		Árboles de altura con fuerte olor a azúcar en su corteza.
Araliaceae	<i>Schefflera rodriguesiana</i>	Cheflera o papayillo	Observada		Restauración de bosque y alimento para fauna
	<i>Dendropanax arboreus</i>	cacho de venado	Observada		Alimento para aves principalmente en bosques de alturas medias



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Familia	Nombre científico	Nombre común	Tipo de Registro (Observada-Esperada)	Estado de conservación según UICN-Cites-CR	Importancia
Asparagaceae	<i>Agave macroacantha</i>	Agave	Observada	Exótica, México	Uso ornamental e industrial
	<i>Furcraea cabuya</i>	Cabuya	Observada		Uso ornamental e industrial
	<i>Yucca elephantipes</i>	Itabo	Observada		Vitamina C y hierro, fósforo y niacina, flor para picadillo.
Asteraceae	<i>Montanoa guatemalensis</i>	Tubú	Observada		Alimento para fauna, árbol pionero.
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Jaul	Observada		Construir fósforos y ataúdes, rápido crecimiento.
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	Observada	Exótica	Ornamental
	<i>Tabebuia ochracea</i>	Corteza amarilla	Observada		Maderable y ornamental.
	<i>Tabebuia rosea</i>	Roble de sabana	Observada		Ornamental y maderable
	<i>Tecoma stans</i>	Vainillo	Observada		Ornamental y alimento para la fauna
Bombacaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	Observada		Ornamental, maderable y recuperación de bosque.
Boraginaceae	<i>Cordia cymosa</i>	Laurel	Observada	Endémica CR	Endémica de Costa Rica, maderable.
	<i>Cordia alliodora</i>	Laurel	Observada		Maderable, común en potreros y orillas de cauces.
Brunelliaceae	<i>Brunellia standleyana</i>	Cedrillo	Observada	Endémico	Alimento para fauna.
Buddlejaceae	<i>Buddleja nitida</i>	Hoja de salvia	Observada	Endémica de A. Central	Medicinal para curar úlceras, construcción y combustible.
Cannabaceae	<i>Trema integerrima</i>	Capulín	Observada		Alimento para fauna, regeneración natural de bosque.
	<i>Trema micrantha</i>	Capulín	Esperada		Alimento para fauna, regeneración natural de bosque.
Casuarinaceae	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Pino australiano, casuarina	Observada		Maderable y ornamental.
Celastraceae	<i>Perrottetia longistylis</i>	Perrottetia	Observada		Árbol típico de bosques de alturas medias a altas, nubosos.



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Familia	Nombre científico	Nombre común	Tipo de Registro (Observada-Esperada)	Estado de conservación según UICN-Cites-CR	Importancia
Chrysobalanaceae	<i>Licania platypus</i>	Sonzapote	Observada		Frutal, ornamental y alimento para fauna.
Clethraceae	<i>Clethra costaricensis</i>	Nance macho	Observada		Uso de madera para artesanía y leña
	<i>Clethra mexicana</i>	Nance macho	Observada		Uso de madera para artesanía y leña.
Cornaceae	<i>Cornus disciflora</i>	Lloró	Observada	Vulnerable	Bosques de altura
Combretaceae	<i>Terminalia bucidoides</i>	Escobo negro	Observada	En Peligro de extinción	Maderable, alimento para insectos y aves.
Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i>	Ciprés	Observada		Exótica, maderable y uso herbicida natural.
Euphorbiaceae	<i>Alchornea latifolia</i>	Pilón	Observada		Maderable, recuperación de bosque.
	<i>Croton niveus</i>	Colpachí	Observada		Medicinal, para cercas vivas, tapa viento.
	<i>Croton draco</i>	Targuá	Observada		Especie pionera, medicinal
	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla	Observada	Naturalizada, Africa	Uso medicina, industrial y repelente de taltuzas en cultivos.
	<i>Sapium glandulosum</i>	Yos	Observada		Restauración de bosque, ornamental y alimento para fauna
Fabaceae	<i>Bauhinia purpurea</i>	Casco de venado	Observada		Ornamental, exótica.
	<i>Cojoba arborea</i>	Lorito	Observada		Ornamental
	<i>Diphysa americana</i>	Guachipelín	Observada		Muy utilizado como ornamental y madera para postes y vigas.
	<i>Erythrina poeppigiana</i>	Poró	Observada		Cercas vivas y restauración de bosque, alimento para fauna.
	<i>Gliricidia sepium</i>	Madero negro	Observada		Alimento de fauna, cercas vivas, restauración de bosque y suelos.
	<i>Inga marginata</i>	Cuajiniquil negro, guaba	Observada		Alimento para fauna, sombra en cafetales, regeneración natural.



PLAN REGULADOR DE GOICOCHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Familia	Nombre científico	Nombre común	Tipo de Registro (Observada-Esperada)	Estado de conservación según UICN-Cites-CR	Importancia
	<i>Senna papillosa</i>	Candelillo	Observada		Alimento para fauna, regeneración natural de bosque.
	<i>Senna spectabilis</i>	Candelillo	Observada		Ornamental
	<i>Zygia longifolia</i>	Sota caballo	Observada		Alimento para fauna y uso en restauración de bosque ribereño.
Fagaceae	<i>Quercus costaricensis</i>	Roble rojo	Observada	Vulnerable	Roble de altura, maderable, baúles y barriles, carbón.
	<i>Quercus seemannii</i>	Roble encino	Observada		Roble de altura, maderable, baúles y barriles, carbón.
Juglandaceae	<i>Juglans olanchana</i>	Cedro negro, nogal	Observada	Peligro de extinción	Maderable y frutos para fauna.
Lauraceae	<i>Cinnamomum triplinerve</i>	Aguacatillo	Observada		Uso maderable y de gran importancia para la fauna silvestre.
	<i>Nectandra membranacea</i>	Aguacatillo	Observada		Uso maderable y de gran importancia para la fauna silvestre.
	<i>Ocotea austinii (sin. irazuensis)</i>	Aguacatillo	Esperada		Uso maderable y de gran importancia para la fauna silvestre.
	<i>Ocotea veraguensis</i>	Canelo	Observada		Alimento para fauna, regeneración natural de bosque.
	<i>Persea americana</i>	Aguacate	Observada		Uso alimenticio, medicinal y alimento para la fauna silvestre.
Lythraceae	<i>Lafoensia puniceifolia</i>	Cascarillo, carbonero	Esperada		Restauración de bosque ribereño, ornamental, postes y cercas.
Magnoliaceae	<i>Magnolia poasana</i>	Magnolia	Esperada	Casi amenazada	Alimento para aves, maderable
Malpighiaceae	<i>Malpighia glabra</i>	Acerola	Observada		Medicinal, ornamental y alimento para aves.
	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nance	Observada		Regeneración natural, alimento para fauna, especie pionera



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Familia	Nombre científico	Nombre común	Tipo de Registro (Observada-Esperada)	Estado de conservación según UICN-Cites-CR	Importancia
Malvaceae	<i>Hampea appendiculata</i>	Burío ratón	Observada		Regeneración natural, alimento para fauna, especie pionera
	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Burío	Observada		Medicinal y en trapiches para extraer basura del dulce.
	<i>Hibiscus rosa sinensis</i>	Amapolilla	Observada	Exótica, Asia	Ornamental
	<i>Luehea seemannii</i>	Guácimo colorado	Observada		Restauración de bosque y alimento para fauna, especie pionera
Melastomataceae	<i>Conostegia xalapensis</i>	Lengua de vaca	Observada		Regeneración natural, alimento para fauna, especie pionera
	<i>Miconia argentea</i>	Lengua de vaca	Observada		Regeneración natural, alimento para fauna, especie pionera
	<i>Miconia affinis</i>	Lengua de vaca	Observada		Regeneración natural, alimento para fauna, especie pionera
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro amargo	Observada	Amenazada	Melífero, maderable
	<i>Cedrela tonduzii</i>	Cedro dulce	Observada	Amenazada	Melífero, maderable
	<i>Trichilia havanensis</i>	Uruca	Observada		Reforestación de bosque, alimento de fauna, ornamental
	<i>Trichilia hirta</i>	Uruca	Observada		Reforestación de bosque, alimento de fauna.
	<i>Trichilia septentrionalis</i>	Uruca	Observada		Reforestación de bosque, alimento de fauna.
Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	Laurel de la india	Observada		Exótica, antiguamente usada como ornamental en ciudades.
	<i>Ficus costaricana</i>	Higuerón	Observada		Cercas vivas y restauración de bosque, alimento para fauna.
	<i>Ficus jimenezii</i>	Higuerón	Observada		Cercas vivas y restauración de bosque, alimento para fauna.
	<i>Ficus maxima</i>	Higuerón	Observada		Cercas vivas y restauración de bosque, alimento para fauna.



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Familia	Nombre científico	Nombre común	Tipo de Registro (Observada-Esperada)	Estado de conservación según UICN-Cites-CR	Importancia
	<i>Ficus padifolia</i>	Higuerón	Observada		Cercas vivas y restauración de bosque, alimento para fauna.
Musaceae	<i>Musa paradisiaca</i>	Banano, pátano, cuadrado	Observada	Introducida, Asia	Alimento de pobladores como animales domésticos y silvestres
Myricaceae	<i>Morella cerifera</i>	Arrayán, cebo	Observada		Árbol de cera en sus hojas, restauración de bosques de altura
Myrtaceae	<i>Eucalyptus deglupta</i>	Eucalipto	Observada		Plantaciones para madera y leña, uso medicinal.
	<i>Eucalyptus gunnii</i>	Eucalipto	Observada		Uso medicinal y ornamental.
	<i>Myrcianthes storkii</i>	Guayabo	Observada		Alimento para aves, aromática, leña
	<i>Melaleuca quinquenervia</i>	Corcho	Observada	Exótica, Australia, N. G.	Ornamental, propiedades terapéuticas y mezclas de aceites esenciales.
	<i>Psidium friedrichsthaliu</i>	Cas	Observada		Frutal, medicinal y alimento para fauna.
	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Observada		Frutal, alimento para fauna y uso en cercas y para leña.
	<i>Psidium guineense</i>	Guízaró	Observada		Alimento para fauna, regeneración natural.
	<i>Syzygium jambos</i>	Manzana rosa	Observada	Exótica	Frutal, usada para prevenir cáncer de mama y alimento fauna.
	<i>Syzygium malaccense</i>	Manzana de agua	Observada		Frutal, ornamental y alimento para fauna.
Oxalidaceae	<i>Averrhoa carambola</i>	Carambola	Observada	Exótica, Polinesia	Frutal, medicinal y alimento para fauna.
Papaveraceae	<i>Bocconia frutescens</i>	Papayillo	Observada		Uso artesanal, medicinal, ornamental y como insecticida.
Picramniaceae	<i>Picramnia antidesma</i>	Chilillo	Observada		Restauración de bosque y alimento para fauna



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Familia	Nombre científico	Nombre común	Tipo de Registro (Observada-Esperada)	Estado de conservación según UICN-Cites-CR	Importancia
Pinnaceae	<i>Pinnus caribea</i>	Pino	Observada		Exótica, maderable
Primulaceae	<i>Ardisia revoluta</i>	Tucuico	Observada		Alimento para aves principalmente en bosques de alturas medias
Poaceae	<i>Phyllostachys aurea</i>	Bambú	Observada	Exótica, China	Ornamental, cercas, muebles.
Proteaceae	<i>Grevillea robusta</i>	Gravilea	Observada	Exótica, Australia	Ornamental y maderable
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i>	Níspero	Observada	Exótica, China	Frutal, medicinal y alimento para fauna.
Rutaceae	<i>Zanthoxylum acuminatum</i>	Lagartillo	Observada		Restauración de bosque y cercas vivas
	<i>Citrus limetta</i>	Limón dulce	Observada	Introducida, Asia	Frutal
Sapindaceae	<i>Allophylus occidentalis</i>	Huesito	Observada		Alimento para fauna, regeneración natural de bosque.
Solanaceae	<i>Acnistus arborescens</i>	Guitite	Observada	Especie amenazada	Alimento para fauna, ornamental y para colocar orquídeas.
	<i>Brunfelsia pauciflora</i>	Sapriisa	Observada		Exótica, flor nacional de Paraguay
	<i>Cestrum aurantiacum</i>	Zorrillo	Observada		Para jabón, ornamental. Atrae abejas, mariposas y colibríes.
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce criollo	Observada		Uso ornamental, maderable y leña.
Staphyleaceae	<i>Turpinia occidentalis</i>	Cirrí	Observada		Recuperación de bosque
Ulmaceae	<i>Ulmus mexicana</i>	Tirrá	Observada	Endémica, Méx, A. Central	Maderable
Urticaceae	<i>Myriocarpa longipes</i>	Ortiga	Observada		Ribereño. Pionero.
	<i>Coussapoa parviceps</i>	Guarumo	Observada		Especie de alimento para fauna y pionera.
	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Guarumo	Observada		Alimento para fauna silvestre y uso medicinal, especie pionera.



Familia	Nombre científico	Nombre común	Tipo de Registro (Observada-Esperada)	Estado de conservación según UICN-Cites-CR	Importancia
Verbenaceae	<i>Citharexylum donnell-smithii</i>	Dama	Observada		Alimento para fauna, ornamental
	<i>Lippia myriocephala</i>	Orégano de palo	Observada		Se usa para leña o postes
Zingiberaceae	<i>Hedychium coronarium</i>	Liriotropo	Observada	Exótica, India y Nepal	Ornamental, se le extrae esencia para perfumes de flor y raíz.

6.2 Registros de Anfibios en el cantón Goicoechea.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Registro	Estado de conservación
Plethodontidae (Caudata)	<i>Bolitoglossa nigrescens</i>	Salamandra	Esperada	PE
	<i>Oedipina altura</i>	Salamandra	Esperada	PE
Bufonidae	<i>Incilius coniferus</i>	Sapo	Esperada	
	<i>Rhinella horribilis</i>	Sapo	Observada	
Centrolenidae	<i>Cochranella granulosa</i>	Ranita de vidrio	Observada	
	<i>Espadarama prosoblepon</i>	Ranita de vidrio	Esperada	
	<i>Sachatamia albomaculata</i>	Ranita de vidrio	Esperada	
Craugastoridae	<i>Craugastor crassidigitus</i>	Rana de hojarasca	Esperada	
	<i>Craugastor fitzingeri</i>	Rana de hojarasca	Observada	
	<i>Craugastor podiciferus</i>	Rana de hojarasca	Esperada	A, I
	<i>Craugastor rugosus</i>	Rana de hojarasca	Esperada	
	<i>Craugastor stejnegerianus</i>	Rana de hojarasca	Observada	
Eleutherodactylidae	<i>Diasporus diastema</i>	Rana de hojarasca	Observada	
Hylidae	<i>Agalychnis annae</i>	Rana de ojos rojos	Esperada	PE
	<i>Dendropsophus ebraccatus</i>	Rana arborícola	Esperada	



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Familia	Nombre científico	Nombre común	Registro	Estado de conservación
	<i>Duellmanohyla rufiocularis</i>	Rana de ojos rojos	Esperada	E, A
	<i>Scinax elaeochroa</i>	Rana arborícola	Observada	
	<i>Smilisca sordida</i>	Rana arborícola	Observada	
Leptodactylidae	<i>Leptodactylus savagei</i>	Rana toro	Observada	
	<i>Lithobates taylori</i>	Rana leopardo	Esperada	
Ranidae	<i>Lithobates warszewitschii</i>	Rana verdadera	Observada	
	<i>Pristimantis cruentus</i>	Rana de hojarasca	Esperada	
Strabomantidae	<i>Pristimantis ridens</i>	Rana de hojarasca	Esperada	

PE: peligro de extinción, A: amenazado, I: apéndice 1 de citas, II: apéndice II de citas, E: endémico, ER: endémico regional.

6.3 Registros de reptiles en el cantón Goicoechea.

Orden	Familia	Especie	Nombre_Com	Población	Registro
SQUAMATA/SAURIA	Anguidae	<i>Celestus cyanochloris</i>	Lagartija caimán	E	Esperado
	Gekkonidae	<i>Hemidactylus frenatus</i>	Geco de frenillo		Observado
		<i>Lepidoblepharis xanthostigma</i>	Geco de cola anaranjada		Esperado
	Polychrotidae	<i>Norops biporcatus</i>	Lagartija, anolis		Esperado
		<i>Norops intermedius</i>	Gallego, lagartija		Esperado
		<i>Norops limifrons</i>	Lagartija, gallego		Observado
		<i>Norops oxyllophus</i>	Lagartija, gallego		Observado
		<i>Norops polylepis</i>	Lagartija, gallego		Esperado
		<i>Norops tropidolepis</i>	Gallego, lagartija	A, I	Esperado
	Scincidae	<i>Sphenomorphus cherriei</i>	Lagartija		Esperado
SQUAMATA/SERPENTES	Boidae	<i>Boa constrictor</i>	Boa, bécquer	PE, I	Observado
	Colubridae	<i>Chironius grandisquamis</i>	Serpiente de látigo negra		Esperado
		<i>Chironius exoletus</i>	Serpiente de látigo		Esperado



**PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL**

Orden	Familia	Especie	Nombre_Com	Población	Registro
		<i>Coniophanes fissidens</i>	Hojarasquera café		Esperado
		<i>Dendrophidion percarinatum</i>	Corredora		Esperado
		<i>Drymobius margaritiferus</i>	Ranera común		Observado
		<i>Enulius flavitorques</i>	Cabeza puntiaguda		Esperado
		<i>Imantodes cenchoa</i>	Culebra bejuquilla		Observado
		<i>Imantodes inornatus</i>	Culebra bejuquilla		Esperado
		<i>Leptodeira septentrionalis</i>	Culebra ojo de gato		Observado
		<i>Leptophis ahaetulla</i>	Lora falsa		Esperado
		<i>Leptophis mexicanus</i>	Lora falsa bronceada		Esperado
		<i>Mastigodryas melanolomus</i>	Corredora, lagartijera		Esperado
		<i>Oxybelis aeneus</i>	Bejuquilla café		Esperado
	Dipsadidae	<i>Ninia maculata</i>	Alacranera		Observado
		<i>Rhadinaea decorata</i>	Hojarasquera de vientre rojo		Esperado
	Elapidae	<i>Micrurus nigrocintus</i>	Coral venenosa		Observado
Viperidae	<i>Bothriechis schlegelii</i>	Bocaracá		Esperado	
	<i>Bothriechis lateralis</i>	Lora venenosa		Esperado	
TESTUDINATA	Kinosternidae	<i>Kinostemon scorpioides</i>	Tortuga candado		Esperado

PE: peligro de extinción, A: amenazado, I: apéndice 1 de citas, II: apéndice II de citas, E: endémico, ER: endémico regional.

6.4 Registros de mamíferos en el cantón Goicoechea.

Orden	Familia	Especie	Nombre_Común	Población	Registro
ARTIODACTYLA	Cervidae	<i>Mazama temama</i>	Cabro de monte		Esperado
		<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca		Esperado
	Tayassuidae	<i>Pecari tajacu</i>	Saíno	II	Esperado
	Canidae	<i>Canis latrans</i>	Coyote		Observado



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Orden	Familia	Especie	Nombre_Común	Población	Registro
CARNIVORA	Canidae	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	Zorra gris		Esperado
	Felidae	<i>Leopardus pardalis</i>	Manigordo, caucel	PE, I	Esperado
		<i>Leopardus tigrinus</i>	Tigrillo	PE, I	Esperado
		<i>Puma concolor</i>	Puma	PE, I	Esperado
		<i>Puma yaguarondi</i>	León breñero	PE, I	Esperado
	Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrillo hediondo rayado		Esperado
	Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	Tolomuco		Esperado
		<i>Galictis vittata</i>	Grisón, tejón	A, I	Esperado
		<i>Lontra longicaudis</i>	Nutria, perro de agua	A, I	Esperado
	Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	Pizote		Observado
		<i>Potos flavus</i>	Martilla		Esperado
		<i>Procyon lotor</i>	Mapache		Observado
	CHIROPTERA	Phyllostomidae/Carollinae	<i>Carollia brevicauda</i>	Murciélago	
Phyllostomidae/Desmodontinae		<i>Desmodus rotundus</i>	Vampiro común		Observado
Phyllostomidae/Glossophacinae		<i>Glossophaga soricina</i>	Murciélago		Esperado
Phyllostomidae/Phyllostominae		<i>Phyllostomus discolor</i>	Murciélago		Esperado
Phyllostomidae/Stenodermatinae		<i>Artibeus jamaicensis</i>	Murciélago		Esperado
		<i>Artibeus watsoni</i>	Murciélago		Esperado
		<i>Sturnira lilium</i>	Murciélago		Esperado
	<i>Vampyressa pusilla</i>	Murciélago		Esperado	
CINGULATA	Dasypodidae	<i>Dasypus novemcinctus</i>	Armadillo, cusuco		Observado
DIDELPHIMORPHIA	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zorro pelón, zarigueya		Observado
		<i>Marmosa mexicana</i>	Zorricí		Esperado
		<i>Philander opossum</i>	Zorro de cuatro ojos		Esperado
LAGOMORPHA	Leporidae	<i>Sylvilagus dicei</i>	Conejo	ER	Observado
PERISSODACTYLA	Tapiridae	<i>Tapirus bairdii</i>	Danta	PE, I	Observado



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Orden	Familia	Especie	Nombre_Común	Población	Registro
PILOSA	Megalonychidae	<i>Choloepus hoffmanni</i>	Perezoso de dos dedos, cúcula	A, III	Observado
	Myrmecophagidae	<i>Tamandua mexicana</i>	Oso hormiguero		Esperado
PRIMATES	Atelidae	<i>Alouatta palliata</i>	Congo, mono aullador	PE, I	Observado
	Cebidae	<i>Cebus imitator</i>	Mono carablanca	II, A	Observado
RODENTIA	Cricetidae	<i>Melanomys caliginosus</i>	Ratón de campo		Esperado
		<i>Peromyscus mexicanus</i>	Rata de monte		Esperado
		<i>Reithrodontomys mexicanus</i>	Rata de monte		Esperado
		<i>Reithrodontomys rodriguezii</i>	Ratón de alturas	E	Esperado
		<i>Sigmodon hispidus</i>	Ratón o rata de monte		Esperado
	Cuniculidae	<i>Cuniculus paca</i>	Tepezcuintle		Esperado
	Dasyproctidae	<i>Dasyprocta punctata</i>	Guatuzá, cheringa		Esperado
	Erethizontidae	<i>Coendou mexicanus</i>	Puercoespín		Esperado
	Geomyidae	<i>Orthogeomys cherriei</i>	Taltuza	E	Esperado
		<i>Orthogeomys heterodus</i>	Taltuza	E	Esperado
	Muridae	<i>Mus musculus</i>	Ratón casero		Observado
	Sciuridae	<i>Microsciurus alfari</i>	Ardilla enana		Observado
<i>Sciurus variegatoides</i>		Ardilla, chisa		Observado	

PE: peligro de extinción, A: amenazado, I: apéndice 1 de citas, II: apéndice II de citas, E: endémico, ER: endémico regional.

6.5 Registros de aves en el cantón Goicoechea.

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Población	Situación	Registro
ANSERIFORMES	Anatidae	<i>Dendrocygna autumnalis</i>	Pijije común		ML	Esperado
APODIFORMES	Apodidae	<i>Streptoprocne zonaris</i>	Vencejón collarejo		ML	Observado



PLAN REGULADOR DE GOICOCHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Población	Situación	Registro
	Trochilidae	<i>Amazilia amabilis</i>	Esmeralda jardinera	II	R	Esperado
		<i>Amazilia decora</i>	Amazilia corona de Berilo	II	R	Esperado
		<i>Campylopterus hemileucurus</i>	Colibrí violáceo	II	R	Esperado
		<i>Chlorostilbon assimilis</i>	Esmeralda jardinera	II	R	Observado
		<i>Heliomaster longirostris</i>	Colibrí piquilargo	II	R	Esperado
		<i>Phaethornis guy</i>	Ermitaño verde	II	R	Observado
		<i>Phaethornis strigularis</i>	Ermitaño enano		R	Observado
CAPRIMULGIFORMES	Caprimulgidae	<i>Nyctidromus albicollis</i>	Tapacaminos común		R	Observado
	Nyctibiidae	<i>Nyctibius griseus</i>	Nictibio común		R	Esperado
CHARADRIIFORMES	Jacaniidae	<i>Jacana spinosa</i>	Jacana centroamericana		R	Esperado
	Scolopacidae	<i>Actitis macularia</i>	Andarrío maculado		M	Observado
CICONIIFORMES	Ardeidae	<i>Bubulcus ibis</i>	Garcilla bueyera		ML	Observado
COLUMBIFORMES	Columbidae	<i>Claravis pretiosa</i>	Tortolita azulada		R	Observado
		<i>Columbina inca</i>	Tortolita colilarga		R	Esperado
		<i>Columbina talpacoti</i>	Tortolita rojiza		R	Observado
		<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma coliblanca		R	Observado
		<i>Patagioenas nigrirostris</i>	Paloma piquicorta		R	Esperado
CORACIFORMES	Alcedinidae	<i>Chloroceryle americana</i>	Martín pescador verde		R	Esperado
	Momotidae	<i>Momotus lessonii</i>	Momoto común		R	Observado
CUCULIFORMES	Cuculidae	<i>Crotophaga ani</i>	Garrapatero piquiliso		R	Observado
		<i>Piaya cayana</i>	Cuco ardilla		R	Observado
		<i>Tapera naevia</i>	Cuclillo listado		R	Esperado
FALCONIFORMES	Accipitridae	<i>Buteo magnirostris</i>	Gavilán chapulinero	II	R	Observado
		<i>Elanoides forficatus</i>	Gavilán tijereta	II	R, M	Esperado
	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	Zopilote cabecirrojo		R, M	Observado
		<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote negro		ML	Observado



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Población	Situación	Registro
	Falconidae	<i>Spizaetus tyrannus</i>	Aguilillo negro	A, II	R	Esperado
GALLIFORMES	Odontophoridae	<i>Colinus cristatus</i>	Codorniz crestada		R	Esperado
		<i>Colinus leucopogon</i>	Codorniz vientrimanchada		R	Esperado
	Rallidae	<i>Aramides cajanea</i>	Rascón cuelligrís		R	Observado
PASSERIFORMES	Cardinalidae	<i>Habia rubica</i>	Tangara hormiguera coronirroja		R	Esperado
		<i>Saltator maximus</i>	Saltador gorgianteado		R	Esperado
	Corvidae	<i>Psilorhinus morio</i>	Urraca parda		R	Observado
	Cotingidae	<i>Cotinga ridgwayi</i>	Cotinga turquesa	ER, A	R	Esperado
		<i>Procnias tricarunculatus</i>	Pájaro campana	A	MA	Esperado
	Emberizidae	<i>Tiaris olivaceus</i>	Semillerito cariamarillo		R	Observado
		<i>Zonotrichia capensis</i>	Come maíz		R	Observado
	Formicariidae	<i>Formicarius analis</i>	Gallito de selva		R	Esperado
	Hirundinidae	<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	Golondrina		M	Observado
		<i>Progne chalybea</i>	Martín pechigrís		R	Esperado
		<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina blanco y azul		R	Observado
		<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	Golondrina alirrasposa norteña		R	Esperado
	Icteridae	<i>Amblycercus holosericeus</i>	Cacique picoplata		R	Esperado
		<i>Dives dives</i>	Pius		R	Esperado
		<i>Icterus galbula</i>	Bolsero norteño		R, M	Esperado
		<i>Psarocolius decumanus</i>	Oropendola crestada		MA	Esperado
		<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate grande		R	Observado
	Inserti sedis	<i>Coereba flaveola</i>	Reinita mielera		R	Esperado
	Parulidae	<i>Basileuterus rufifrons</i>	Reinita cabecicastaña		R	Observado
		<i>Myiothlypis fulvicauda</i>	Reinita guardaribera		R	Observado
<i>Setophaga cerulea</i>		Reinita cerulea		M	Esperado	



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Población	Situación	Registro
	Sylviidae	<i>Ramphocaenus melanurus</i>	Soterillo picudo		R	Observado
	Thraupidae	<i>Chlorophanes spiza</i>	Mielero verde		R	Esperado
		<i>Dacnis venusta</i>	Mielero celeste y negro		R	Observado
		<i>Habia atrimaxillaris</i>	Tangara hormiguera carinegra	PE, E	R	Esperado
		<i>Piranga rubra</i>	Tangara veranera		M	Esperado
		<i>Ramphocelus costaricensis</i>	Sargento		MA	Observado
		<i>Tangara larvata</i>	Tangara capuchidorada		R	Esperado
		<i>Thraupis episcopus</i>	Tangara azuleja, viudita		R	Observado
		<i>Thraupis palmarum</i>	Tangara palmera		R	Esperado
	Troglodytidae	<i>Catorchilus modestus</i>	Soterrey chinchirigúí		R	Observado
		<i>Catorchilus semibadius</i>	Soterrey pechibarreteado	ER	R	Observado
		<i>Microcerculus marginatus</i>	Soterrey pechiescamado		R	Observado
	Turdidae	<i>Turdus grayi</i>	Mirlo pardo		R	Observado
		<i>Turdus nigrescens</i>	Mirlo negruzco		R	Observado
		<i>Myadestes melanops</i>	Jilguero	ER	R	Observado
	Tyrannidae	<i>Empidonax albigularis</i>	Mosquerito ventriamarillo		M	Esperado
		<i>Lipaugus unirufus</i>	Piha rojiza		R	Esperado
		<i>Megarhynchus pitangua</i>	Mosquerón picudo		R	Observado
		<i>Pitangus sulphuratus</i>	Bienteveo grande		R	Observado
		<i>Tityra inquisitor</i>	Tityra coroninegra		R	Esperado
		<i>Tyrannus melancholicus</i>	Tirano tropical		R	Observado
		<i>Tyrannus tyrannus</i>	Tirano norteño		M	Observado
	Vireonidae	<i>Vireo leucophrys</i>	Vireo montañero		M	Esperado
<i>Vireo olivaceus</i>		Vireo ojirrojo		M	Esperado	
PICIFORMES	Picidae	<i>Melanerpes chrysauchen</i>	Carpintero nuquidorado	ER, A	R	Esperado
		<i>Melanerpes hoffmannii</i>	Carpintero nuquiamarillo		R	Observado



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Población	Situación	Registro
		<i>Melanerpes rubricapillus</i>	Carpintero nuquirrojo		R	Observado
	Ramphastidae	<i>Ramphastos ambiguus</i>	Tucán de Swainson	Casi A	R	Esperado
PSITTACIFORMES	Psittacidae	<i>Brotogeris jugularis</i>	Periquito barbinaranja	A, II	ML	Observado
		<i>Pyrrhura hoffmanni</i>	Perico alizulfrado	A	R	Esperado
		<i>Pyrrhura haematotis</i>	Loro cabecipardo	II	R	Esperado
STRIGIFORMES	Strigidae	<i>Ciccaba nigrolineata</i>	Lechuza blanco y negro	II	R	Esperado
		<i>Ciccaba virgata</i>	Lechuza café	II	R	Esperado
		<i>Glaucidium brasilianum</i>	Mochuelo común		R	Esperado
		<i>Pulsatrix perspicillata</i>	Búho de anteojos	II	R	Esperado
TINAMIFORMES	Tinamidae	<i>Crypturellus soui</i>	Tinamú chico		R	Observado
		<i>Tinamus major</i>	Tinamú grande	A	R	Esperado
TROGONIFORMES	Trogonidae	<i>Trogon massena</i>	Trogón coliplomizo		R	Esperado
		<i>Pharomachrus mocinno</i>	Quetzal	Casi A	R	Esperado

PE: peligro de extinción, A: amenazado, I: apéndice 1 de citas, II: apéndice II de citas, E: endémico, ER: endémico regional, R: residente, M: migratorio, ML: migratorio con movimientos longitudinales, MA: migratorio con movimientos altitudinales.

COMPONENTE DE EDAFOLOGÍA



9. Cantón Goicoechea, Diagnóstico de Edafología.

INDICE GENERAL

Contenido

1. Caracterización General.....	1
1.1. EL FACTOR DE EDAFOAPTITUD	1
2. Categorías de uso del suelo.....	5
2.1. POTENCIAL AGRÍCOLA POR FERTILIDAD DEL SUELO	7
2.2. POTENCIAL AGRÍCOLA POR CAPACIDAD DE USO DEL SUELO.....	14



1. Caracterización General

1.1. El Factor de 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 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, 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.

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 en la mayor parte del cantón en la capa anterior de CUTA, la pendiente tuvo un papel importante como una de las principales limitantes en la subclase erosión (e) junto con zona de vida en la parte Este del cantón. 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. Una vez obtenido el 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 de la siguiente manera: $\leq 3\%$, 3 a 8%, 8 a 15%, 15 a 30%, 30 a 55%, 55 a 75% y $\geq 75\%$. Estos rangos de pendiente sirvieron para separar por capacidad de uso a nivel de orden (I a VIII). 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), por otro lado las zonas de vida presentes limitan para clase II o IV (en caso de bosque pluvial) por tanto limitó a que no haya Clase I en todo el cantón. Por otro lado, en visita de campo nunca se evidenció áreas bajo condiciones de erosión severa o muy severa por tanto la máxima limitante por erosión presente sería hasta clase III. La profundidad efectiva (s_1) no fue medida en campo, sin embargo, realizar un levantamiento tipo cuadrícula requeriría miles de barrenadas para la zona, lo cual se escapa del fin de este estudio, sin embargo, de acuerdo con taxonomía de suelos (USDA 2010), estos son Udands y Ustands en toda el área (Mata *et al.* 2016) diferenciándose entre ellos sólo la cantidad de meses secos consecutivos al año (4 a 5). Estos son suelos de origen volcánico con influencia del Volcán Irazú al lado Norte y Este, y del Volcán Barva al lado Oeste y Sur Oeste. Estos suelos derivaron de rocas volcánicas recientes, coladas de lava, lahares, aglomerados y cenizas volcánicas del Cuaternario (Ortíz 2014). Por su condición de origen volcánico, especialmente de cenizas, además de observaciones puntuales en visita de campo, estos suelos tienden a ser profundos (>90 cm). De acuerdo con USDA Survey (2010) estos Udands tienen “en la mitad o más de cada pedón un horizonte plácico dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo mineral o de la parte superior de una capa orgánica con propiedades ándicas de suelo”. Además, están bajo un régimen údico por lo cual no hay presente un periodo seco de 3 meses consecutivos. Los meses secos al año son alrededor de 4 en la parte central y Oeste del área de estudio, y tiende a extenderse a 5 meses en la parte Sur Oeste en su mayoría cubierta por área urbana. Este último sector bajo condiciones más secas corresponden a los suelos de clasificación Ustands.

En la Figura 1 se puede observar como a nivel de suborden, alrededor de 95% del área de estudio del cantón de Goicoechea clasifica como Udands, donde lo urbano es en su mayoría ($>90\%$) son Udands. Cerca de un 5% del área del cantón corresponde a Ustands correspondiendo a pequeñas áreas colindando al Oeste y al Sur del cantón. Por lo anterior, las características del suelo superior en toda el área son de esperar bastantes homogéneas tanto



en propiedades químicas como en físicas, Más adelante con el resumen de los resultados de muestreo de suelos, esto se observa en forma más clara en el componente químico como físico (textura o granulometría del suelo). Por otro lado, estos suelos volcánicos de cenizas recientes tienden a tener poca estructura lo cual se relaciona con alta erodabilidad (facilidad para ser erosionados) especialmente ante el agente lluvia. A pesar de que tienen una buena capacidad de infiltración vertical, si estos suelos están sin cubierta vegetal, son fácilmente disturbados por el golpe de la gota de lluvia. Una ventaja del área del cantón es que hay una buena cobertura de bosque secundario y predominan los potreros al Este y parte central. Estos potreros para pastoreo de ganado para leche, son manejados por apartos en su mayoría (de acuerdo a lo observado en el campo), por tanto los problemas de compactación superficial y subsuperficial (< 30 cm) tienen a ser bajos, excepto en casos de potreros con alta carga animal y muy pobre mantenimiento. Además, en zonas donde el suelo no tuvo buena protección al lavado, un suelo más desarrollado (viejo) aflora y contiene mayores contenidos de arcilla. Su mayor compactación (y mayor densidad aparente) hace que estos suelos presenten mayor escorrentía superficial, por ende acelera el proceso erosivo.

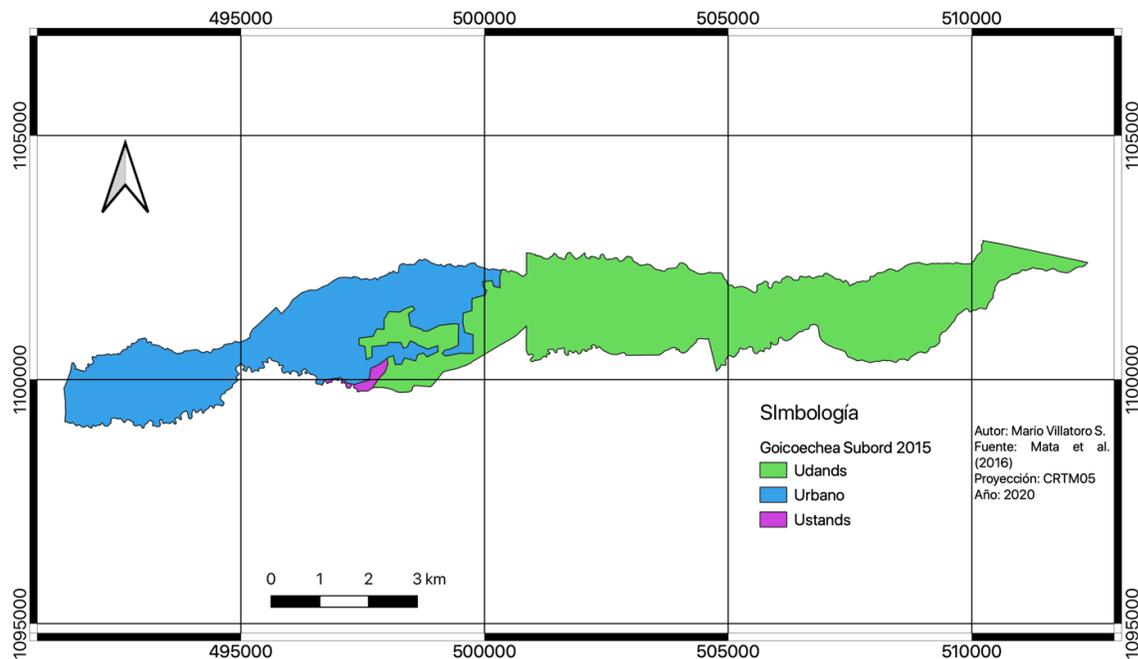


Figura 1. Tipo de suelo de acuerdo a taxonomía USDA 2010 (Mata et al. 2016), IFA Edafoaptitud Cantón de Goicoechea, provincia de San José.



La textura (s_2) fue medida en laboratorio en 21 muestras de campo y complementadas con un dato previo de una calicata realizada en el 2009 como a 1,5 km del borde Norte del cantón de acuerdo a consulta de Mata et al. (2016). Las texturas predominantes son medias a moderadamente finas (Francas y franco arcillosas) concordando con lo común en suelos volcánicos. Continuando con las unidades de manejo, s_3 (pedregosidad) no fue evaluada ni se apreció en campo que fuese limitante importante; fertilidad (s_4) se evaluó en 21 diferentes puntos y se explica más adelante; toxicidad de cobre (s_5) y salinidad (s_6) no son condiciones limitantes en la zona. 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, pero esta condición no es común en la zona, los cauces de los ríos tienden a ser profundos. Y en cuanto a clima, zona de vida (c_1) si limita la condición de potencial agrícola al Este y se explica más adelante, periodo seco (c_2) limita ligeramente al Sur Oeste, neblina (c_3) es más común en parte alta con bosque pluvial pero aún en niveles de “muy fuerte” limita máximo hasta clase III, por tanto otras unidades de manejo tendrían más peso, y algo similar sucede con viento (c_4) que no alcanza a categoría “fuerte”, con más probabilidad “moderado” restringiendo a clase II.

En el caso de zona de vida, específicamente la presencia de bosque pluvial en la parte Este lo que limita y restringe a clase V debido a lámina de agua por encima de 8000 mm anuales y como tercera limitante que se observó por muestreo fue la fertilidad que se detalla más adelante.

Las zonas de vida presentes de acuerdo con Holdridge (1964) son 5:

- Bosque pluvial montano bajo (bp_MB) con biotemperatura 12-18°C.
- Bosque muy húmedo montano bajo (bmh_MB), con biotemperatura 12-18°C y precipitación de 4000 a 8000 mm al año.
- Bosque muy húmedo premontano bajo (bmh_P), con biotemperatura 18-24°C y precipitación de 4000 a 8000 mm al año.
- Bosque húmedo premontano (bh-P) con biotemperatura 18-24° C y precipitación de 2000 a 4000 mm al año.
- Bosque húmedo Montano bajo (bh-MB) con biotemperatura 12-18° C y precipitación de 2000 a 4000 mm al año.



2. Categorías de uso del suelo

La zona de estudio presenta un uso urbano denso en sus distritos, Calle Blancos, Guadalupe, Ipís, Mata de Plátano- sector este, Purral, San Francisco, para la zona de Rancho Redondo y el este de Mata de Plátano el uso predominante es rural.

.De acuerdo con el uso en elaborado por ProDUS para el diagnóstico del Plan Regulador, un 41 % delo cantón de Goicoechea corresponde a usos urbanos con 1297 ha, con un 26 % del cantón destinado a zona residencial. En la categoría de bosque se ubicó un 25 % del área total del cantón, equivalente a 807 ha, ubicado mayoritariamente en Rancho Redondo y Mata de Plátano.

En lo referente al uso agrícola y pecuario, el estudio del uso del suelo muestra un total de 990 ha , que corresponden con un 31, 2 % del área total del cantón.



Tabla 1. Distribución porcentual de áreas según el uso de suelo en el cantón.

Usos del suelo	Área (Ha)	Porcentaje
Carretera pavimentada	228,06	7,2%
Residencial	841,69	26,6%
Comercial y servicios diversos	39,79	1,3%
Industrial	94,07	3,0%
Entidad gubernamental o pública	8,39	0,3%
Educación y cultura	30,36	1,0%
Salud y bienestar	5,46	0,2%
Transporte y almacenaje	7,71	0,2%
Otros servicios urbanos	13,19	0,4%
Cementerio	5,89	0,2%
Parque y zona verde	8,01	0,3%
Deporte y recreación	13,46	0,4%
Botadero, relleno o tajo	1,63	0,1%
Curso fluvial	5,73	0,2%
Agua superficial	0,290	0,0%
Hortalizas y granos	0,64	0,0%
Frutal	5,94	0,2%
Café	62,46	2,0%
Pastos	436,89	13,8%
Pastos con árboles dispersos	404,91	12,8%
Bosque	807,47	25,5%
Charral	67,18	2,1%
Otros cultivos	79,06	2,5%
Total	3168	100,0%

Fuente: ProDUS, 2020



2.1. Potencial agrícola por fertilidad del suelo

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

Tabla 2 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 Mu 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 edafoaptitud 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 se intentaron seleccionar donde la influencia por prácticas agrícolas o contaminación fuese mínima o nula. En varias ocasiones el muestreo de potrero fue la mejor opción con la ventaja de que no es común que apliquen fertilizantes en estos sistemas dada la extensión y el sistema de manejo usado, excepto si es para pasto de corta o apartos, lo cual no se dio en ninguno de los sitios muestreados. Los paisajes y puntos de muestreo fueron seleccionados en la medida de lo posible también con una pendiente compleja (100-150 m de longitud) tal y como se aprecia en las Figuras 4 a 9. La pendiente compleja es el tipo de pendiente que en la parte superior es plana o casi plana denominándosele parta alta (A), luego una zona de pendiente que se llama parte media (M) y por último una zona de deposición que se le nombró parte baja (B). De este modo, cada punto tiene una letra, representando las partes mencionadas respectivamente de donde se tomó la



muestra compuesta de suelo producto de 3 a 5 barrenadas en un área de 4 a 9 m² de 0 a 30 cm de profundidad.

La intención de muestrear estos 3 sectores es porque representan zona de estados de erosión natural siendo de desgaste mayor en la parte alta, una etapa intermedia por lo general en la parte media y una zona de deposición de sedimentos y materia orgánica en la parte baja. Esta información puede ser usada para inferir el estado general de fertilidad en la zona de muestreo bajo estas 3 condiciones.

El muestreo se realizó en 2 días completos de recorrido de campo (24 y 26 de julio de 2020). 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). Los análisis de suelo realizados cubren además otros elementos (P, Zn, Cu, Fe y Mn) mediante solución extractora de Olsen modificado (KCl), además carbono y nitrógeno total (mediante 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 en todos los puntos osciló entre Baja y Media con excepción del punto 7_b que corresponde a un lote dentro de un barrio y posiblemente conserva su fertilidad natural. Las condiciones de fertilidad de Baja y Media limitan en Clase de Capacidad de Uso Potencial de Tierras Agroecológicas a IV y II respectivamente. 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. Por tanto su límite a clase IV no es tan restrictivo como los son topografía por ejemplo.

En el Cuadro 3 se aprecia como el pH osciló entre 5,5 y 7,8 (puntos dentro del cantón), valores que no son de alerta para fines agrícolas (Bertsch 1995) y en forma similar la acidez no presentó valores altos que puedan ser perjudiciales para crecimiento radical de cultivos agrícolas. Por otro lado en 15 de 21 puntos muestreados la suma de bases fue menor a 10 cmol(+)/L y el %SA en su mayoría por debajo de 8, con nivel alto en punto 1M (Este de Goicoechea) debido a una baja suma de bases ya que la acidez rondaba el 0,34 solamente.



En el caso de la materia orgánica (MO), se estimó a partir de carbono total, esta presentó valores con tendencia alta (3,3 a 7,5).

El P (fósforo) al ser un elemento típico en deficiencia en muchos suelos (Bertsch 1995), los valores bajos (<10) son de esperar y para fines agrícolas es uno de los que siempre se debe considerar para suministrar al suelo en caso de producción comercial. En el caso del fósforo en esta región podría ser la mayor limitante por la presencia de alófana la cual adsorbe el P e incluso en grandes cantidades. Sin embargo, resulta interesante que hubo 12 puntos donde se registró más de 10 ppm, incluso hasta poco más de 314 ppm (punto 4A) lo que sugiere que el manejo para fines agrícolas no siempre necesitará dosis altas de fósforo dado que no se evidencia gran adsorción por el suelo o son producto de áreas agrícolas previas bajo uso intensivo de fertilizaciones altas en P.

El Fe está en niveles muy altos y el Mn tienden a estar ligeramente 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).

Las texturas superficiales del suelo fueron bastantes constantes oscilando entre franco y franco arcilloso (arcillas alrededor de 30%) es decir texturas gruesas a medias que proporcionan buen drenaje interno, baja densidad aparente pero baja superficie específica como lo evidencia el bajo nivel de bases. Por otro lado, son propensos a la erosión especialmente sin cobertura natural.



Figura 2. Punto de muestreo de suelo, punto Este, Goicoechea, zona de lecherías



Figura 3. Muestreo de suelo, punto 2. Este, Goicoechea, zona de lecherías



Figura 4. Muestreo de suelo, punto 3. Este, Goicoechea, cerca quebrada Jaboncillal, zona de lecherías



Figura 5. Muestreo de suelo, punto 4. Entre calle la Isla y Quebrada Jaboncillal. Goicoechea.



Figura 6. Muestreo de suelo, punto 5. Este de El Carmen, zona urbana, Goicoechea



Figura 7. Muestreo de suelo, punto 6. Purral, Goicoechea, zona urbana.



Figura 8. Muestreo de suelo, punto 7a. Oeste de Calle Blancos, Goicoechea. Zona residencial e industrial



Figura 9. Muestreo de suelo, punto 7b. Lote baldío al Norte de Calle Blancos, Goicoechea, zona residencial.



Figura 10. Muestreo de suelo, punto 7c. Este de Calle Blancos, Goicoechea, zona residencial.



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Tabla 3. Resultados químicos y físicos (textura) de muestras de suelo provenientes del cantón de Goicoechea, Costa Rica. KCl-Olsen modificado como solución extractora. Metodología Bouyucos para textura. Muestreo: 24 y 27 de julio 2020.

Punto*	Coord. CRTM05 E N		pH		cmol(+)/L					%	mg/L					%	Textura	
			H ₂ O	Acide	Ca	Mg	K	CIC	Base	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	MO		N
			5.5	0.5	4	1	0,2	5	15		10	3	1	10	5			
1A	50970	110151	5.7	0.21	4.1	2.2	1.11	7.67	7.5	3	60	16.	5	502	11	7.5	0.5	Fa
1M	50969	110154	5.9	0.34	1.8	0.6	0.38	3.22	2.9	11	4	1.8	31	297	3	4.8	0.3	Fa
1B	50966	110156	5.5	0.30	3.4	1.6	0.24	5.69	5.4	5	34	7.8	6	549	7	5.6	0.3	Fa
2A	50660	110158	5.8	0.14	5.3	0.8	0.22	6.60	6.5	2	14	5.9	11	249	8	5.3	0.3	Fa
2M	50660	110159	5.5	0.25	2.5	0.5	0.11	3.41	3.2	7	8	4.2	10	168	3	3.7	0.2	Fa
2B	50660	110161	6.1	0.12	5.2	1.7	1.07	8.19	8.1	2	100	21.	9	405	6	7.0	0.5	Fa
3A	50396	110154	5.7	0.32	2.7	0.6	0.43	4.12	3.8	8	9	10.	13	235	5	5.6	0.4	Fa
3M	50394	110147	5.6	0.35	2.7	0.8	0.34	4.24	3.9	8	7	10.	13	218	5	6.5	0.4	Fa
3B	50387	110139	5.9	0.12	4.3	1.0	0.30	5.79	5.7	2	16	9.5	9	174	3	5.1	0.3	Fa
4A	50130	110171	6.6	0.14	9.1	3.4	2.87	15.5	15.4	0.9	314	22.	16	302	5	6.8	0.5	Fa
4M	50132	110168	6.1	0.12	5.1	1.8	0.97	8.13	8.0	2	12	5.5	27	290	7	5.5	0.4	F
4B	50132	110165	6.2	0.12	4.4	2.1	1.17	7.91	7.8	2	14	4.8	25	275	8	5.2	0.3	F
5A	49913	110073	6.2	0.14	7.3	1.7	0.97	10.2	10.1	1	3	6.6	18	174	6	6.3	0.4	Fa
5M	49914	110075	6.2	0.10	5.6	2.6	1.65	10.0	9.9	1	2	3.4	28	213	12	4.6	0.3	Fa
5B	49912	110078	6.3	0.10	5.4	1.9	1.29	8.77	8.7	1	3	3.7	23	235	12	4.9	0.3	F
6A	49667	110080	6.4	0.10	7.2	1.9	1.63	10.9	10.9	0.9	22	6.8	20	240	8	5.4	0.3	F
6M	49665	110080	6.1	0.11	5.5	1.7	0.81	8.19	8.1	1	3	4.7	21	226	7	4.3	0.3	F



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Punto*	Coord. CRTM05		pH		cmol(+)/L					%	mg/L					%	Textura	
	E	N	H ₂ O	Acide	Ca	Mg	K	CIC	Base	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	MO		N
			5.5	0.5	4	1	0,2	5	15		10	3	1	10	5			
6B	49663	110078	6.2	0.10	5.2	2.4	1.31	9.14	9.0	1	4	4.8	42	237	11	3.7	0.2	FA
7A	49254	109989	6.5	0.10	9.2	2.5	2.05	13.9	13.8	0.7	59	11.	21	234	15	5.0	0.3	FA
7M	49295	110064	7.8	0.09	13.	0.8	1.29	16.0	15.9	0.6	38	84.	16	43	4	6.3	0.2	F
7B	49319	109983	6.6	0.09	10.	3.5	1.17	15.0	15.0	0.6	20	16.	30	252	27	3.3	0.2	FA
Calic-1	49900	110384	5.1	0.3	6.5	2.4	0.87	10.1	9.77	2.9	3	0.5	10	156	103	1.6		FA

Se midió conductividad eléctrica y resultó entre 0.1 y 0.6 mS/cm (>1.5 mS/cm se considera como alta presencia de sales).
mS: milisiemens

*Toposecuencia de pendiente compleja a A: parte alta bajo efecto de erosión hídrica, M: parte media (mayor pendiente) y B: parte baja o de deposición.

MO: Estimado a partir del %C total multiplicado por 1.43 (R² de 0.95). Nombres texturales: FA es Franco arcilloso, Fa es franco arenoso y F es franco



2.2. Potencial agrícola por capacidad de uso del suelo

En la Figuras 11 se muestran la distribución espacial de los polígonos de Capacidad de Uso potencial para Tierras Agroecológicas. Como se observa en el mapa ubicado en la figura 11, en la parte central y Este del cantón, donde precisamente se ubica la parte agrícola y montañosa. Estas Tierras clase III son buenas para fines agrícolas complementadas con prácticas y estructuras de conservación de suelos en el cantón.

En la parte Oeste la Edafaptitud corresponde a potencial de uso de Tierras clase II y III (Fig. 13), cuyas limitantes principales fueron zona de vida (bosque muy húmedo) y pendientes. Estas últimas podrían ser modificadas artificialmente mediante construcción de terrazas (a un alto costo financiero), pero, aunque se logren bajar para pasar incluso como clase I o II, la zona de vida sigue limitando a clase II. Además la mayor parte de las Tierras bajo clase II están con uso urbano. Las tierras clase IV corresponden a aproximadamente el 38% del área. Muchas de estas áreas corresponden a la parte media o central del cantón hacia el Este. Estas extensiones de tierra aún pueden ser cuidadas para fines agrícolas, las horas luz en esa zona son mejores que en la parte Este hacia la zona más montañosa, la lluvia limita menos, el periodo seco es más largo pero con riego estas tierras tienen en potencial agrícola aún para cultivos anuales, pero con diversas estructuras y prácticas de conservación de suelos. A pesar de que la fertilidad baja puede limitar hasta clase IV de capacidad de uso de Tierras agroecológicas, este puede ser manejada y lograr una mejora en condición en poco tiempo (< 1 año). Las Tierras clase V y VI corresponden a casi un 8% del área y se concentra al Este del cantón y algo más distribuidas en la parte media. Por último, las clases VII y VIII están concentradas en la parte más montañosa y alta del cantón al Este con una pequeña excepción por El Alto de Guadalupe que tiene alta pendiente pero muy localizada.

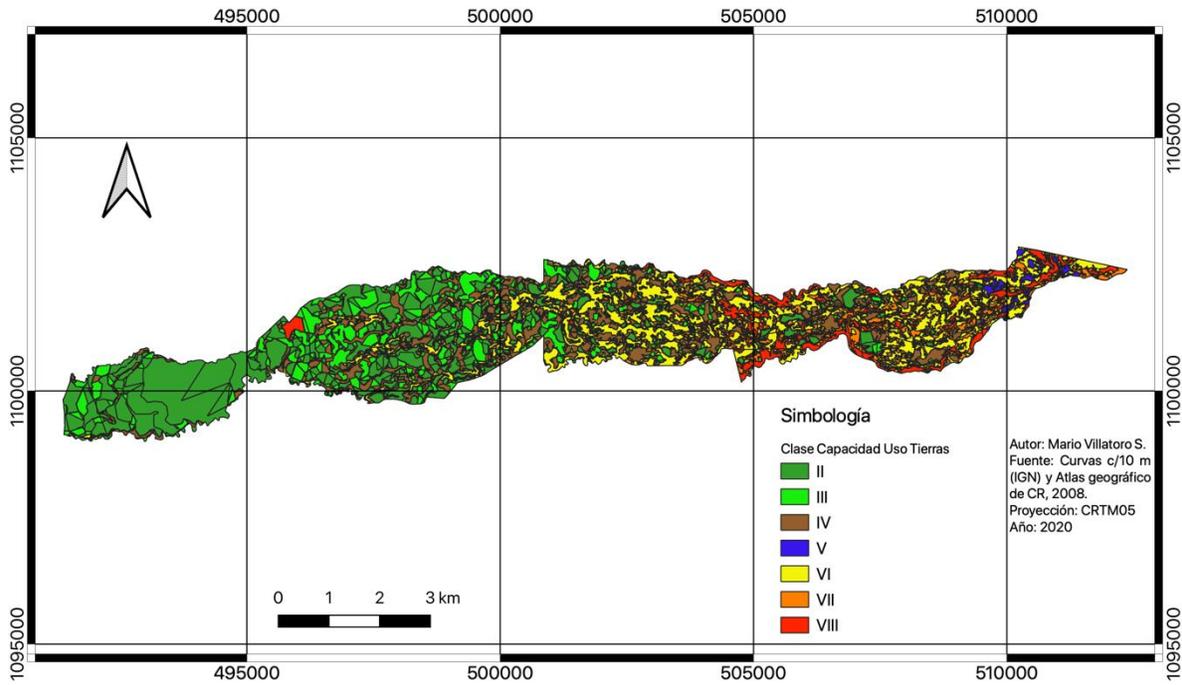
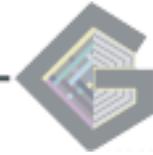


Figura 12. Áreas con base en Capacidad de Uso potencial de Tierras Agroecológicas (metodología actualizada 2019) para el área de estudio del cantón de Goicoechea. Revisión integrando levantamiento de pendientes a partir de curvas de nivel, taxonomía de suelo y zona de vida.

COMPONENTE HIDROGREGOLOGÍA

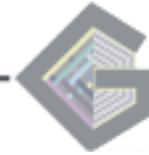


ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	1
1.1 Objetivos del estudio	1
1.1.1 <i>Objetivo general</i>	1
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	1
2. Metodología	2
2.1 Cálculo de la evapotranspiración.....	2
2.2 Uso actual de la tierra.....	3
2.3 Uso y aprovechamiento del agua.....	3
2.4 Caracterización de suelos.....	4
2.5 Morfometría de las cuencas.....	5
2.6 Modelo hidrogeológico conceptual.....	5
2.7 Zonificación de la recarga potencial.....	6
2.8 Vulnerabilidad hidrogeológica.....	6
3. Caracterización de la zona de estudio	8
3.1 Variables atmosféricas	8
3.1.1 <i>Precipitación</i>	8
3.1.2 <i>Temperatura</i>	16
3.1.3 <i>Evapotranspiración potencial</i>	17
3.2 Variables antrópicas	22
3.2.1 <i>Uso actual de la tierra</i>	22
3.2.2 <i>Uso y aprovechamiento del agua</i>	24
3.3 Hidrología	28
3.3.1 <i>Cuencas del área de estudio</i>	28



3.4 Variables del suelo y subsuelo.....	37
3.4.1 <i>Características del suelo</i>	37
3.4.2 <i>Geología</i>	39
3.4.3 <i>Estructuras morfotectónicas</i>	44
4. Hidrogeología.....	45
4.1 Perfiles hidrogeológicos	48
4.2 Niveles de agua y flujo subterráneo	53
4.3 Vulnerabilidad a la contaminación	56
4.4 Zonificación de las zonas de recarga	60
4.5 Modelo hidrogeológico conceptual	61
5. Conclusiones	64
6. Recomendaciones	67
7. Referencias	69



Índice de tablas

Tabla -1	Lista de estaciones meteorológicas con datos de precipitación.....	8
Tabla -2	Lista de estaciones meteorológicas contempladas para estimar la temperatura.....	16
Tabla -3	Temperatura anual para el cantón de Goicoechea.....	20
Tabla -4	Evapotranspiración potencial anual para el cantón de Goicoechea.....	21
Tabla -5	Uso del suelo en el cantón de Goicoechea.....	22
Tabla -6	Estados de los expedientes de concesiones de agua en el cantón	25
Tabla -7	Rangos del factor de forma	31
Tabla -8	Rangos aproximados de las clases de compacidad.....	32
Tabla -9	Parámetros morfométricos de las subcuencas y microcuencas del cantón de Goicoechea.....	34
Tabla -10	Clasificación de la pendiente.....	34
Tabla -11	Textura de muestras analizadas por López-Oviedo (2015).....	37
Tabla -12	Relación de unidades geológicas e hidrogeológicas en una parte del Valle Central.....	40
Tabla -13	Pozos con información litológica según base de datos del SENARA	46
Tabla -14	Profundidad del nivel del agua subterránea del acuífero superior	53
Tabla -15	Resumen de índices GOD utilizados	56
Tabla -16	Valores de profundidad del agua del acuífero superior utilizado.....	57
Tabla -17	Recomendaciones de acuerdo con zonificación hidrogeológica.....	67

Índice de figuras

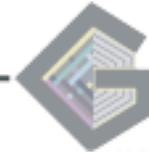
Figura 1.	Resumen de los índices de la metodología GOD.	7
Figura 2	Mdelo de elevación digital, cantón de Goicoechea.....	28
Figura 3	Variación de la curva hipsométrica según la edad de los ríos. Fuente: Ibáñez et al. (2010).	33
Figura 4	Perfil hidrogeológico A-A´	50
Figura 5	Perfiles hidrogeológicos B-B´ y C-C´	51
Figura 6	Comparación de la recarga potencial calculada por López-Oviedo (2015) y Ramírez (2014b).....	60
Figura 7	Modelo hidrogeológico conceptual del cantón de Goicoechea	63

Índice de mapas

Mapa 1	Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas.....	9
Mapa 2	Precipitación media mensual de enero a abril en el cantón de Goicoechea	12
Mapa 3	Precipitación media mensual de mayo a agosto en el cantón de Goicoechea	13
Mapa 4	Precipitación media mensual de septiembre a diciembre en el cantón de Goicoechea.....	14
Mapa 5	Precipitación media anual en el cantón de Goicoechea	15
Mapa 6	Evapotranspiración potencial anual.....	18
Mapa 7	Uso del suelo en el cantón de Goicoechea.....	23



Mapa 8	Distribución de las concesiones de agua en el cantón de Goicoechea	27
Mapa 9	Cuencas del cantón de Goicoechea.....	30
Mapa 10	Pendientes en área de estudio.....	35
Mapa 11	Clasificación de suelos en el cantón de Goicoechea, según López-Oviedo (2015).....	38
Mapa 12	Mapa geológico local	41
Mapa 13	Ubicación de perfiles hidrogeológicos.....	49
Mapa 14	Mapa hidrogeológico del cantón de Goicoechea (Acuífero superior).....	55
Mapa 15	Profundidad del agua subterránea del acuífero superior.....	58
Mapa 16	Vulnerabilidad hidrogeológica a la contaminación en el cantón de Goicoechea.....	59
Mapa 17	Zonificación de la recarga en el cantón de Goicoechea	62



10 ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

1. Introducción

En el presente estudio se analiza la información existente de las aguas subterráneas en el cantón de Goicoechea a solicitud de ProDUS-UCR, con el fin de proponer una zonificación para medidas de protección y manejo de los recursos hídricos. Para ello es necesario realizar una investigación que recopile estudios geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos y de suelos del cantón, que coadyuven a la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 *Objetivo general*

Realizar un diagnóstico de las características hidrogeológicas en el cantón de Goicoechea que incluya la identificación de las zonas de recarga acuífera y vulnerabilidad intrínseca a la contaminación, con el fin de complementar el Plan Regulador Municipal.

1.1.2 *Objetivos específicos*

1. Caracterizar ciertos aspectos antrópicos, hidrológicos y geológicos, para determinar el estado actual del cantón en temas hídricos. El nivel de detalle varía según la disponibilidad de información en la zona de estudio.
2. Elaborar un modelo hidrogeológico conceptual a partir de la información de pozos y la geología, con el fin de ampliar el conocimiento sobre el flujo del agua subterránea en la zona de estudio.
3. Zonificar las zonas de recarga con el fin de identificar sectores preferenciales de protección ante el crecimiento urbano del cantón.
4. Determinar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos mediante la metodología GOD a partir de información geológica e hidrogeológica recopilada, con el fin de sugerir acciones que contribuyan al ordenamiento territorial.
5. Brindar recomendaciones sobre la zonificación territorial, uso de la tierra y gestión del recurso hídrico, para su futura conservación y protección.



2. Metodología

La metodología para llevar a cabo este estudio se dividió en tres fases:

- Fase 1: Consistió en la recopilación de la información geológica, hidrogeológica, climática y de suelos disponible en las bases de datos del SIBDI (UCR) y la Escuela Centroamericana de Geología, SENARA, Dirección de Aguas del MINAE, Acueductos y Alcantarillados, Instituto Meteorológico Nacional (IMN), el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT), el mapa geológico se obtuvo del estudio Geológico para el Plan Regulador. La base cartográfica utilizada se obtuvo en el SNIT en escala 1:25000. Se realizó una valoración de la calidad y cantidad de información obtenida con el fin de identificar zonas con faltantes de información.
- Fase 2: Consistió en el análisis de la información recopilada, esta fue sistematizada en tablas, gráficos y mapas, lo que permitió una valoración de la calidad y cantidad de datos, de esta manera se identificaron zonas con menor información. Se caracterizó la zona de estudio y se generaron los insumos base para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual.
- Fase 3: Comprendió la zonificación hidrogeológica, las conclusiones y recomendaciones.

A continuación, se describe de manera detallada la metodología utilizada para obtener los distintos insumos de este estudio:

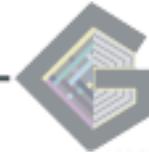
2.1 Cálculo de la evapotranspiración

La información de temperatura se obtuvo de 5 estaciones meteorológicas dentro y cercanas a la zona de estudio, las cuales fueron suministradas por el IMN. Posteriormente, se procedió a realizar una correlación entre la temperatura media anual y las elevaciones, esto con el fin de obtener un modelo de temperatura promedio anual espacialmente distribuido, a partir del modelo de elevación digital, permitiendo cubrir zonas que no disponen de información.

Hay diferentes formas de determinar la evapotranspiración, sin embargo para el presente estudio se basó en la fórmula propuesta por Holdridge (1959) en (Orozco, 2014). Esta expresión es utilizada en regiones tropicales y subtropicales (a excepción de zonas con elevaciones altas) (Vega & Jara, 2009).

Holdridge (1959) establece la ecuación de la siguiente forma:

$$ETP = 58.9 \times t_{bio}$$



La expresión está en función de la temperatura del aire comprendida entre los 0 y 30 grados Celsius (Biotemperatura) (Vega & Jara, 2009). Al no contar con esta información se aplicó con los datos de temperatura promedio mensual registrados con el modelo construido a partir de elevaciones digitales.

Dicha fórmula logra determinar el ritmo y la intensidad de los procesos fisiológicos de la planta así como también la tasa de evaporación directa del agua contenida en el suelo y en la vegetación (Vega & Jara, 2009). Para obtener los valores de evapotranspiración potencial mensual se realizó una normalización de la evapotranspiración potencial en función de la temperatura de cada mes, para pasar los valores de anual a mensual.

2.2 Uso actual de la tierra

Para la información geográfica de uso del suelo se utilizó como base los geodatos generados por ProDUS UCR en 2020 para el cantón de Goicoechea. Para fines hidrogeológicos dicha información se reclasificó en 4 categorías distintas según la propuesta de Schosinsky (2006).

- Bosques: en esta clase se incluyen las áreas cubiertas por árboles, siempre y cuando se encuentren agrupados con una densidad lo suficientemente alta, como para ser el único uso identificable en un análisis con fotografías aéreas.
- Pastos: en esta clase se agrupó las áreas con cobertura vegetal de baja altura, incluyendo pastos, charrales, pastos con árboles dispersos, tacotales y cualquier otra superficie que corresponda a zonas verdes que no corresponda a cultivos ni bosques.
- Cultivos: en esta clase se incluyen todas las zonas utilizadas para agricultura, en las que el hombre interviene directamente. En el cantón de Goicoechea se puede citar cultivos de café, frutales, hortalizas y granos, entre otros.
- Urbano: en esta clase se encuentran todas las áreas cuya superficie fue impermeabilizada producto de la actividad antrópica, incluyendo carreteras, techos, parqueos, residenciales, zonas de comercio, cementerios, centros educativos, zonas de uso industrial entre otros posibles usos encontrados en la ciudad.

2.3 Uso y aprovechamiento del agua

Para determinar el consumo de agua para diferentes actividades en el cantón de Goicoechea se utilizó la información sobre concesiones de la Dirección de Aguas actualizadas a la fecha 27/07/20 en el visor de mapas públicos en la página web de la institución.



En total se procesó los datos de 106 concesiones las cuales se clasificaron por el tipo de uso, el tipo de fuente y el estado del expediente, para cada caso se generaron gráficos y tablas para una mejor visualización de la información y un mapa para observar su distribución espacial.

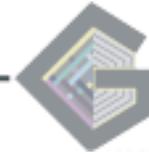
2.4 Caracterización de suelos

Para llevar a cabo la caracterización de suelos en el cantón de Goicoechea se analizaron los estudios de Bogantes et al. (2002) y López-Oviedo (2015), con el fin de conocer las características texturales y la infiltración en el suelo y de comparar los datos teóricos con resultados de campo.

El estudio de Bogantes et al. (2002) consistió en una zonificación de suelos en el país con fines geotécnicos, este se fundamentó en el análisis e interpretación por medio de Sistema de Información Geográfica (SIG), bajo elementos fundamentales como lo es la génesis del suelo, la cual es interpretada a partir de estudios edafológicos del suelo y como último elemento el clima. Para ello se realizó una descripción de la taxonomía del suelo (en base a la Taxonomía de suelos de los Estados Unidos de América), permitiendo obtener información del suelo ya clasificado y sus principales características. Una vez identificados los elementos formativos con características relevantes para fines ingenieriles se toma un mapa edafológico de suelos y se reinterpreta la información (Bogantes et al., 2002). De acuerdo con los autores para diferenciar cada unidad edafológica se utilizó el Mapa Preliminar de Suelo de Costa Rica y se complementó con el Mapa de Suelos de Costa Rica, ambos del MAG de los años 1978 y 1955 respectivamente, con lo cual se obtuvo un mapa 1:200 000.

Mientras tanto López-Oviedo (2015) realizó un muestreo de suelos en la zona sur de la cuenca del río Virilla, con el objetivo de definir algunas características del suelo, necesarias para elaborar un balance hídrico de suelos, tales como textura, capacidad de campo, punto de marchitez, densidad aparente. Varias de estas muestras se encuentran dentro y cercanas al área de estudio, cabe resaltar que en dicha investigación se optó por no muestrear en los sectores de mayor concentración urbana, debido a que por la escala de trabajo se consideró la zona totalmente cubierta por concreto, por lo que se interpoló con datos en los alrededores.

Para realizar los mapas de tipo de suelo López-Oviedo (2015) optó por una interpretación basada geopedológica, la cual consiste en la combinación de criterios geomorfológicos y pedológicos, para establecer unidades de mapeo. Con base en este principio se delimitaron zonas con características similares (principalmente pendiente y drenaje) y se les asignó el valor de la muestra más cercana (López-Oviedo, 2015). Los valores de capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente que utilizó el autor en el balance hídrico de suelos se asignaron a las mismas unidades.



2.5 Morfometría de las cuencas

El análisis morfométrico de las cuencas nos permite conocer sus las características físicas para establecer comparaciones entre cuencas de tamaño similar, esto además de ayudar a la interpretación y funcionalidad hidrológica, nos permite establecer correlaciones con características geológicas e hidrogeológicas.

Para dicha interpretación se utilizaron las curvas 1:25 000 del SNIT del Instituto Geográfico Nacional (IGN), con las cuales se generó un modelo de elevación digital (MED). La delimitación se realizó con Arc Hydro Tools, este es un conjunto de herramientas y modelo de datos de carácter geoespacial desarrolladas por el Centro de Investigaciones en recursos de agua de la Universidad de Austin y opera en el entorno de ArcGis.

Posteriormente se determinaron los parámetros para la subcuenca del río Virilla en la cual se encuentra en cantón de Goicoechea y para 7 microcuencas identificadas, el análisis se realizó para cada cuenca completa pues el límite del cantón es solo una división administrativa.

Para la estimación de la densidad de drenaje se utilizaron los cauces y drenajes 1:25 000, también tomados del SNIT.

2.6 Modelo hidrogeológico conceptual

La base para el modelo hidrogeológico conceptual fue el mapa geológico realizado en el apartado del Estudio Geológico, en dicha sección se describe detalladamente el trabajo realizado. De manera general, para la elaboración de este se realizó una investigación bibliográfica de la geología y estructuras en el cantón la cual fue complementada con trabajo de campo, el cual incluyó reconocimiento e interpretación genética de las rocas, relaciones espaciales entre estas y el reconocimiento e interpretación estructura.

Además, se recopiló información de pozos del SENARA y la Dirección de Aguas para la elaboración de 3 perfiles hidrogeológicos. Según estos datos, dentro de Goicoechea hay un total de 123 pozos, de los cuales 53 cuentan con información litológica, se tomaron en cuenta también 20 pozos fuera del cantón por su relativa cercanía, para tener datos de nivel en zonas con poca información y porque algunos de estos son pozos profundos fueron perforados por SENAS (antiguo SENARA) para investigaciones hidrogeológicas, dado que la mayor parte de los pozos dentro del cantón captan el acuífero superior, se consideró muy valiosa la información de estos pozos profundos para la comprensión de la hidrogeología.

La litología y niveles de agua de los pozos fue correlacionada con unidades previamente definidas en estudios regionales de la cuenca del río Virilla. Dado que el Valle Central está sometido a una gran demanda de recursos hídricos, el mismo ha sido bastante estudiado hidrogeológicamente desde la década de 1960. Cabe resaltar que a pesar de esto el cantón de Goicoechea se encuentra cerca del límite este de la cuenca del río Virilla, donde localmente hay menor cantidad de información.



Una vez definidas las unidades hidrogeológicas se utilizó el inventario de los pozos para separar los niveles que correspondían a cada unidad, sin embargo, es posible que algunos niveles correspondan con mezcla de acuíferos pues en algunos casos se reporta únicamente el nivel estático final y no la variación de niveles durante la perforación. Se utilizaron niveles estáticos de 53 pozos que se considera corresponden con el nivel del acuífero superior para elaborar la red de flujo de este.

2.7 Zonificación de la recarga potencial

Para realizar la zonificación de la recarga potencial en el cantón en estudio se tomó en cuenta los mapas de recarga potencial generados por López-Oviedo (2015) y Ramírez (2014b). Si bien los resultados del volumen de recarga obtenida por los autores son diferentes, pues se utilizaron datos y escalas diferentes, se analizaron las zonas de menor y mayor recarga dentro del área de estudio, estos resultados además se integraron con los datos previamente generados en este informe.

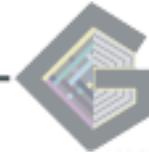
En todos los casos la recarga potencial se calculó mediante un balance hídrico de suelos utilizando la metodología de Schosinsky (2006). Esta metodología consiste en evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo en una zona y mediante un balance de suelos estimar el agua que queda libre para recargar el acuífero que se encuentra debajo del suelo analizado (Schosinsky, 2006). Se deben considerar varios factores que influyen en la recarga como: la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendiente del terreno.

2.8 Vulnerabilidad hidrogeológica

Existen diferentes metodologías para determinar la vulnerabilidad de los acuíferos, estas se basan en las características intrínsecas del medio (vulnerabilidad intrínseca) y otras se relacionan con el comportamiento del medio y tipo de contaminante (vulnerabilidad específica). Para este estudio se determinó la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación utilizando la metodología de GOD desarrollada por Foster (1987), la cual 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 (0), el índice de vulnerabilidad se calcula como el producto de los factores anteriores:

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

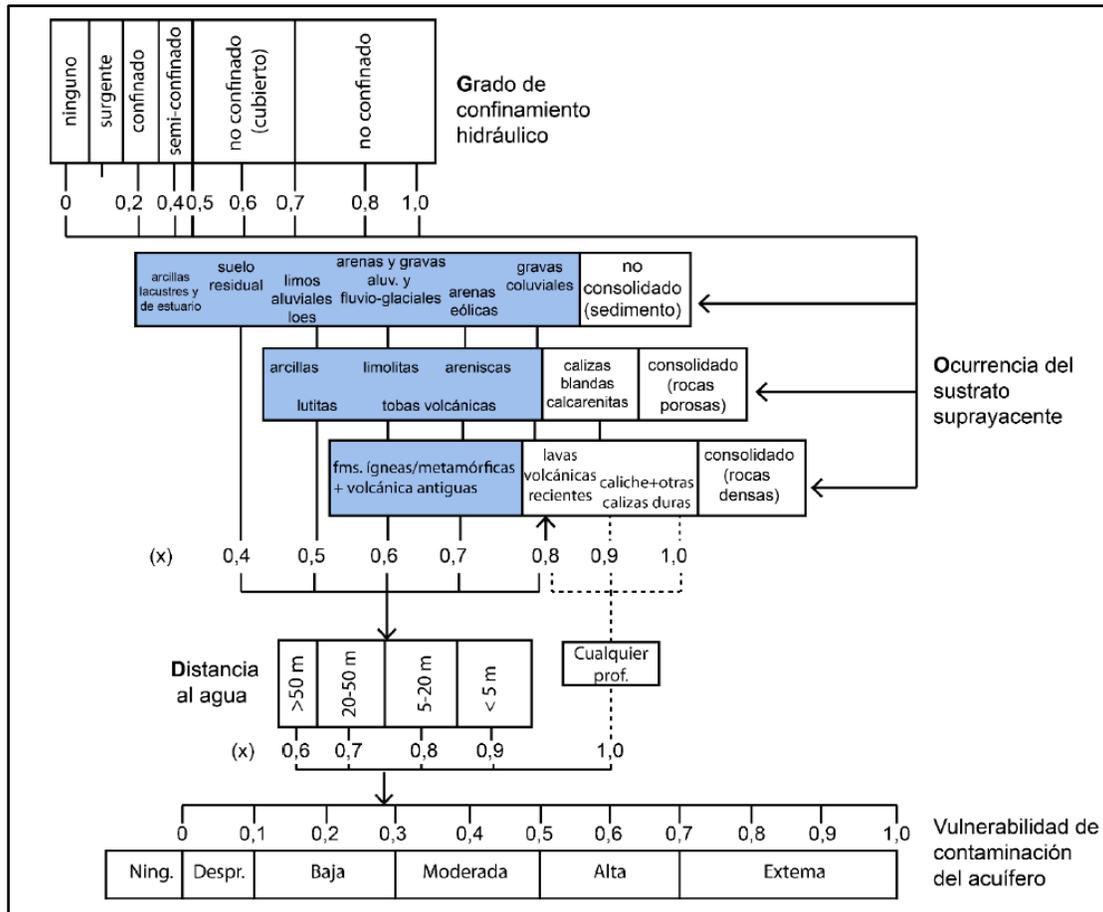


Figura 2. Resumen de los índices de la metodología GOD. Modificado de (Foster et al., 2002).



3. Caracterización de la zona de estudio

3.1 Variables atmosféricas

3.1.1 Precipitación

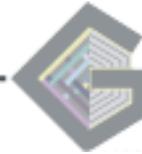
Como fase inicial para cuantificar la precipitación en la zona de estudio se recopiló la información de diez estaciones meteorológicas del IMN dentro y cercanas al cantón, estas abarcan períodos de medición de 1888-2017, la lista de estaciones se puede observar en la Tabla -1 y su distribución espacial en el Mapa 1.

Tabla -1 Lista de estaciones meteorológicas con datos de precipitación

Número	Estación	Latitud N	Longitud O	Altitud (m.s.n.m)	Períodos	Promedio de precipitación anual (mm)	Total de precipitación anual (mm)
73081	Volcán Irazú	09°56'	83°55'	2220	1964-1989	170,1	2041,1
84001	San José	09°56'	84°05'	1172	1888-1995	156,4	1876,3
84005	Avance de Tres Ríos	09°56'	83°57'	1870	1939-2008	218,8	2626
84006	Hda. Concepción, Tres Ríos	09°55'	84°00'	1320	1954-2014	194,8	2337,9
85007	Coronado	09°59'	84°00'	1382	1950-1973	189,4	2272,6
84018	Rancho Redondo	09°58'	83°58'	1780	1951-2011	208,5	2502,1
84065	Mozotal	09°58'	84°02'	1300	1979-1993	156	1871,7
84115	Sabanilla	09°57'	84°03'	1200	1983-1995	149	1787,5
84121	Tibás	09°57'	84°04'	1162	1982-2017	144,5	1734,3
84125	Finca 3, Llano Grande (La Laguna)	09°56'	83°55'	2220	1994-2014	167,4	2008,6

Fuente: IMN

A partir de los datos recopilados se elaboró el Gráfico 1, en este es posible observar el comportamiento de la precipitación durante el año y se diferencian dos épocas bien marcadas en todas las estaciones. La primera de ellas corresponde con la época seca, que se da de diciembre a abril, donde claramente hay un descenso en las lluvias, mientras que la segunda época es la lluviosa que se da entre los meses de mayo a noviembre, son un descenso en los meses de julio y agosto bastante característico en Costa Rica producto de la canícula.



Mapa 1 Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas

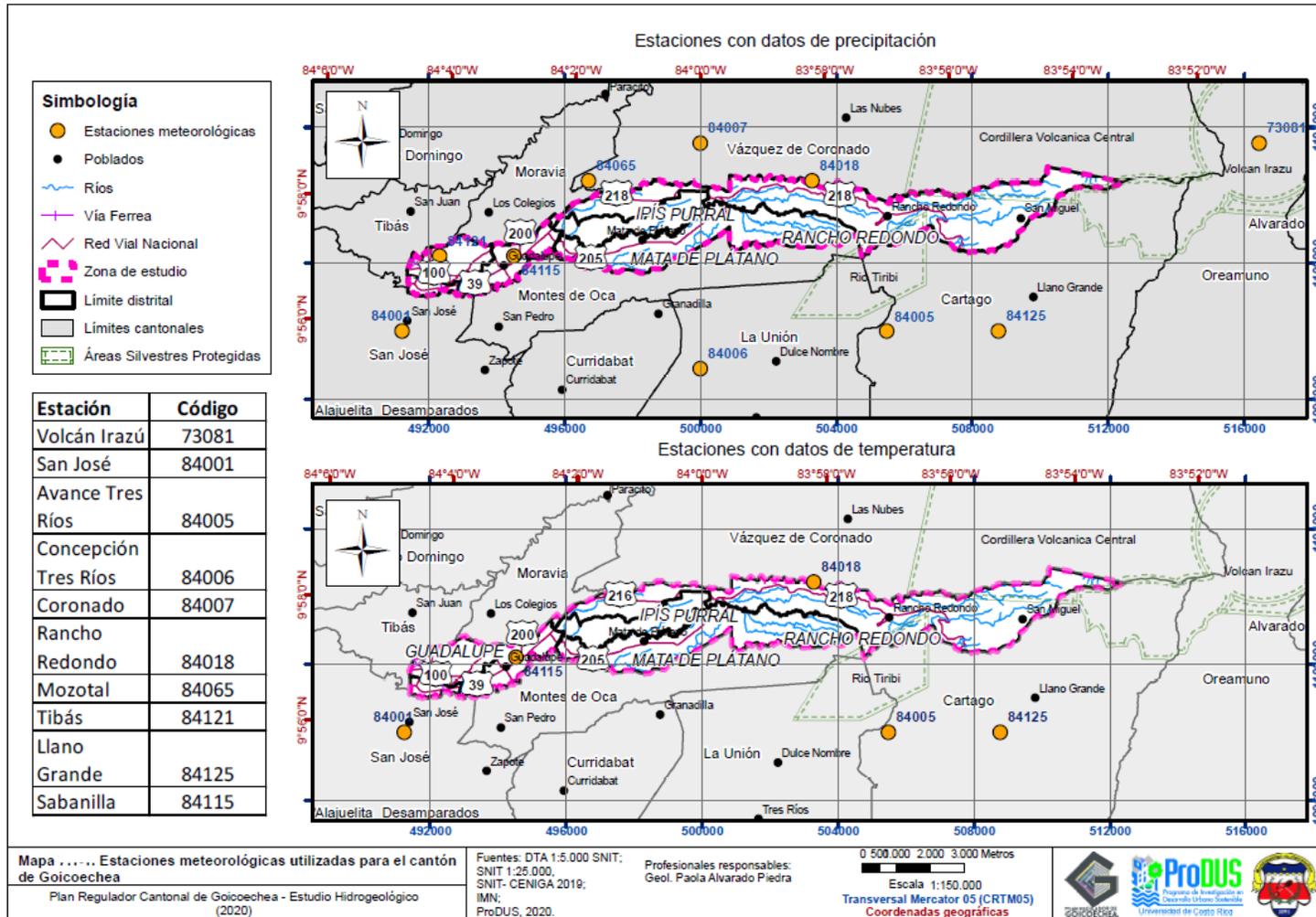
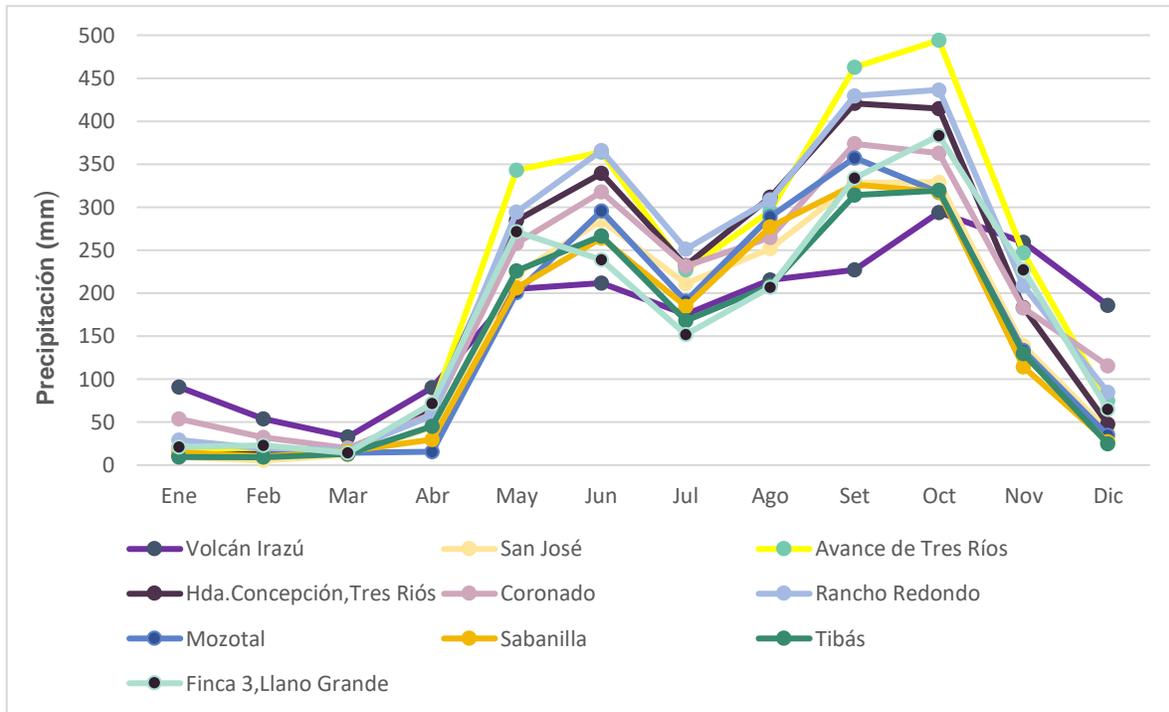




Gráfico 1 *Precipitación media mensual de estaciones meteorológicas*



En cuanto a la media de la precipitación total anual, la cual se tomó de la Tabla -1, se puede decir que estas varían entre 1700 mm a 2500 mm, representativos de su ubicación geográfica, que como indica Solano y Villalobos (2001) se caracteriza por presentar lluvias moderadas.

Las estaciones Rancho Redondo y Avance de Tres Ríos presentaron las mayores precipitaciones medias con valores entre 2500 mm a 2600 mm anuales (Gráfico 2). Por otra parte, las estaciones Sabanilla y Tibás presentaron datos de aproximadamente 1700 mm anuales, siendo estos los más bajos, es importante tomar en cuenta que los períodos de medición van desde los 12 años en la estación Sabanilla, hasta los 107 años en San José.

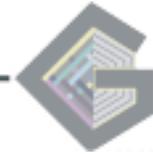
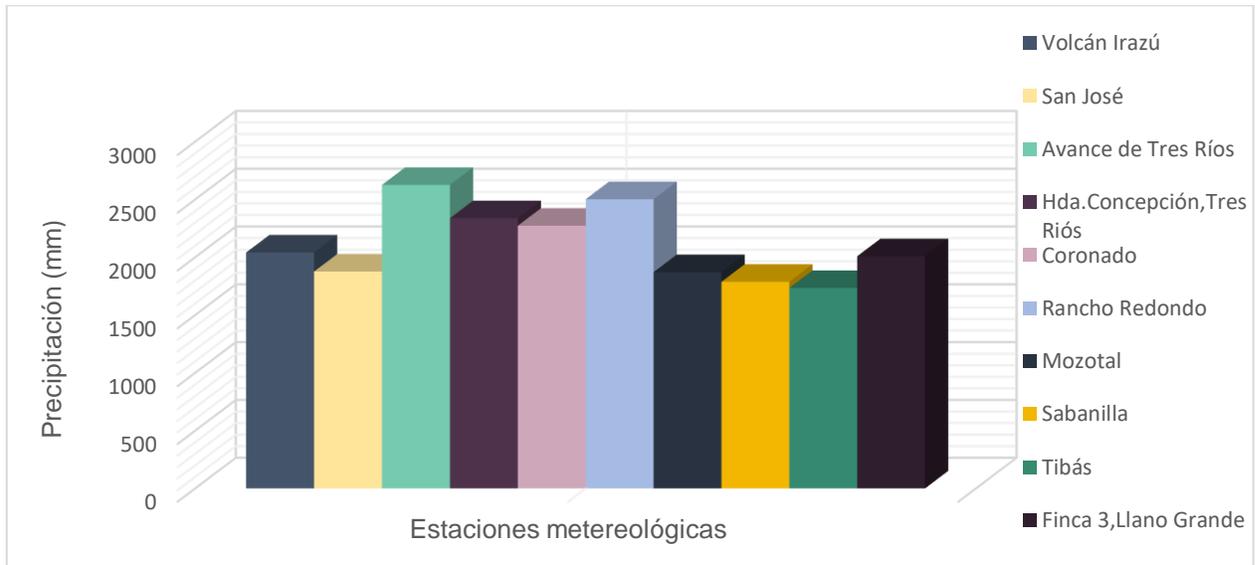


Gráfico 2 *Precipitación media anual de estaciones meteorológicas*



3.1.1.1 Mapas de isoyetas

Los mapas elaborados mensualmente para el cantón de Goicoechea se realizaron en base a isolíneas de precipitación, esta información son datos del IMN tomados de SNIT, los mapas permiten denotar la distribución de la precipitación en el cantón (Mapa 2, Mapa 3 y Mapa 4

También con base es la información mencionada se realiza un mapa de distribución media anual de la precipitación en el área de estudio (Mapa 5). En el mapa es posible observar que el cantón se divide en dos sectores, al oeste los valores de precipitación van de 1500 mm a 2000 mm, mientras que al este se presentan datos de 2000 mm a 3000 mm anuales.

Meses secos

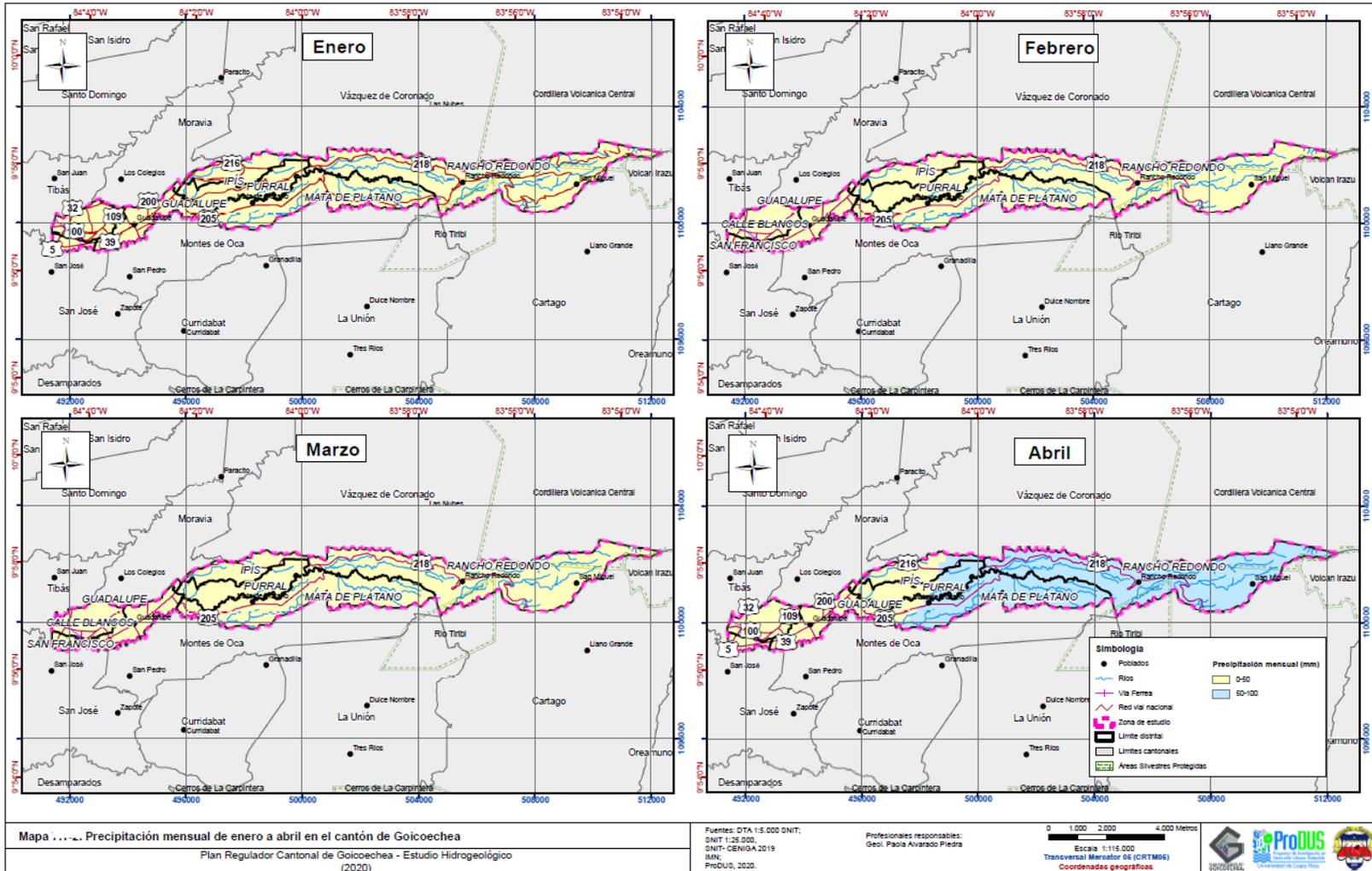
Los meses de diciembre a abril expresan un comportamiento bastante similar, es decir, su distribución de precipitación siempre es mayor de oeste a este, donde los distritos de Guadalupe, San Francisco, Calle Blancos, Purral y cierta parte de la zona central del cantón revelan los menores valores de precipitación, con datos de 0 mm a 50 mm. Caso contrario a julio donde las precipitaciones menores se ubican en la parte este del distrito de Ipís y aumentan de este a oeste.

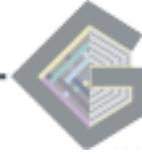
Para enero, febrero y marzo, el cantón posee un comportamiento homogéneo y las precipitaciones rondan de 0 a 50 mm.



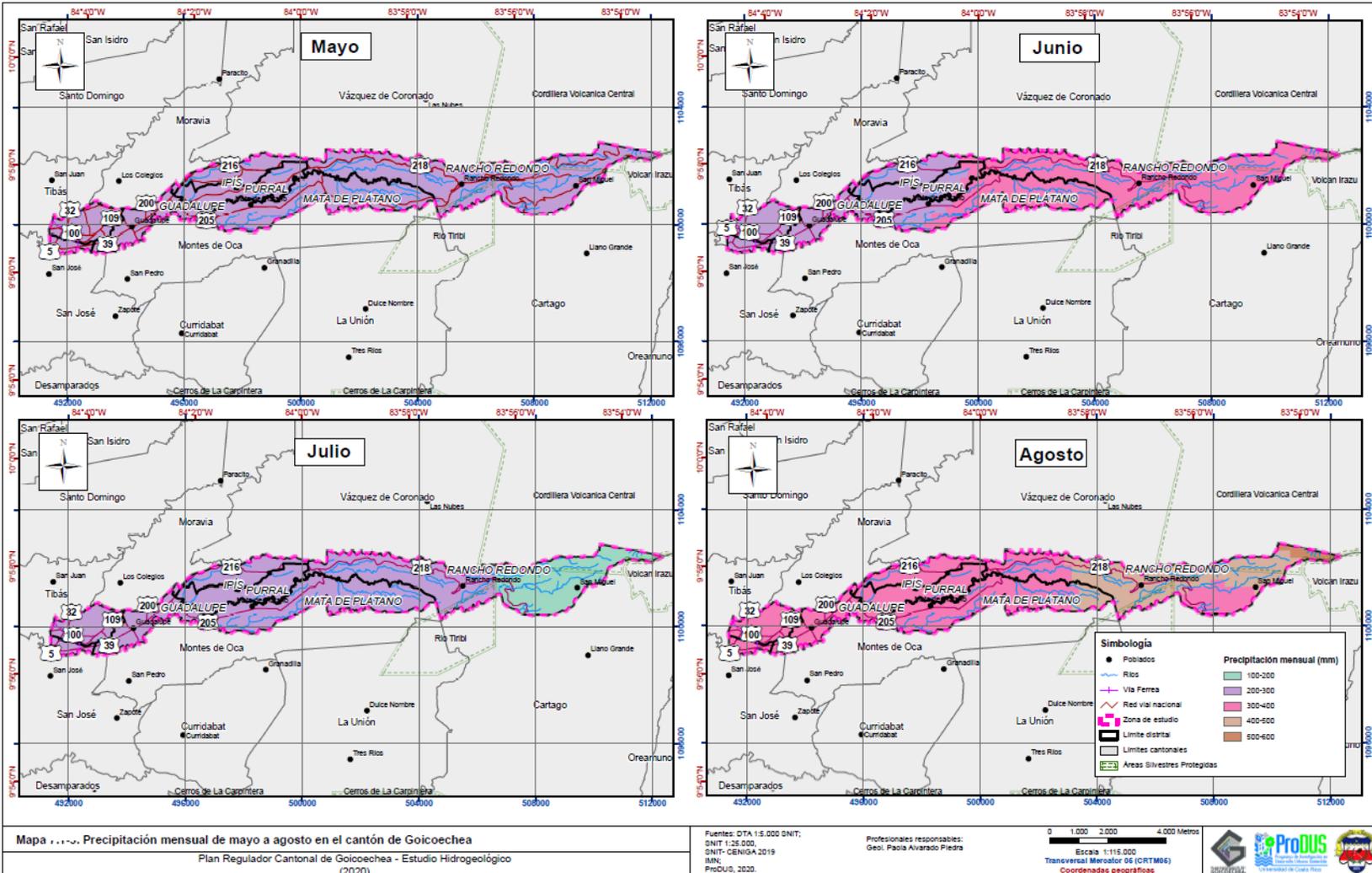
PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Mapa 2 Precipitación media mensual de enero a abril en el cantón de Goicoechea





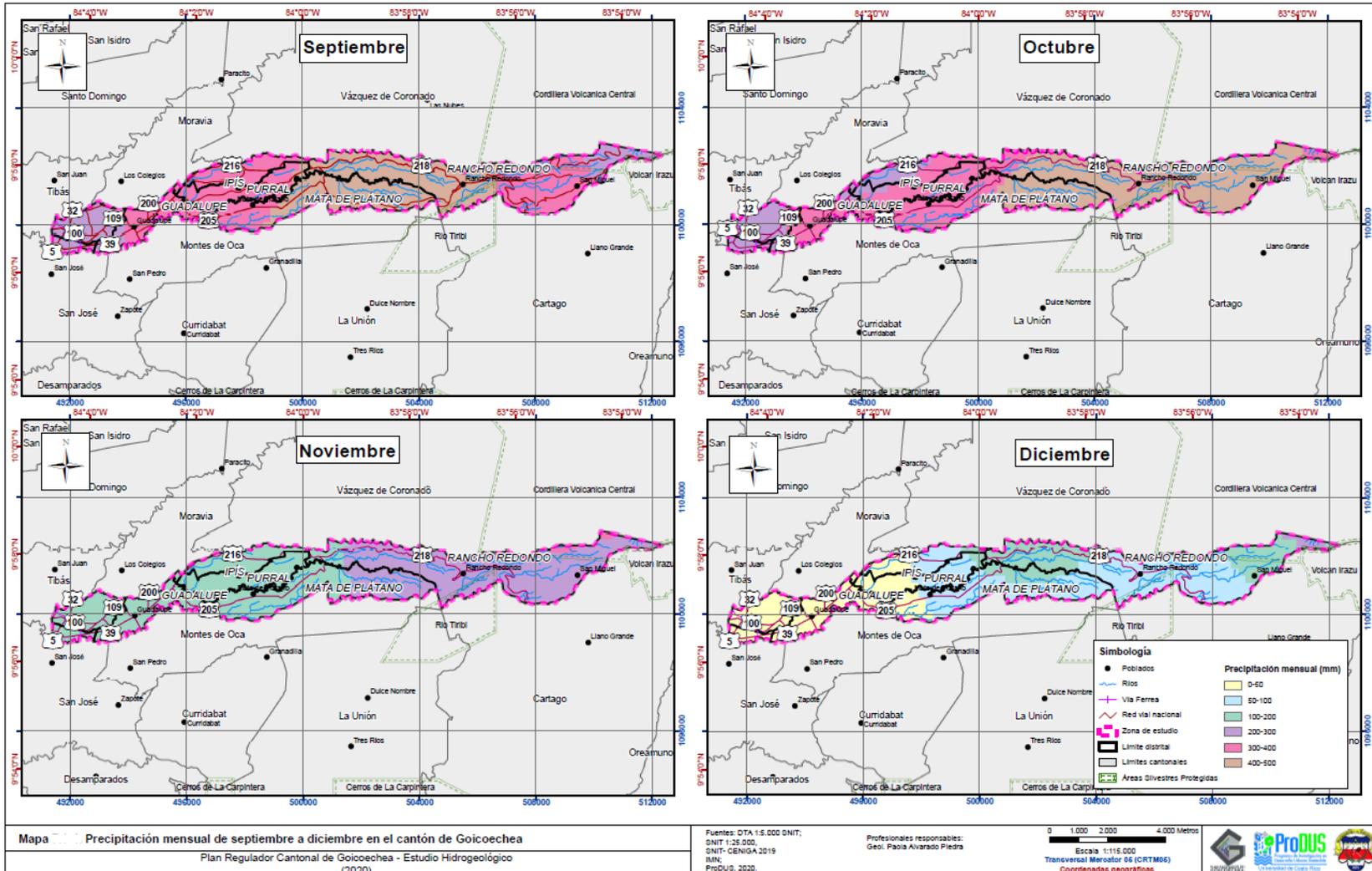
Mapa 3 Precipitación media mensual de mayo a agosto en el cantón de Goicoechea

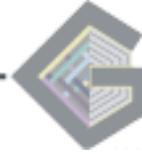




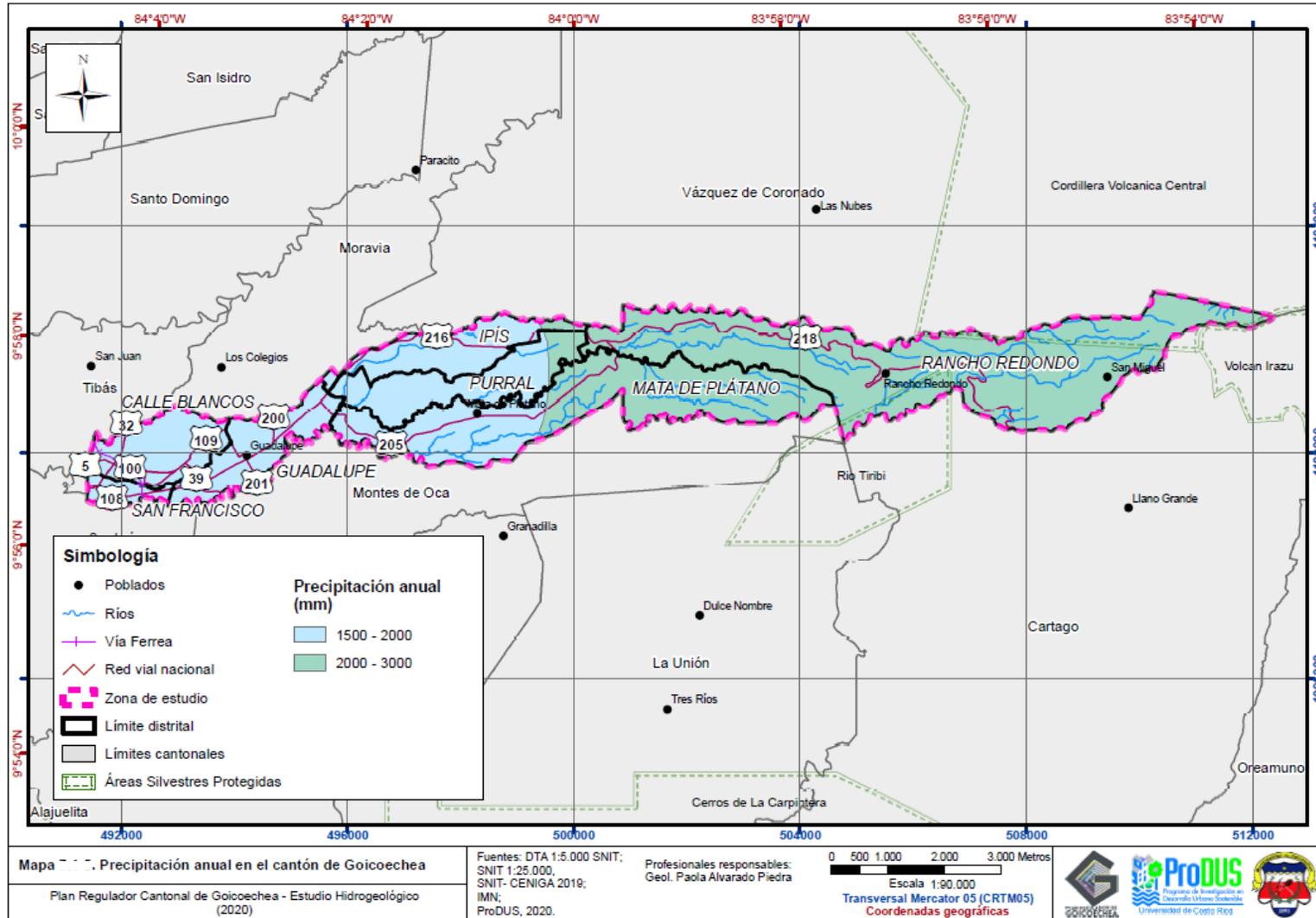
PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Mapa 4 Precipitación media mensual de septiembre a diciembre en el cantón de Goicoechea





Mapa 5 Precipitación media anual en el cantón de Goicoechea





Meses Lluviosos

En los meses lluviosos solamente mayo muestra un comportamiento homogéneo, con precipitaciones de 200 mm a 300 mm en todo el cantón. Mientras que para el mes de junio donde la precipitación aumenta de este a oeste, donde el distrito de Rancho Redondo y gran parte de la zona central del cantón muestran precipitaciones entre 300-400 mm.

Por último, los meses de septiembre a octubre exhiben una distribución bastante variada en todo el cantón, pero de manera general se mantiene el patrón de aumentar hacia el este.

3.1.2 *Temperatura*

Para llevar a cabo la estimación de la temperatura se efectuó una correlación entre el MED del terreno y la temperatura promedio anual de 5 estaciones meteorológicas, la lista de estaciones utilizadas se puede observar en la Tabla -2, y su distribución espacial en el Mapa 1.

Tabla -2 *Lista de estaciones meteorológicas contempladas para estimar la temperatura*

Número	Estación	Latitud N	Longitud O	Altitud (m.s.n.m)	Períodos	Promedio anual (°C)
84001	San José	09°56'	84°05'	1172	1949-1982	20,6
84005	Avance de Tres Ríos	09°56'	83°57'	1870	1943-2007	16,6
84018	Rancho Redondo	09°58'	83°58'	1780	1948-2011	16,4
84115	Sabanilla	09°57'	84°03'	1200	1983-1995	19,9
84125	Finca 3, Llano Grande (La Laguna)	09°56'	83°55'	2220	1986-2014	14,1

Fuente: IMN

Es posible observar en el Gráfico 3 que existe un coeficiente de correlación de 0.98, además se muestra la ecuación de ajuste, la cual será utilizada en otros cálculos más adelante. La temperatura media presenta poca variabilidad en el año, a excepción de la estación Llano Grande que presenta una temperatura promedio anual de 14.1 °C, presentándose como la más baja, sin embargo, es la estación con mayor elevación en la zona de estudio.

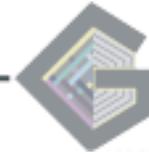
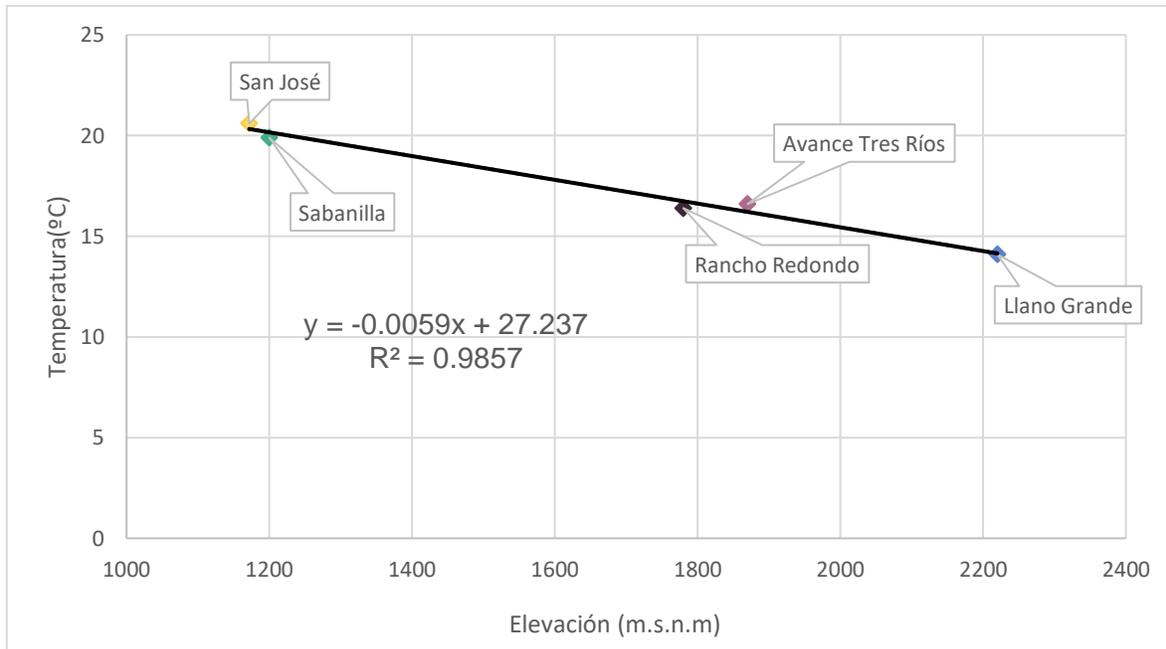


Gráfico 3 *Correlación de la temperatura media anual y las elevaciones en el Valle Central de Costa Rica*



3.1.3 Evapotranspiración potencial

El procedimiento para realizar el cálculo de evapotranspiración potencial (ETP) es por medio del método de Holdridge. Este método se basa en el seguimiento de ciertos parámetros establecidos por Thornthwaite, donde la variable de evapotranspiración se considera como independiente de la naturaleza (vegetación), estableciéndola como evapotranspiración climática o el poder de evapotranspiración de la atmósfera (Gómez y Arellano 2016).

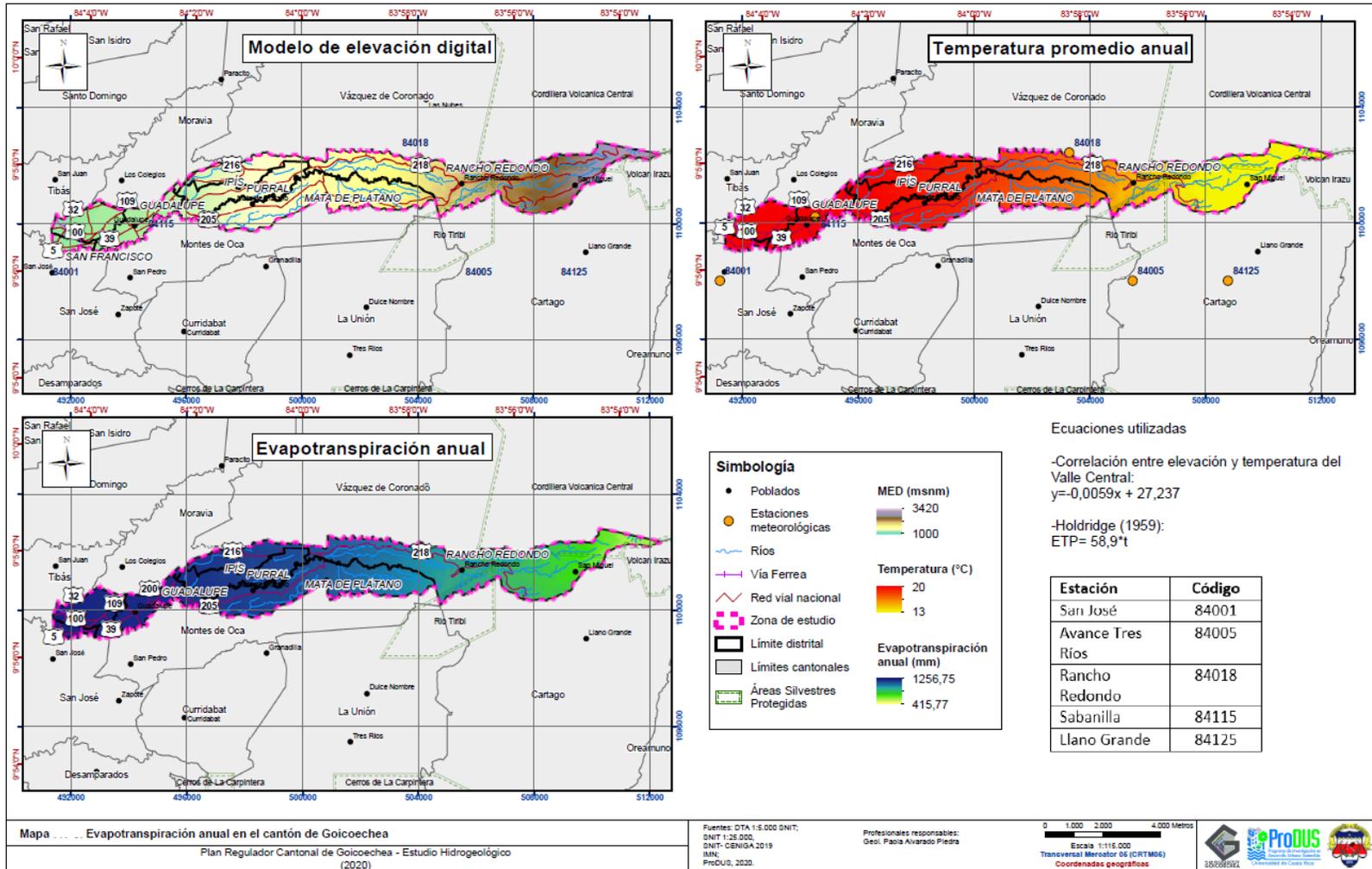
Para determinar el aporte espacialmente distribuido de la evapotranspiración potencial en el cantón de Goicoechea, es importante comprobar que los datos brindados a partir del modelo sean los más exactos. Una vez se realiza este paso se determina el cálculo de ETP para el cantón.

Como fase inicial se calcula la temperatura espacial de la zona, como se visualiza en el Mapa 6, donde se presentan los datos obtenidos a partir del modelo. Con base en estos valores se determinan los datos de temperatura para cada una de las estaciones, esto con el fin de realizar un análisis comparativo entre la temperatura teórica (temperatura de las estaciones según información proporcionada por IMN) y la temperatura experimental (temperatura de las estaciones a partir del modelo) como se representa en el Gráfico 4.



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Mapa 6 Evapotranspiración potencial anual



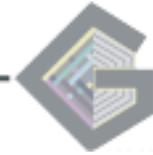
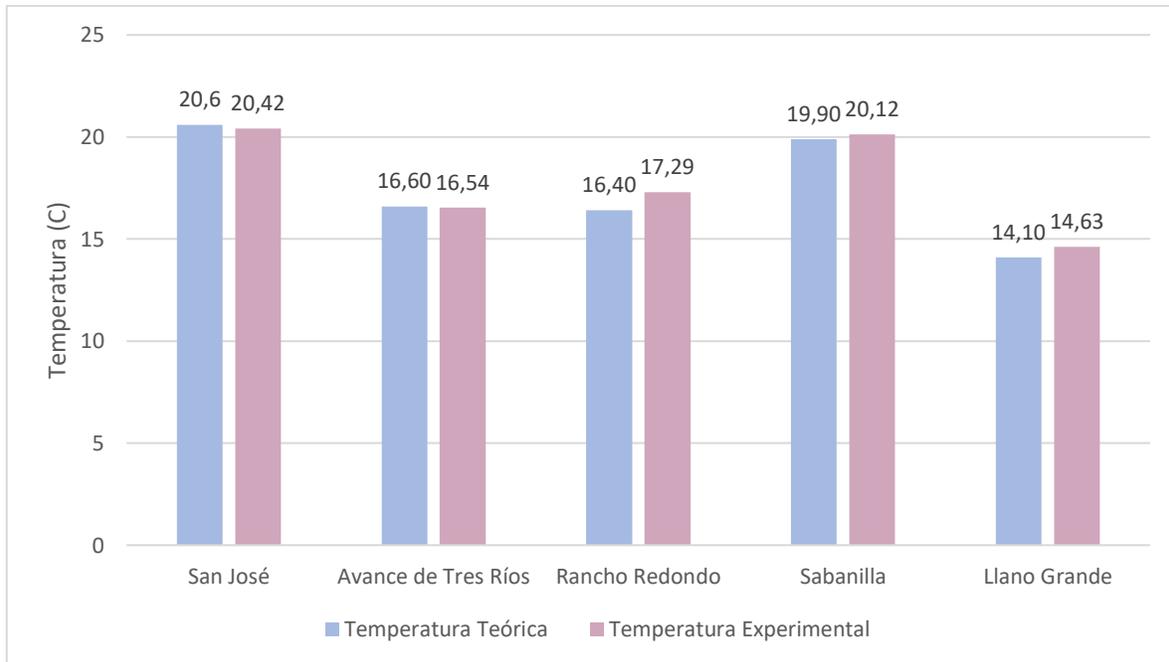


Gráfico 4 Comparación de la temperatura media anual teórica y experimental para el cálculo de la ETP mediante Holdridge



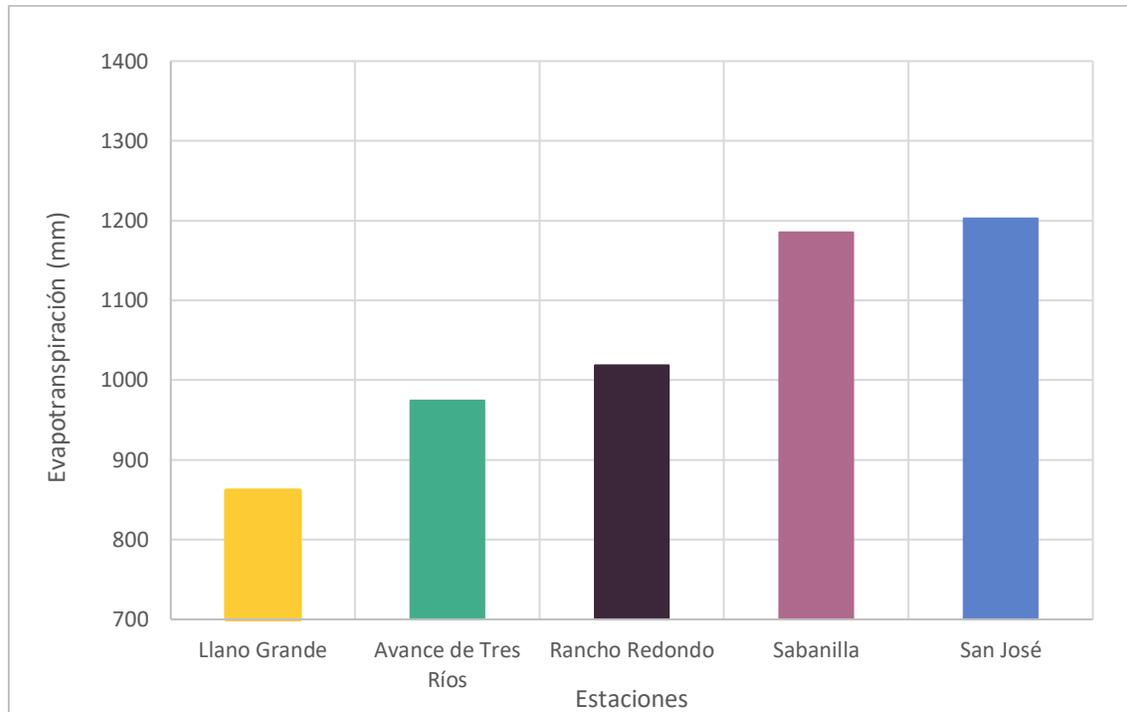
A partir de los datos obtenidos en el gráfico se realiza el análisis de validación de la temperatura propuesta por el modelo. Para concretar el análisis, se calcula el porcentaje de error obtenido en cada una de las estaciones.

El menor porcentaje de error fue expuesto en las estaciones de San José y Avance de Tres Ríos con valores de 0.87% y 0.36% respectivamente. Por otra parte, las tres estaciones sobrantes presentan un porcentaje de error que varían de 1% a 5% como máximo, estableciéndose la estación de Rancho redondo con el mayor dato de porcentaje de error. Al ser estos valores menores a 10 % se consideran óptimos para el respectivo cálculo de evapotranspiración.

Por consiguiente, dado que los valores de temperatura son viables, se calcula la evapotranspiración anual y se puntualizan los valores obtenidos en cada estación, detallándose en el Gráfico 5.



Gráfico 5 *Evapotranspiración anual de las estaciones a partir del modelo de correlación*



Una vez calculada la temperatura y evapotranspiración a partir del modelo se determinan los mismos valores, pero a nivel cantonal. Este cálculo se realizó por medio de estadística espacial con el comando de estadística de zona en QGIS.

Los datos obtenidos de temperatura mínima, media, promedio y rango del cantón se presentan en la Tabla -3.

Tabla -3 *Temperatura anual para el cantón de Goicoechea*

Temperatura	Unidades (°C)
Promedio	17,51
Mínimo	9,24
Máximo	20,57
Rango	11,33

Seguidamente se calculó la evapotranspiración potencial para el cantón. De la misma forma se detallan los datos obtenidos, con una estructura de tabla similar a la anterior.

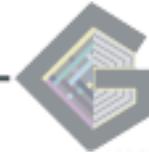
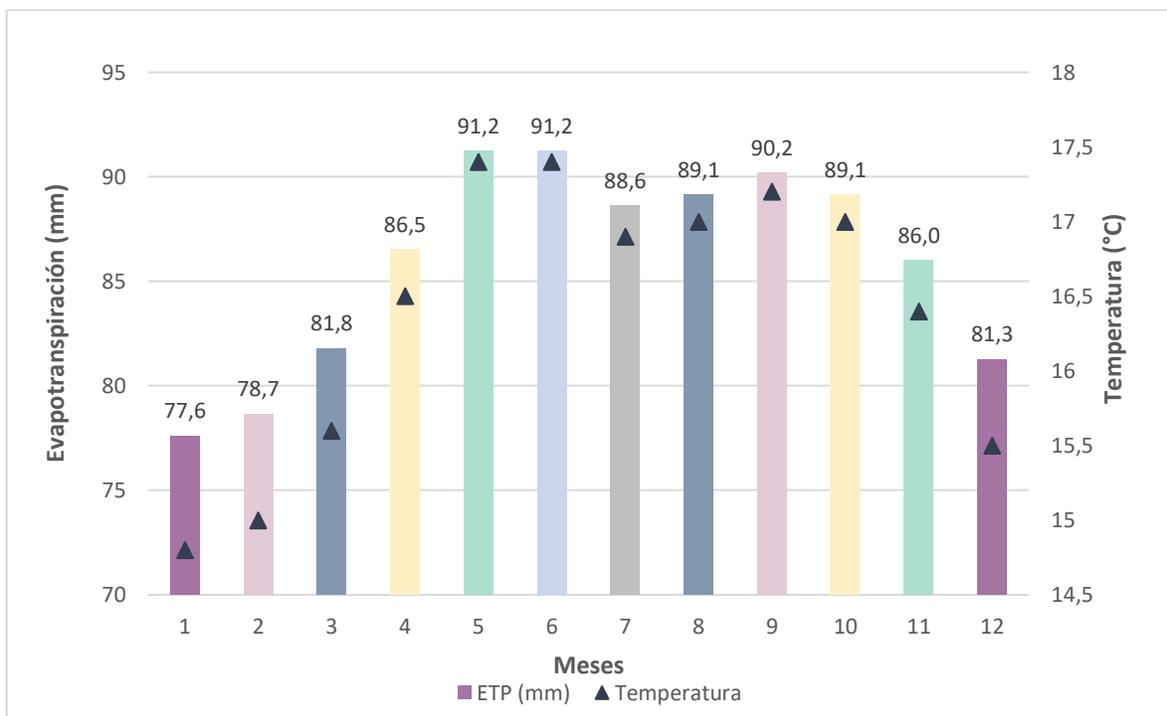


Tabla -4 Evapotranspiración potencial anual para el cantón de Goicoechea

Evapotranspiración	Unidades (mm)
Promedio	1031,37
Mínimo	544,35
Máximo	1211,57
porcentaje	677,21

Para determinar la ETP mensual del cantón se realizó una normalización de la evapotranspiración potencial en función de la temperatura de cada mes. En el Gráfico 6 se puntualiza el comportamiento de la evapotranspiración durante el año.

Gráfico 6 Evapotranspiración potencial mensual



Una vez obtenidos los datos de la evapotranspiración mensual, se seleccionan las estaciones meteorológicas que están contempladas dentro del área de estudio y también la estación de Rancho Redondo que es una de las que se encuentra más cerca de la delimitación del cantón, con el fin de determinar el aporte pluviométrico de cada sector.

Con base en la información de la Tabla -1 se puede indicar que para el sector noreste (Rancho Redondo) se presenta una precipitación anual del 2502,1 mm anuales, mientras que para el sector oeste (Sabanilla-Tibás) disminuye la precipitación con datos de 1700 mm



aproximadamente. Esta información es importante para el análisis de la recarga potencial, ya que al establecer la relación entre precipitación y evapotranspiración potencial se puede determinar si el aporte pluviométrico colma con las necesidades de la ETP, o de lo contrario se presenta un futuro escenario donde se consumen paulatinamente las reservas de agua almacenada en el suelo hasta generar un déficit (Gómez y Arellano 2016). Lo anterior es de manera general, para calcular la evapotranspiración real se deben considerar parámetros del suelo y de la planta, como la capacidad de campo, punto de marchitez, densidad aparente y profundidad de las raíces según la metodología de Schosinsky (2006).

3.2 Variables antrópicas

3.2.1 *Uso actual de la tierra*

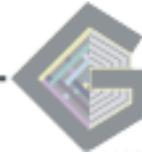
La metodología para la clasificación del uso del suelo se describe en la sección 2.2. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla -5 y se pueden visualizar espacialmente en el Mapa 7.

Analizando el uso del suelo de la totalidad del cantón, se determinó que el uso urbano representa el 41 % del área total, lo anterior implica que aproximadamente 1300 hectáreas poseen una alta impermeabilización. Es en esta zona del cantón donde la recarga acuífera, por infiltración de agua en el suelo, es mínima. Esto no significa que no se dé, sin embargo, la fuente principal de recarga en áreas urbanas se debe a retornos al sistema por fugas en tuberías de agua y tanques sépticos, y esta podría llegar a ser considerable (Lerner, 2002).

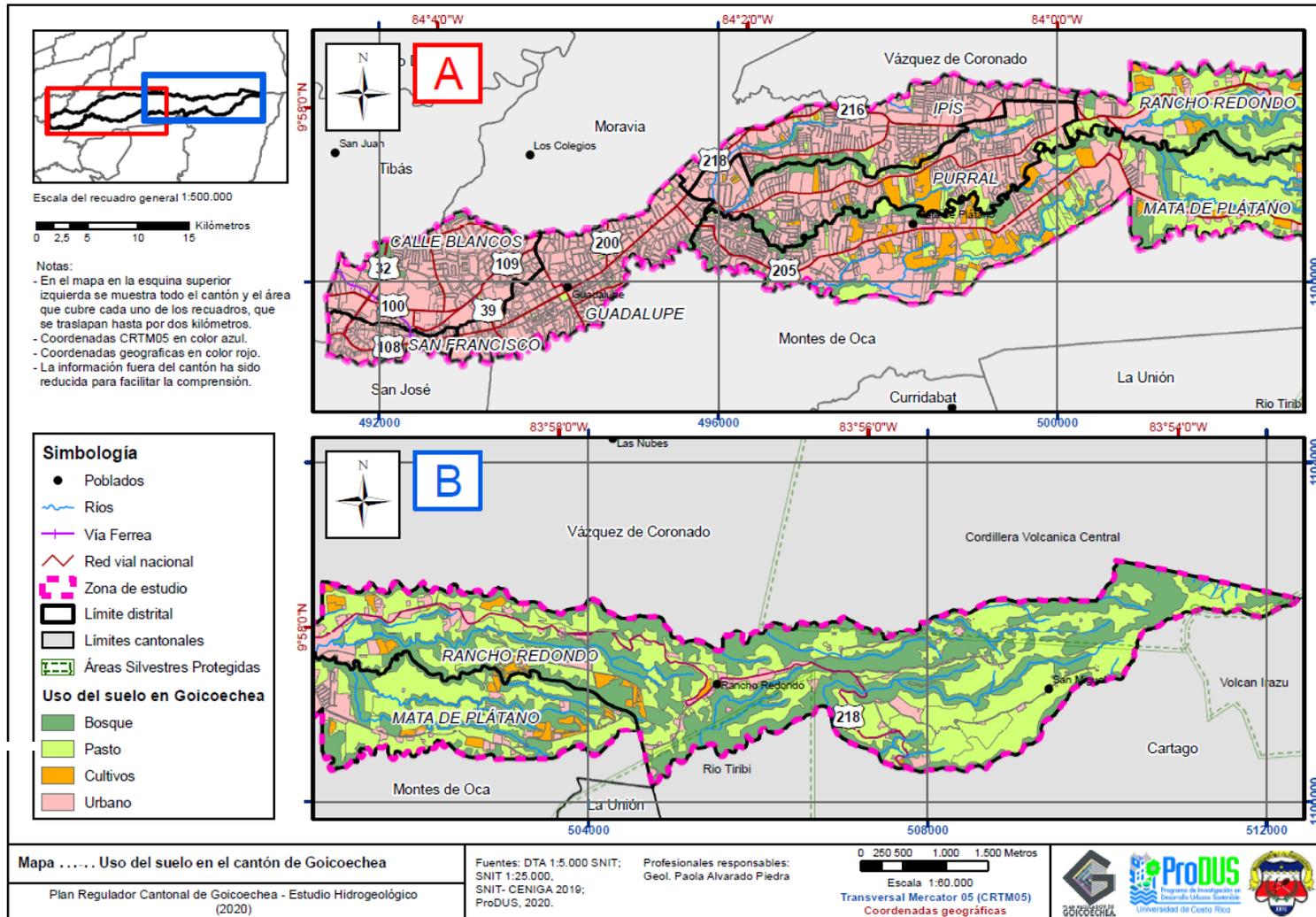
Tabla -5 *Uso del suelo en el cantón de Goicoechea*

Uso del suelo	Área (ha)	Área (%)
Bosques	859,54	27,11
Pasto	890,54	28,09
Cultivos	120,73	3,81
Urbano	1299,82	41,00
Suma	3170,63	100,00

En conjunto, los usos de suelo de bosques y pastos representan aproximadamente el 55 % del cantón (1750 hectáreas), y conforman las zonas libres de impermeabilización, por lo que se convierten en el área con mayor potencial de recarga para los acuíferos de Goicoechea. El uso de cultivos representa únicamente el 3,81 % del cantón, por lo que se concluye que debido a su baja cobertura este uso del suelo tiene un bajo impacto en el área de estudio



Mapa 7 *Uso del suelo en el cantón de Goicoechea*





La distribución espacial de los usos está claramente definida, ya que el sector oeste del cantón ha sido altamente urbanizado, producto de su cercanía con San José, lo que fomentó la actividad comercial y residencial de este sector. La zona oeste limita con otros cantones de gran importancia en actividad económica como San José, Tibás y Montes de Oca, lo que la convierte en una zona ideal para el desarrollo urbano.

Por el contrario, en el sector este predominan los usos bosque y pastos, la zona coincide con los puntos de mayor elevación del cantón, donde la intervención humana es baja. Se conforma por los sectores del cantón más alejados de San José, con topografía de pendientes elevadas, y una carretera que comunica con Llano Grande de Cartago.

Por lo tanto, se concluye que la zona de menor impermeabilización y con mayor potencial de recarga corresponde al sector este, con una cobertura cercana al 50 % del área de estudio, mientras que el sector de mayor impermeabilización y menor potencial de recarga corresponde al sector oeste, con una cobertura cercana al 40 % del cantón.

3.2.2 Uso y aprovechamiento del agua

La región del Valle Central contiene a los núcleos urbanos más grandes del país, como lo son San José, Heredia y Alajuela, gran parte de estos núcleos se abastecen por medio de agua subterránea por lo que existe una gran demanda de recurso. Según datos del SENARA hasta el 2007 las perforaciones superaban la cantidad de 5198, lo que representaba, en ese momento, un 42% del total de pozos registrados en el país (Ramírez, 2014a).

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), para el censo del 2011 se registró en el cantón de Goicoechea una población de 115,084 personas, y para el 2025 se estiman 143,763 personas. Para el año 2011 el distrito con menor densidad de población fue Rancho Redondo, seguido por Mata de Plátano, San Francisco, Calle Blancos, Guadalupe, Purral e Ipís. El consumo hídrico está relativamente ligado a la población; si la cifra aumenta también lo hace su consumo. Este se destina no solo a cubrir necesidades básicas sino también las productivas y económicas.

Para conocer el uso que se le da al recurso hídrico en el territorio de Goicoechea se utilizaron datos de 106 concesiones de la Dirección de Aguas en el mes de julio del 2020.

Los tipos de uso varían según la ubicación y actividad económica de los cantones, es imposible conocer una cifra real debido a la posible existencia de pozos ilegales que extraen caudal sin trámites apropiados.

Para este caso, 42 concesiones no poseen especificaciones de uso, el restante 64 utilizan un caudal total de 115,61 l/s, en el Gráfico 7, puede observarse que cuatro de los fines más comunes son el uso industrial con 61,64 l/s, ya sea de empresas grandes o pequeñas que requieren su implementación para un buen desarrollo de procesos, el riego que es uno de los más utilizados en sector agrícola extraen al menos 16,3 l/s, el consumo humano dentro de cada hogar con 14,53 l/s y 9,02 l/s utilizado para fines comerciales, otros usos menores se pueden observar en el Gráfico 7.

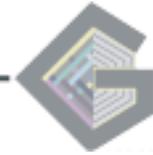
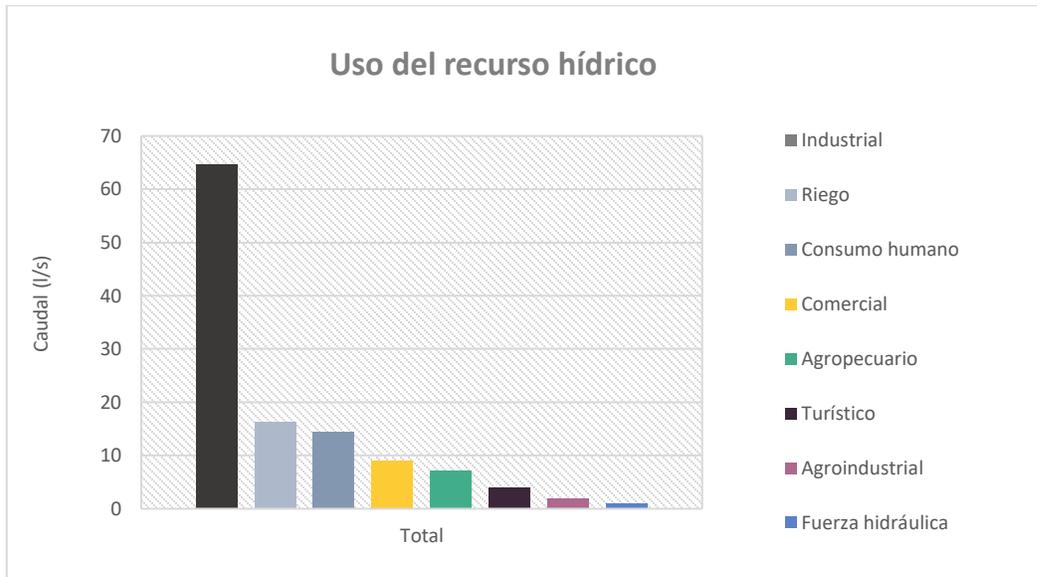


Gráfico 7 *Uso del agua en el cantón del Goicoechea*



Fuente: Visor de mapas públicos, Dirección de Aguas, Julio 2020.

No todas las concesiones brindadas se encuentran en estado activo, sin embargo, es importante tomarlas en cuenta debido a que se desconoce si estas pueden volver a reactivarse en un futuro corto o de mediano plazo.

De acuerdo con la Tabla -6, la mayoría de las concesiones presenta un estado de cancelación por vencimiento, seguido por las concesiones otorgadas. También con una cifra importante los estados de cancelación sin especificación y de solicitud nueva. Para todo el cantón solo se cuenta con una concesión en estado denegado y moroso por pago de canon.

Tabla -6 *Estados de los expedientes de concesiones de agua en el cantón*

Estado	Total
Cancelado por vencimiento	30
Otorgado	24
Cancelado	20
Solicitud nueva	17
Resuelto	6
Archivado sin trámite	4
Inscritos	3
Denegado	1
Moroso por el pago de canon	1
Total	106

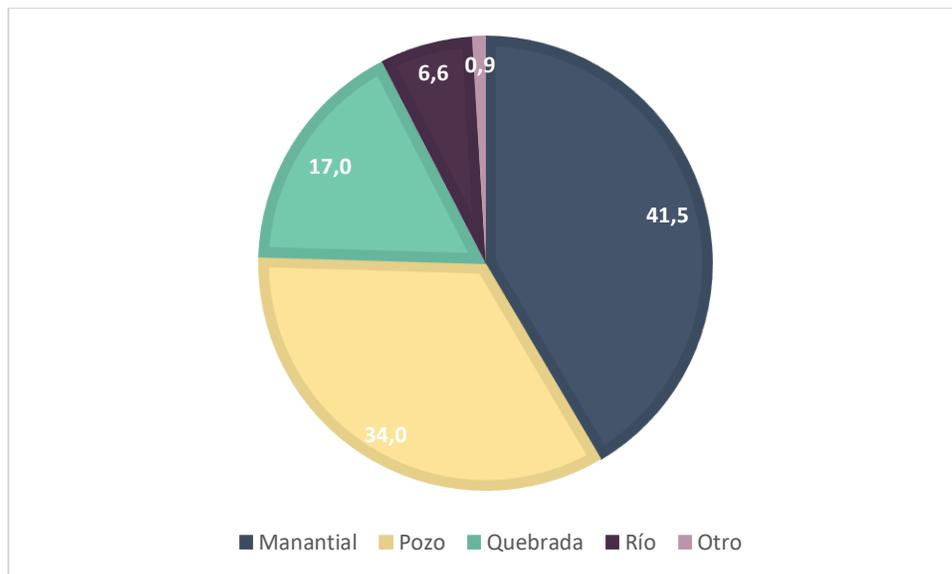
Fuente: Visor de mapas públicos, Dirección de Aguas, Julio 2020.

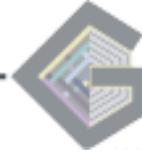


Los tipos de fuente varían entre superficiales y subterráneas, categorizadas como manantiales, quebradas, ríos, acuíferos y otros. El Gráfico 8 muestra la relación de cantidad de concesiones respecto al tipo de fuente, la mayor parte provienen de manantiales, con un total de 44, seguidamente se encuentran 36 obtenidas de pozos. Finalmente pueden observarse las quebradas y los ríos con 18 y 7 concesiones, respectivamente.

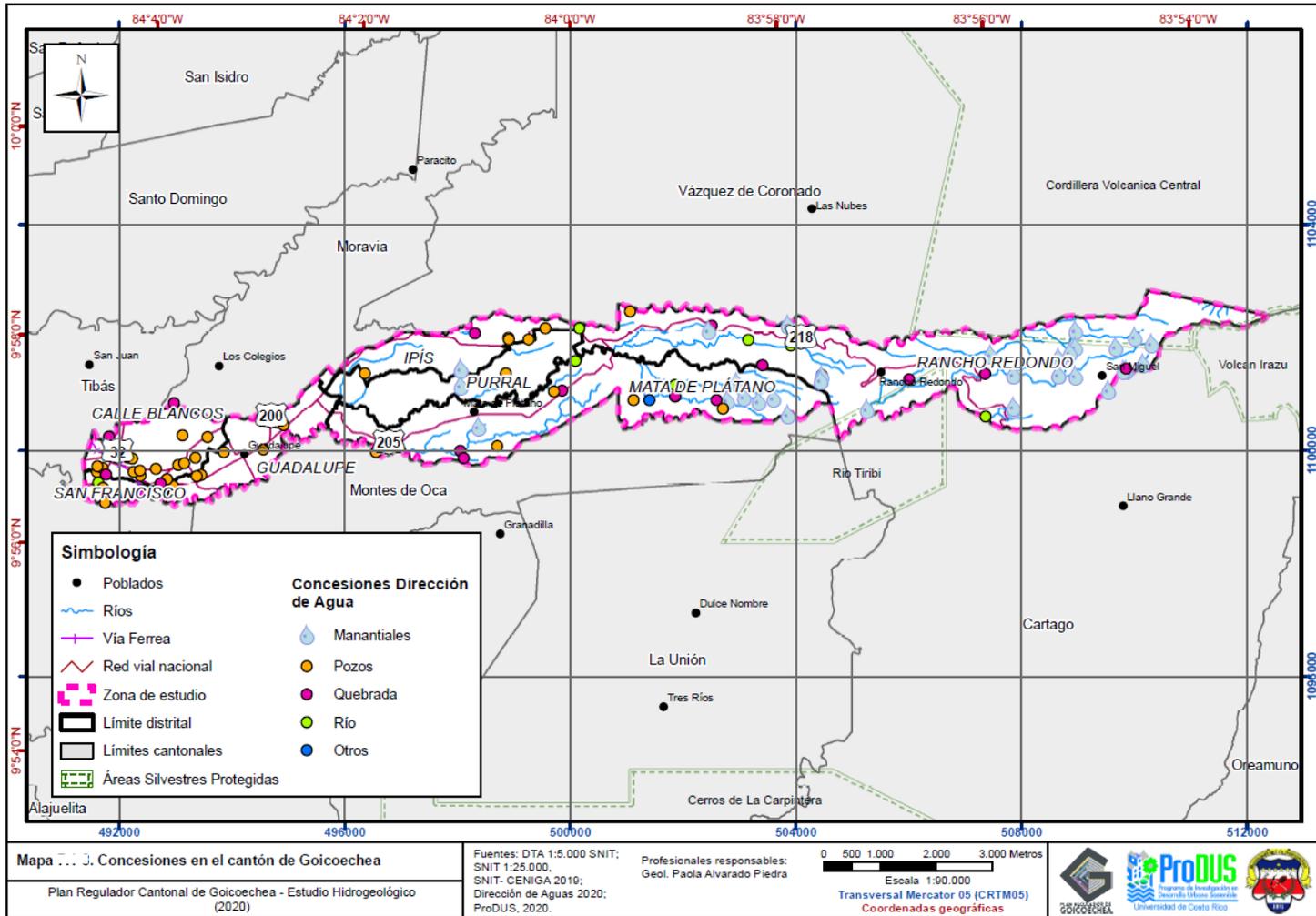
La distribución espacial de las fuentes se puede observar en el Mapa 8, la mayor parte de los manantiales se encuentran al este del cantón, algunos también se encuentran en la parte central del distrito de Purral, mientras que los pozos se encuentran principalmente en el sector este del cantón y la distribución de las concesiones de aguas superficiales es variada.

Gráfico 8 *Porcentaje de tipo de fuente*





Mapa 8 Distribución de las concesiones de agua en el cantón de Goicoechea





3.3 Hidrología

Según las curvas 1:25 000 del SNIT, el cantón de Goicoechea la elevación promedio es de 1649 m.s.n.m., la elevación máxima corresponde a los 3050 m.s.n.m., mientras que la mínima es de 1130 m.s.n.m. En la 0 se muestra el modelo de elevaciones en tres dimensiones.

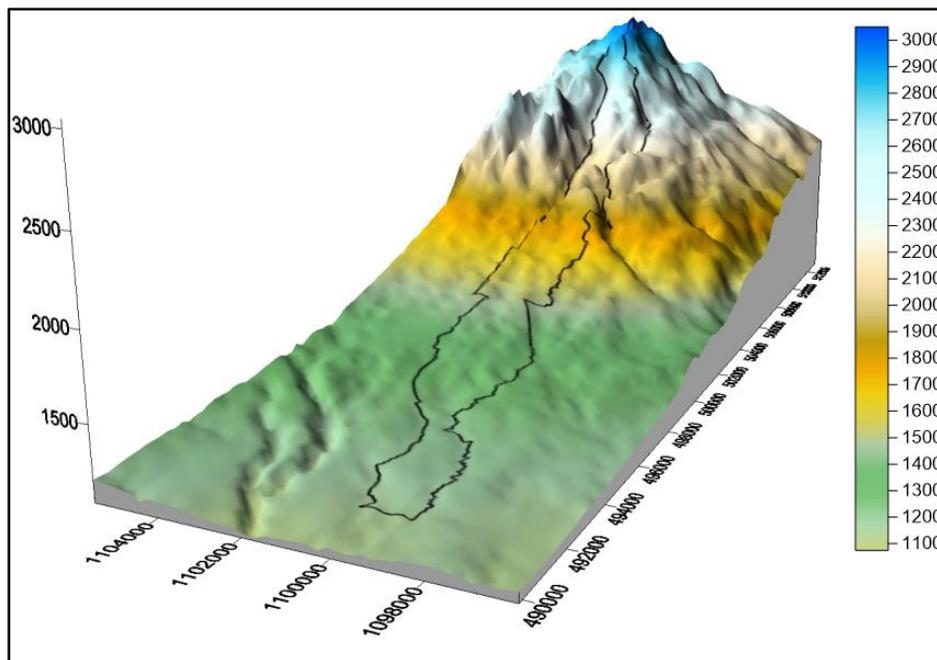
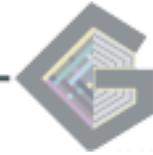


Figura 3 Modelo de elevación digital, cantón de Goicoechea

3.3.1 Cuencas del área de estudio

La mayor parte Goicoechea (31,7 km²) posee su sistema fluvial en la vertiente del pacífico dentro de la cuenca del río Grande de Tárcoles, únicamente un área de 0,34 km² en el extremo este drena a la vertiente Caribe esta se encuentra en la parte alta de la cuenca del río San Juan-subcuenca Chirripó.

La cuenca del río Grande de Tárcoles ha sido de gran importancia debido a que provee a tres cabeceras de provincias, en las que se agrupan 35 de 81 municipios existentes a nivel nacional (Calderón, 2017). Dentro de esta cuenca se encuentra la subcuenca del río Virilla, la cual ha sido ampliamente estudiada con fines hidrogeológicos debido al potencial de sus acuíferos, los cuales se utilizan para abastecer a gran parte de la población, pues áreas que antes eran potenciales para recarga se han transformado en zonas dedicadas a cultivos



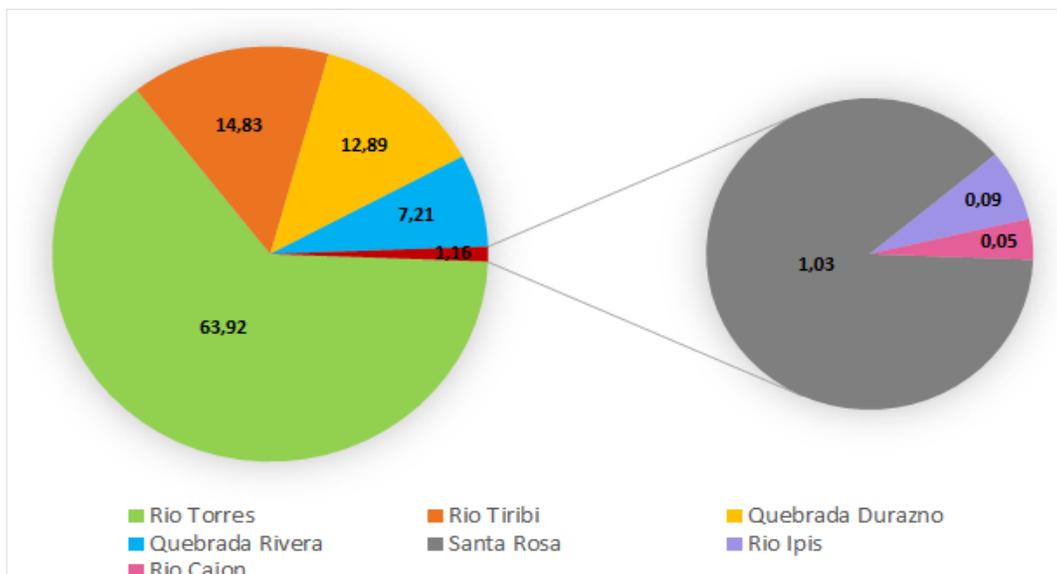
permanentes, sistemas urbanos e industriales y otras actividades que pueden poner en peligro el recurso hídrico subterráneo (Ramírez, 2014a).

Para llevar a cabo el análisis morfométrico inicialmente se identificó los límites de las microcuencas, cuya metodología fue descrita en la sección 2.5. Como se puede observar en el Mapa 9, en cantón de Goicoechea se ubica en la región este de la cuenca del río Virilla, se encuentra en la margen izquierda del río.

Se identificó que el cantón cubre parte del área de las siguientes subcuencas y microcuencas: río Tiribí, río Torres, quebrada Rivera, río Ipís, quebrada Durazno, río Cajón y río Santa Rosa, de estas las dos últimas corresponden con las drenan a la vertiente Caribe.

A partir del Gráfico 9 se puede definir las microcuencas con mayor predominancia en el área de estudio. La microcuenca del río Torres es la que presenta mayor área en el cantón con un 63,92%, en segundo y tercer lugar se posiciona la subcuenca del río Tiribí y la microcuenca de la quebrada Durazno con un 14,83% y 12,89% respectivamente. Las microcuencas con menor porcentaje de área dentro del cantón son quebrada Rivera con un 7,21% y las microcuencas de Santa Rosa, Ipís y río Cajón que juntas solo contemplan 1,16% del área total.

Gráfico 9 *Porcentaje de área de subcuencas y microcuencas dentro del cantón de Goicoechea*

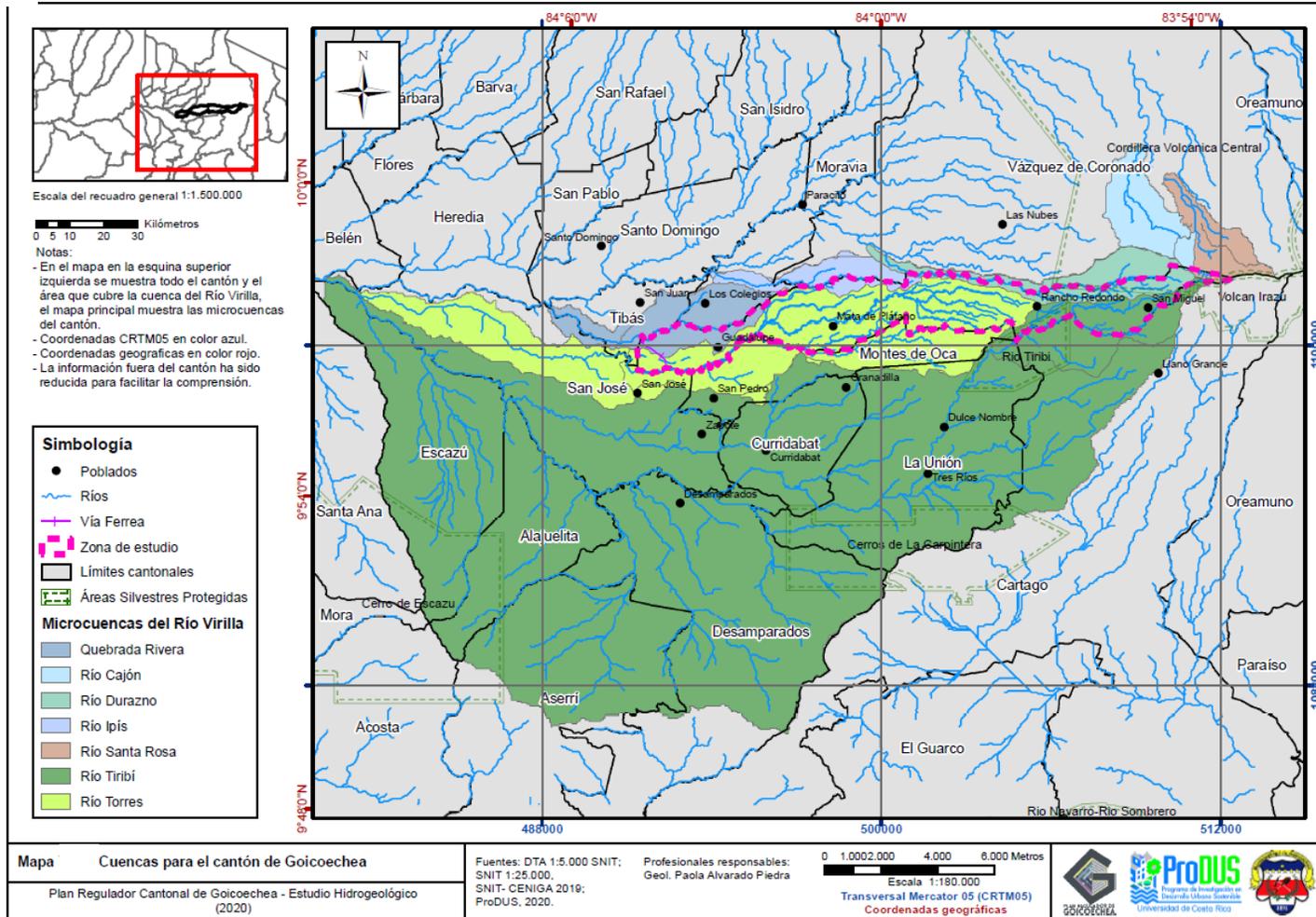


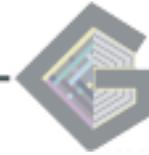


PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Mapa 9

Cuencas del cantón de Goicoechea





3.3.1.1 Parámetros morfométricos

Los parámetros morfométricos integran variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje, lo que permite conocer las características físicas de las cuencas, subcuencas o microcuencas, ayudando en la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de estrategias de manejo (Gaspari et al., 2012).

Se definen algunos de estos parámetros con (Lux, 2016):

El **área de la cuenca** (A) es definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigida directa o indirectamente a un mismo cauce natural, corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio.

El **perímetro de la cuenca** es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas.

La **longitud de la cuenca** (L) es la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba.

El **ancho de la cuenca** (B) es definida como la relación entre el área y la longitud de la cuenca.

El **factor de forma** de Horton (kf) intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca (Tabla -7). Se expresa como la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca:

$$kf = \frac{A}{L^2}$$

Tabla -7 Rangos del factor de forma

Factor de forma	Forma de la cuenca
<0,22	Muy alargada
0,22 a 0,30	Alargada
0,30 a 0,37	Ligeramente alargada
0,37 a 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 a 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 a 0,80	Ensanchada
0,80 a 1,20	Muy ensanchada
>1,20	Rodeando el desagüe

Fuente: (Pérez, 1979)

El **coeficiente de compacidad** o índice de Gravelius (kc), compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia (Tabla -8), es la razón entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de la circunferencia:



$$K_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}},$$

donde:

- **P**: Perímetro de la cuenca
- **Pc**: Perímetro de la circunferencia
- **R**: Radio de la circunferencia.

Tabla -8 Rangos aproximados de las clases de compacidad

Rango de kc	Clases de compacidad
1,00-1,25	Redonda a oval redonda (compacta)
1,25-1,50	Oval redonda a oval oblonga
1,50-1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga
>1,75	Casi rectangular (alargada)

La **pendiente media** es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de la cuenca y permitiendo hacer comparaciones entre cuencas para observar fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie.

La **curva hipsométrica**, permite caracterizar el relieve, obteniéndose a partir de las cotas de altitud registradas y complementado con la estimación de la superficie acumulada por cada cota. Como menciona Ibáñez, Moreno, y Gisbert (2010), la curva funciona de una forma conveniente y objetiva al describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación. Asimismo, las curvas hipsométricas han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas (0).

Campos (1992) (citado en: Meza Aliaga et al. 2014), menciona que la curva 1 corresponde a una etapa de desequilibrio erosivo y representa una cuenca geológicamente joven. La curva 2 corresponde a una etapa de equilibrio erosivo y representa una cuenca geológicamente madura. La curva 3 representa una cuenca erosionada y en estado de senectud.

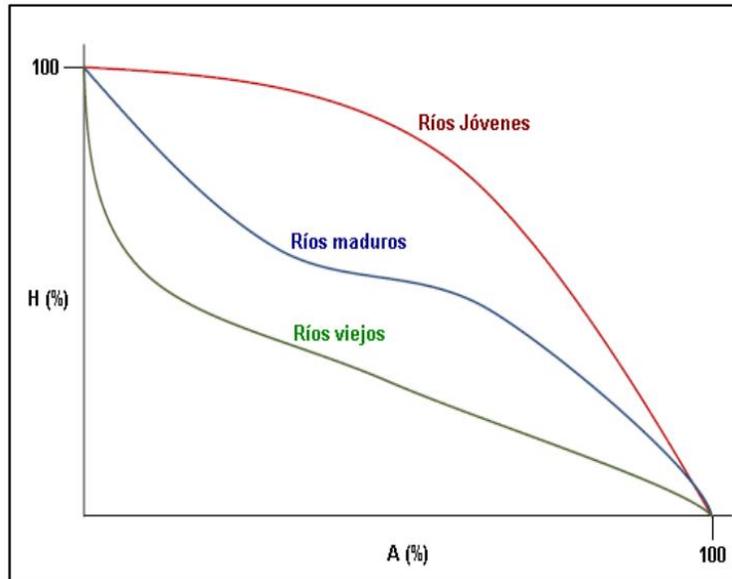
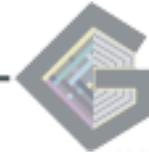


Figura 4 Variación de la curva hipsométrica según la edad de los ríos. Fuente: Ibáñez et al. (2010).

3.3.1.2 Análisis de los parámetros obtenidos

Es de suma importancia realizar un adecuado análisis de las propiedades morfométricas, puesto que características como el tamaño, forma y pendiente pueden llegar a modificar el caudal en respuesta, desde un aumento en el volumen de flujo, como en la velocidad del movimiento (González, 2004). Además, podrían establecerse correlaciones con algunos aspectos geológicos, hidrogeológicos y estructurales.

Para cada una de las diferentes subcuencas y microcuencas encontradas dentro de la zona, se realizó el respectivo cálculo de los parámetros, la información correspondiente se detallada en la Tabla -9.

Como punto inicial se procede a explicar el factor de forma, estos parámetros están relacionados a factores geológicos puesto que son los principales encargados de modelar la fisiología de una región (Lux, 2016).

Para el factor de forma de Horton (H_f) se obtuvieron valores que varían entre los 0,04 – 0,16, incluida la cuenca del río Virilla. Al ser estos valores menores a 0,22, mediante la Tabla -7 de rangos de forma, se pueden establecer las cuencas en estudio como alargadas. Las cuencas alargadas también tendrán menor probabilidad de recibir lluvias intensas y simultáneas sobre la totalidad de su superficie, por lo que están menos sujetas a crecientes que una cuenca de la misma área y mayor factor forma, entre mayor sea H_f habrá una mayor tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas, lo cual desfavorece la recarga (Camino et al., 2018; Lux, 2016).



Lo anterior se puede comparar con el coeficiente de compacidad (Kc), cuyos resultados van 1.75 a 2.96 (Tabla -9). El valor con más cercanía a uno fue el de la microcuenca de Río Cajón reportando un dato de 1.75, según (Lux, 2016) este pertenece a la clase 2 y se caracteriza por tener una forma rectangular oblonga. Los valores mayores a 1.75 se clasifican como clase 3, con forma a casi rectangular (alargada).

Tabla -9 Parámetros morfométricos de las subcuencas y microcuencas del cantón de Goicoechea

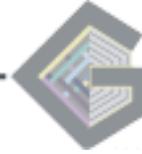
Parámetros	Unidad de medida	Río Virilla	Subcuenca Río Tiribí	Microcuenca Río Torres	Microcuenca Queb. Rivera	Microcuenca Río Ipís	Microcuenca Q. Durazno	Microcuenca Río Cajón	Microcuenca Santa Rosa
Área total de la cuenca	km ²	918.83	254.46	49.42	10.04	3.51	9.18	7.18	5.46
Perímetro de la cuenca	km	207.80	120.80	73.90	27.20	19.60	31.50	7.18	17.10
Longitud de río principal	km	74.97	46.09	30.96	10.33	7.85	13.70	6.55	6.57
Centroides	Este X	486891.58	494306.48	495391.73	492549.01	497061.57	507097.41	509301.32	511715.34
	Norte Y	1100792.11	1094526.28	1100322.58	1100860.68	1102488.84	1102369.38	1104706.92	1103726.01
Ancho promedio de la cuenca	km	12.26	5.52	1.60	0.97	0.45	0.67	1.10	0.83
Coeficiente de compacidad	-	1.93	2.14	2.96	2.42	2.95	2.93	1.75	2.06
Factor de forma	-	0.16	0.12	0.05	0.09	0.06	0.05	0.17	0.13
Radio de Circularidad	km	0.27	0.22	0.11	0.17	0.11	0.12	1.75	0.23
Pendiente media	%	18.54	20.94	11.22	5.00	6.93	35.25	43.26	43.05
Clasificación de pendiente	-	Accidentado	Fuerte	Mediano	Suave	Suave	Muy fuerte	Muy fuerte	Muy fuerte
Longitud de cauces	km		279.85	68.10	10.26	5.35	12.51	7.02	7.03
Densidad de drenaje	km ² /km ²		2.93	2.62	0.78	0	1.29	0	0

Respecto a la pendiente se obtuvieron valores muy variados abarcando relieves suaves, medianos, fuertes y muy fuertes (Mapa 10), estas se clasificaron según la Tabla -10. Los valores descienden en dirección este-oeste y las pendientes más altas corresponden con cañones de los ríos. La pendiente disminuye hacia el sector de Mata Redonda y Guadalupe, lo cual podría influir en una mayor recarga ante características iguales suelos, precipitación y otros parámetros que influyen en la recarga.

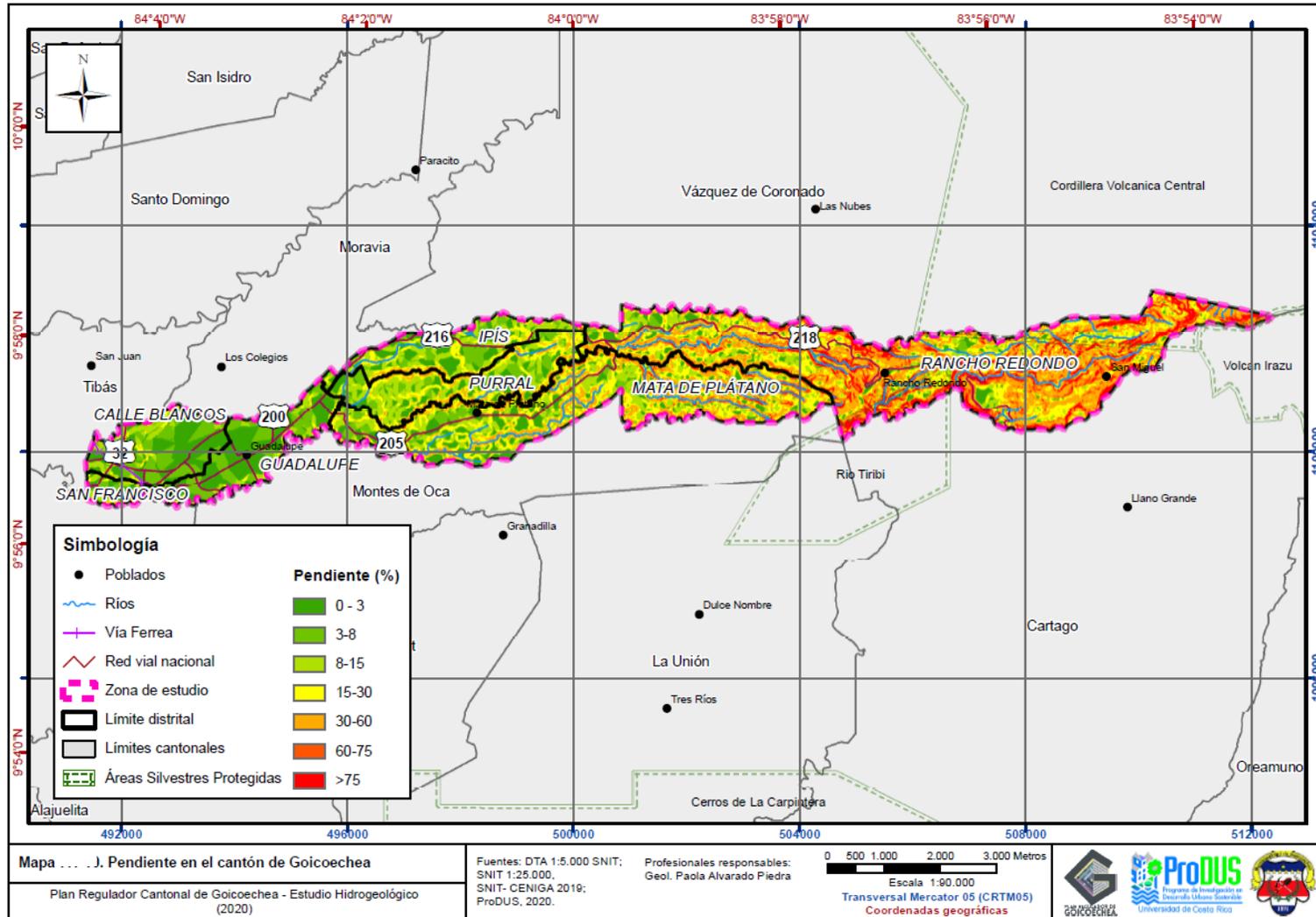
Tabla -10 Clasificación de la pendiente

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0-3	Plano
3-7	Suave
7-12	Mediano
12-20	Accidentado
20-35	Fuerte
35-50	Muy fuerte
50-75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Fuente: (Camino et al., 2018)



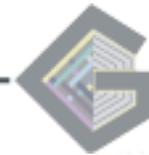
Mapa 10 Pendientes en área de estudio





En cuanto a las curvas hipsométricas estas proveen información en cuanto a la edad geológica de una cuenca y parámetros que se relacionan con la altura y el área como lo es precipitación, evapotranspiración, escorrentía, entre otros. En la zona de estudio las cuencas se clasifican como jóvenes con gran poder erosivo. La altura media de cada cuenca varía entre 1170 m.s.n.s. hasta los 2699 m.s.n.m., como es de suponer, los valores mayores corresponden con las cuencas ubicadas al este.

Por otra parte, el patrón de drenaje es paralelo en las partes más altas, lo que es un indicativo de pendiente alta y también se debe a que los ríos nacen en el macizo del Irazú, por lo que a modo más regional el drenaje es radial. En las partes bajas del cantón y áreas cercanas varía a subparalelo, lo cual también es un indicativo de pendiente, pero afectada por algún aspecto estructural.



3.4 Variables del suelo y subsuelo

3.4.1 Características del suelo

López-Oviedo (2015) propone un mapa de clasificación de suelos en el que se incluye el cantón de Goicoechea, basado en muestras tomadas en el campo, algunas de estas dentro y cercanas al cantón, y aplicando criterios geopedológicos, tal como se describe en la sección 2.4. Los resultados de las muestras que utilizó López para aplicar estas características se pueden observar en la Tabla -11 y su distribución geográfica en el Mapa 11.

En los sectores montañosos del área de estudio la presencia de suelos franco-arenosos hasta el poblado de Rancho Redondo aproximadamente, estos suelos son producto de la meteorización de las formaciones geológicas Sapper y Reventado, las cuales se describirán más adelante. Al disminuir la topografía los suelos adquieren texturas franco y franco arcillosas respectivamente, lo que demuestra una clara tendencia a disminuir el tamaño de grano al disminuir la pendiente y alejarse del macizo del Irazú.

Tabla -11 Textura de muestras analizadas por López-Oviedo (2015)

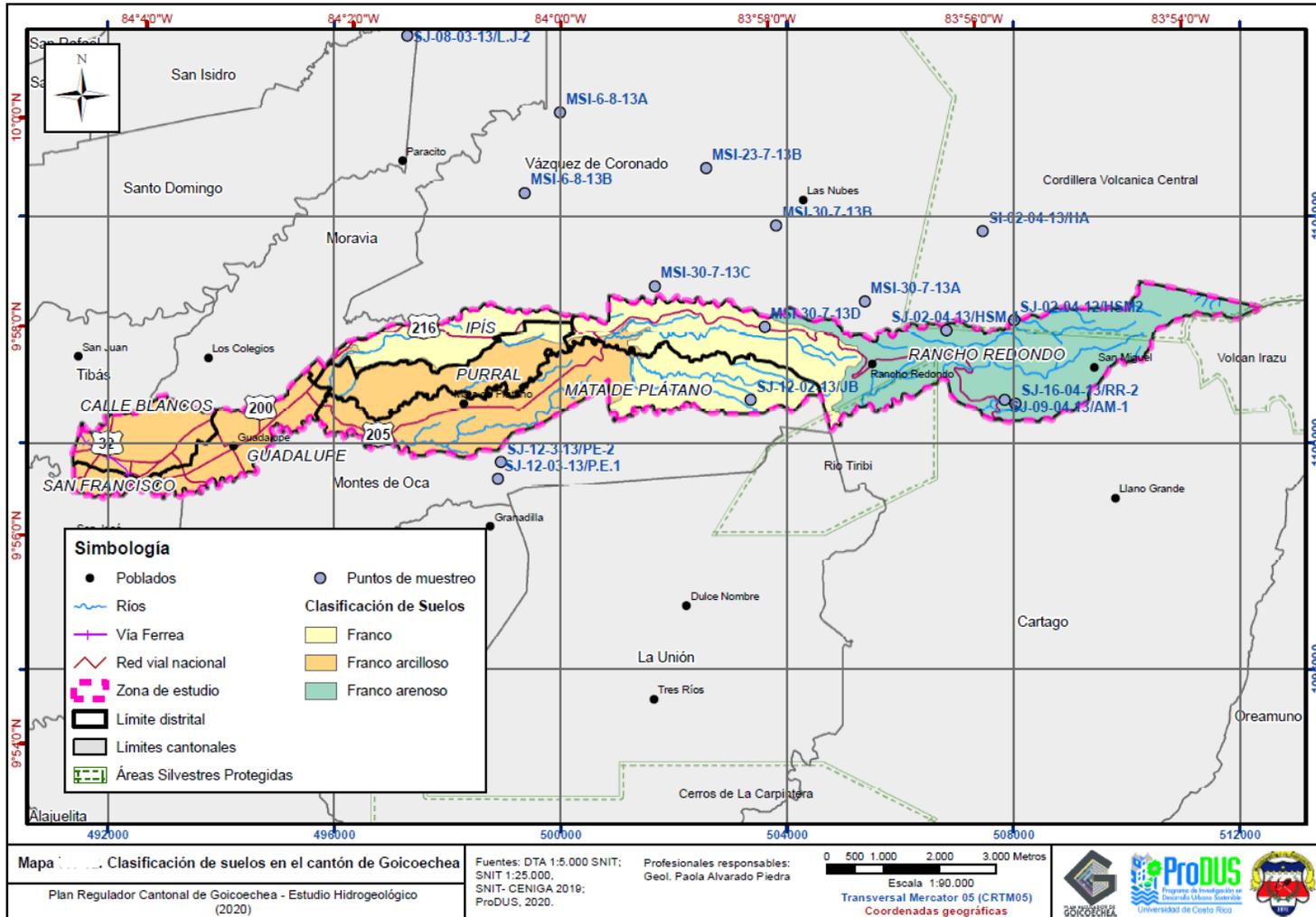
Muestra	X*	Y*	Arena %	Arcilla %	Limo%	Textura	Densidad Aparente	Densidad Real
SI-02-04-13/HA	543803	218377	38	26	36	F/FA	0,98	1,95
SJ-12-02-13/JB	539705	215392	44	22	34	F	0,96	1,98
SJ-02-04-12/HSM2	544358	216808	56	18	26	F a	0,94	1,95
SJ-02-04-13/HSM-1	543159	216625	54	16	30	F a	0,97	1,96
SJ-12-3-13/PE-2	535291	214291	40	26	34	F/FA	1,04	1,93
SJ-08-03-13/L.J-2	533629	221819	32	36	32	FA	1,02	1,94
SJ-12-03-13/P.E.1	535238	213994	34	34	32	FA	1,06	2,02
SJ-09-04-13/AM-1	544189	215399	28	44	28	A	1,12	2,03
MSI-23-7-13B	538910	219486	26	18	56	FL	1,02	2,01
SJ-16-04-13/RR-2	544383	215331	60	14	26	Fa	1,18	2,23
MSI-30-7-13A	541717	217131	28	16	56	FL	0,97	1,97
MSI-30-7-13B	540152	218473	26	18	56	FL	0,96	1,99
MSI-30-7-13C	538010	217400	46	16	38	F	1,05	2,01
MSI-30-7-13D	539950	216686	48	20	32	F	1,06	2,08
MSI-6-8-13A	536325	220469	18	42	40	FL/FAL	1,09	1,97
MSI-6-8-13B	535702	219044	46	22	32	F	1,05	2,01

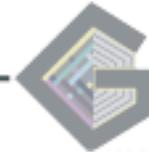
*Coordenadas Lambert Norte, tomadas de la fuente original.



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Mapa 11 Clasificación de suelos en el cantón de Goicoechea, según López-Oviedo (2015)





La tendencia de disminución en el tamaño de grano podría limitar la recarga debido a que el mayor contenido de arcilla reduce la capacidad de infiltración, pero a la vez esto ayuda a que la capacidad intrínseca a la contaminación sea menor, lo cual coincide con las áreas urbanizadas.

López-Oviedo (2015) también realizó pruebas de infiltración de suelos con el método de doble anillo en los mismos lugares donde se tomaron las muestras de suelo, las velocidades de infiltración varían de moderadas a muy altas, y algunas divergen sobre algunas texturas de suelo, esto pueden deberse a factores externos que condicionan directamente la obtención de datos o a la capa superior del suelo no refleja con exactitud la variación de texturas o fracturas subterráneas, las cuales pueden generar una trasmisión del agua con mayor facilidad hacia ciertos sectores.

Por otra parte Bogantes et al. (2002) elaboro un mapa de suelos del país con fines geotécnicos, tomando en cuenta factores edafológicos y climáticos. Según este el cantón presenta la clasificación V2 y V3 siendo sus características definidas por poseer una alta relación de vacíos, alta humedad natural y por lo general considerados suelos muy permeables. Las demás muestras realizadas en zonas aledañas al cantón también presentaron características de buena permeabilidad e incluso se resalta que la clasificación Lat y Am son suelos bastante húmedos y difíciles de compactar. Esto coincide el mapa de López-Oviedo (2015) únicamente en el sector oeste del cantón, sin embargo, el mapa de Bogantes et al. (2002) es regional y además en ambientes volcánicos se puede existir una gran variedad de tipos de suelos, por lo que se considera más representativo los datos tomados en el campo.

3.4.2 Geología

Un mapa geológico local fue elaborado para este Plan Regulador, mayores detalles sobre este se pueden encontrar en el Estudio Geológico. De acuerdo con dicho estudio el basamento volcánico del cantón de Goicoechea está constituido por las formaciones Colima y Tiribí, estas formaciones son subyacidas por rocas sedimentarias del Terciario, sin embargo, estas unidades no afloran en el cantón y según datos de los pozos se encuentran a más de 350 m de profundidad, por lo que no se detallaran en este informe.

Los acuíferos del Valle Central han sido ampliamente estudiados desde la década de 1960 debido al descubrimiento de agua subterránea abundante en las formaciones volcánicas. La nomenclatura utilizada en estudios geológicos e hidrogeológicos no es la misma, dado que fueron propuestas con objetivos diferentes. La relación entre ambas formaciones se puede observar en la Tabla -12, en el presente estudio se utilizará la nomenclatura hidrogeológica debido a los objetivos de este.



Tabla -12 Relación de unidades geológicas e hidrogeológicas en una parte del Valle Central.

Nombre estratigráfico	Nombres hidrogeológicos		Acuíferos de una parte del Valle Central
Fm. Lahares y cenizas	-	-	-
Fm. Avalancha Ardiente – Fm. Tiribí	Fm. Tiribí	Mb. La Caja	Tiribí
		Mb. Electriona	
		Mb. Nuestro Amo	
Fm. Lavas Intracañon	Fm. Colima	Mb. Linda Vista	Colima Superior
		Mb. Puente Mulas	
		Mb. Belén	Colima Inferior

Fuente: Modificado de Ramos (2014).

3.4.2.1 Formación Colima

Esta formación no aflora dentro del área de estudio, sin embargo, diversos materiales descritos en pozos se han correlacionado con esta formación (Mapa 12).

Según Denyer y Arias (1991) corresponden con flujos andesíticos que representan las primeras emisiones del vulcanismo asociado a la Cordillera Volcánica Central y que su extensión y características evidencian que extruyó a lo largo de fisuras. Dataciones asignan a esta formación una edad entre 750 000 años y 590 000 años

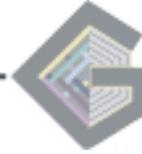
Con fines hidrogeológicos la formación Colima ha sido dividida por Echandi (1981) en los miembros Belén, Puente Mulas y Linda Vista, debido a que por su composición, grado de fracturamientos, porosidades primarias y secundarias, cambios en conductividades hidráulicas, originaron un sistema acuífero de importancia regional.

Miembro Belén

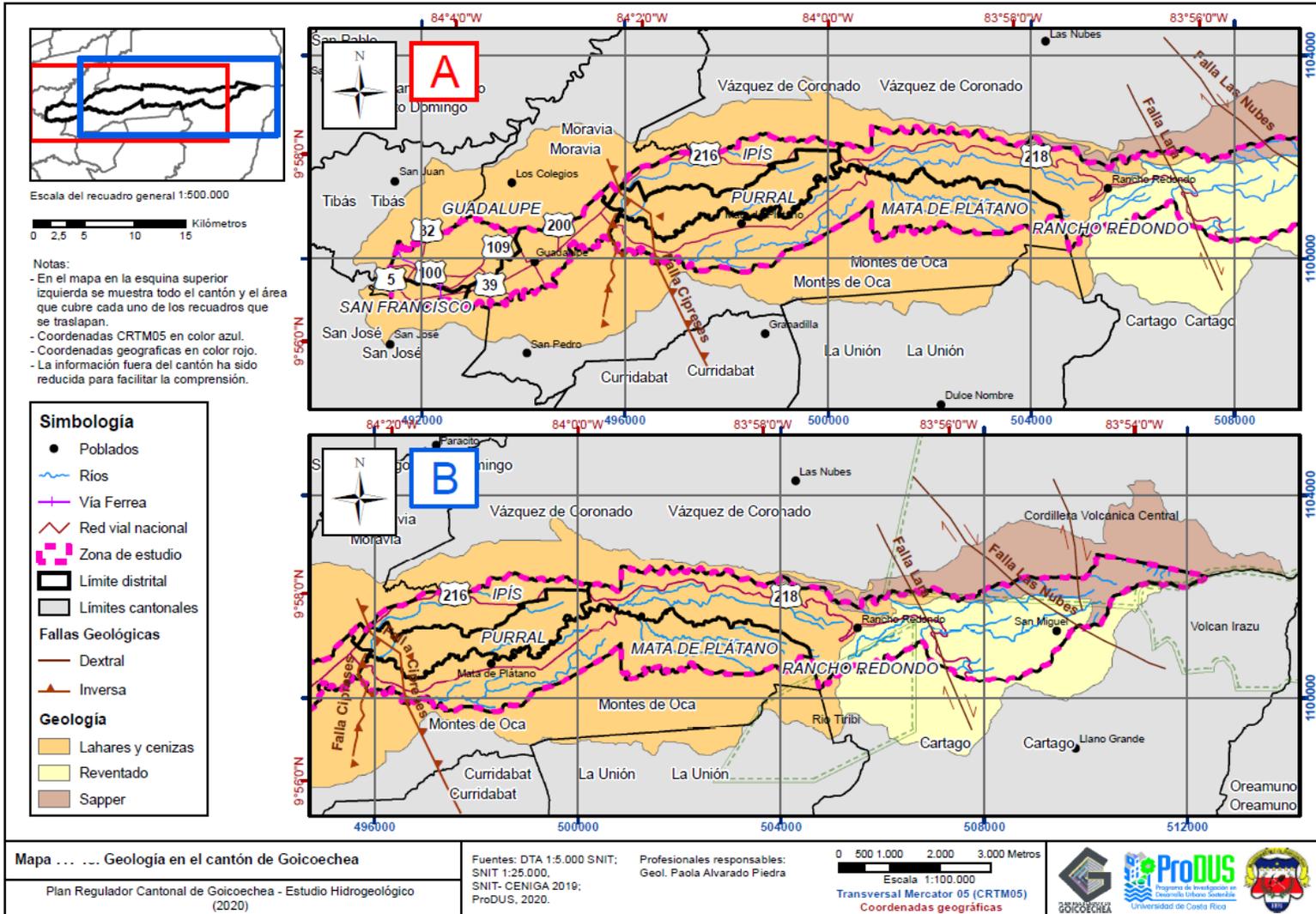
Corresponden con lavas andesíticas piroxénicas y su composición parece variar poco de una colada a otra, presentándose en algunos sitios transicional a basalto. Diferentes coladas de este miembro están separadas por capas y lentes de tobas y cenizas, en algunos sitios arcillosos (Echandi, 1981). De acuerdo con Ramírez (2014b) esta unidad constituye uno de los más importantes acuíferos en la margen derecha del río Virilla del Valle Central, mientras que en la margen izquierda tiende a disminuir su espesor y en muchos casos no se encuentra.

Puente Mulas

Según Echandi (1981) se presenta como una ignimbrita gris a café, compuesta por abundantes fragmentos lapillíticos, vidrio colapsado y fragmentos de escoria negra, en una matriz tobácea soldada y en algunas partes algo meteorizada y hacia la confluencia de los ríos Torres y Virilla queda oculta por derrames ignimbriticos posteriores. Alvarado y Gans (2012) separan a este miembro de la Formación Colima debido a su origen vulcanológico distinto.



Mapa 12 Mapa geológico local





La parte superior de esta ignimbrita, debido a que esta arcillificada, representa un acuicierre para los acuíferos superiores. Debido al diaclasado presenta cierta permeabilidad secundaria pero no es una zona muy productora a su carácter impermeable; y en donde puede recargarse el agua tiende a percolarse hacia acuíferos inferiores (Echandi, 1981).

Linda Vista

Consiste en lavas basálticas en la parte inferior y coladas brechosas en la parte superior, constituida por grandes bloques de lava escoriácea negros de composición andesítico-basáltica, presenta un paleosuelo sobre la colada inferior, fue depositado sobre el miembro Puente Mulas como también sobre el miembro Belén (Echandi 1981). Esta unidad es muy productiva, para la extracción de agua subterránea, en la margen derecha del río Virilla, tanto en pozos como manantiales (Ramírez, 2014b).

3.4.2.2 Formación Tiribí (Depósitos de Avalancha Ardiente)

Su depositación se inició después de un breve período (0,3 m.a.) que permitió la formación de suelos sobre la Formación Colima (Denyer & Arias, 1991). Se ha dividido en tres miembros: Nuestro Amo constituido por depósitos caóticos de matriz tobácea con fragmentos líticos, Miembro Electriona que contiene ignimbritas grises y el Miembro La Caja formado por tobas poco soldadas (Echandi, 1981).

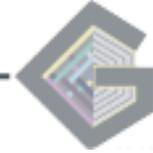
Debido a los grandes problemas con la nomenclatura de esta unidad, Perez (2000) propuso una redefinición, eliminando la separación propuesta por Echandi (1981) y definiendo dos unidades de depósitos ignimbríticos separados por un paleosuelo aluvial. La erupción que originó las ignimbritas del Valle Central fue un evento cataclísmico, muy violento y produjo flujos piroclásticos de gran movilidad (Perez, 2000).

La parte inferior de la unidad está constituida por materiales impermeables que constituyen un acuicierre a los acuíferos superiores, mientras que la sección intermedia presenta buen diaclasamiento pero tiende a ceder el agua a los acuíferos inferiores, donde las rocas están subyacidas por rocas impermeables puede presentarse buenas características acuíferas. La parte superior presenta materiales de baja permeabilidad pero que permiten una recarga lenta a los acuíferos inferiores (Echandi, 1981).

3.4.2.3 Formación Reventado

Esta unidad aflora al oeste del área de estudio, en los sectores cercanos al Volcán Irazú (Mapa 12).

Regionalmente corresponde con unidades volcánicas de edad Pleistoceno provenientes de la actividad del Volcán Irazú (Alvarado et al., 2006). Fueron detalladamente estudiadas por Krushensky (1972) quien las dividió cronológicamente en miembro Paraíso, compuesto por flujos de lava andesíticos y menos proporción de lahares, miembro Capa de Ceniza formado



por una ceniza fina altamente meteorizada y miembro Superior el cual agrupa andesitas basálticas con lahares y cenizas intercalados.

En el Estudio Geológico presentado para este Plan Regulador, se le describe localmente como coladas de lava de alta dureza, consistentes y presentan una lineación moderada, presentan una coloración morada lo que implica un cierto grado de meteorización. Además, se presenta interdigitada entre las autobrechas una capa de tobas color grisáceo de una textura arenosa y unos 20 metros de espesor.

3.4.2.4 Formación Sapper

También aflora en el sector oeste del cantón de Goicoechea (Mapa 12).

Krushensky (1972) indica que consiste en una secuencia de más de 15 coladas de lava, lahares intercalados y capas de ceniza que sobreyacen de manera discordante a la Formación Reventado.

Las lavas son de composición andesítica basáltica densas y además en sección delgada se observa biotita, la cual no se ha encontrado en ningún otro flujo del volcán Irazú. Los lahares dentro de esta formación se asemejan en gran medida aquellos dentro de la Formación Reventado e incluso contienen clastos de esta, cuyas dimensiones varían entre el tamaño arena y más de 4 m (Krushensky, 1972).

En los alrededores de Rancho Redondo se observa una secuencia de depósitos de lapilli y ceniza de por lo menos 2 m de espesor, los cuales se encuentran meteorizados y conforman una capa de suelo color café claro de textura arenosa.

3.4.2.5 Lahares y cenizas

Esta unidad fue definida por Denyer y Arias (1991), quienes indican que los lahares son depósitos muy heterogéneos, contienen fragmentos volcánicos subangulares principalmente de composición andesítica y el tamaño de los fragmentos puede llegar hasta 1m, envueltos en una matriz es arcillosa arenosa y mal cementada.

Hidalgo, Alvarado, y Linkimer (2004) sugieren que esta denominada lavina del Valle Central, que ha sido denominada genéricamente como lahar, es un *debris avalanche* que se transformó en *debris flow* (lahar), debido a que identificaron anfiteatros de avalancha en los estratovolcanes extintos del sector occidental del macizo del Irazú.

Estos depósitos pueden alcanzar hasta 60 m de espesor y son sobreyacidos por una potente capa de ceniza de hasta 20 m de espesor. En el tramo de carretera entre La Paulina y Guadalupe presentan un espesor aproximado de 15 m (Denyer & Arias, 1991).

Esta unidad está ampliamente distribuida en el área de estudio (Mapa 12).

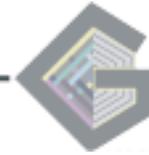


3.4.3 Estructuras morfotectónicas

El Valle Central se caracteriza por una alta densidad de fallas geológicas activas, y muchas de ellas representan una amenaza para los asentamientos humanos. Sin embargo, y pese a que los sismos superficiales y de magnitud intermedia son comunes en el país, la ciudad de San José aún no ha sido escenario de un terremoto con epicentro en la zona urbana, por lo estudiar estas fallas es de suma importancia (Rodríguez, 2016).

De acuerdo con la geología local, en el sector este del cantón de Goicoechea se presentan dos fallas neotectónicas de tipo dextral, las cuales están asociadas con el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica. Dentro del cantón la Falla Lara posee una longitud de 1,6 km aproximadamente y rumbo noroeste, mientras que la Falla Nubes presenta una longitud de 1,9 km con un rumbo principal noroeste y con algunas fallas asociadas con rumbo suroeste (Mapa 12).

Al noreste de Guadalupe se encuentra el sistema de fallas Cipreses, el cual presentan dos trazas casi paralelas entre sí con rumbo noroeste y sureste y buzan al este. Este sistema está compuesto por una falla maestra denominada como falla Cipreses que se propaga hacia la superficie en dos segmentos de falla, denominado de oeste a este Guayabos y Pinares (Rodríguez, 2016).



4. Hidrogeología

La base para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual fue la geología superficial y la información de pozos en la zona de estudio. Según la base de datos de SENARA dentro del área de estudio hay 123 pozos, sin embargo, de estos únicamente 53 cuentan con información litológica, no obstante, se tomaron en cuenta algunos pozos fuera del área de estudio con el fin de considerar sus descripciones y también porque existen varios pozos profundos en los alrededores del cantón, por lo que finalmente trabajó con un inventario de 73 pozos.

Los pozos fueron construidos entre 1960 y 2010, la mayor parte de ellos entre 1970 y 1997. La profundidad de la mayoría ronda los 60 m – 70 m de profundidad y se ubican aproximadamente del centro del cantón hacia el oeste (Gráfico 10). La lista de ellos se puede observar en la Tabla -13.

Gráfico 10 Profundidad de pozos con litología

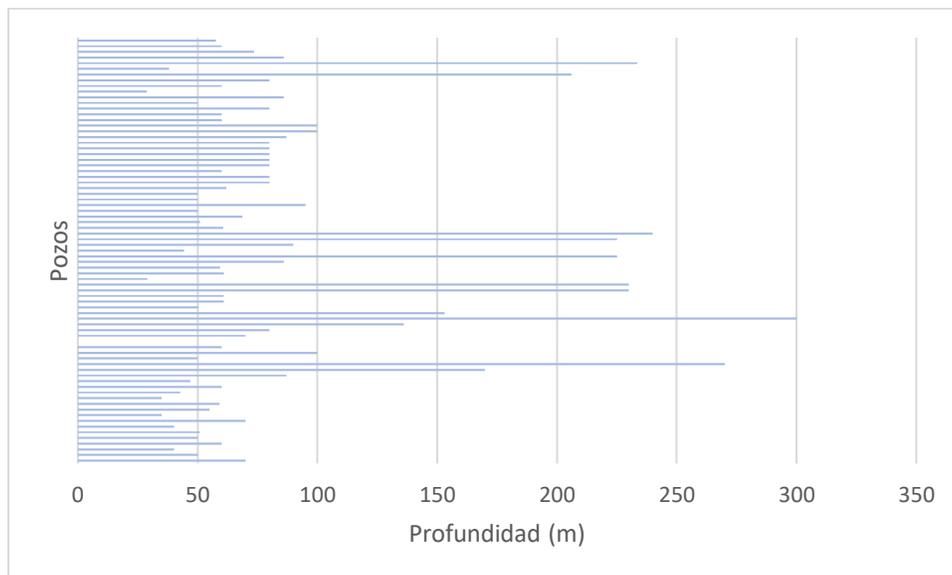
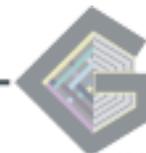




Tabla -13 Pozos con información litológica según base de datos del SENARA

Pozo	Fecha	X*	Y*	Prof total (m)	Q (l/s)
AB-1028	2/4/1987	534750	215170	70	
AB-1059	21/11/1987	528600	214400	50	0.63
AB-1068	1/11/1987	528090	213815	40	1
AB-1072	12/5/1987	528760	214120	60	0.75
AB-1076	5/10/1987	529750	213600	50	1
AB-1088	24/7/1987	530230	214420	51	1.26
AB-1129	14/3/1988	529450	214900	40	0.6
AB-1139	8/4/1988	536450	216650	70	0.63
AB-1179	15/6/1988	528820	213615	35	
AB-1253	2/6/1989	528600	214250	55	1.0
AB-13	2/11/1961	528570	214205	59.13	2.7
AB-1359	5/7/1988	528050	213850	35	1.26
AB-14	14/12/1960	528940	214170	42.67	1.57
AB-1433	1/7/1992	531275	215050	60	1
AB-1445	1/10/1992	528100	214300	47	4
AB-1471	24/3/1993	528680	214209	87	1.5
AB-1523	25/11/1993	528000	213600	170	4.5
AB-1568	2/12/1994	529870	213710	270	15
AB-1755	1/12/1996	528400	213720	50	0.4
AB-1782	8/8/1997	531150	215125	100	3.15
AB-1815	11/12/1997	535010	216610	60	1.89
AB-1921	24/3/1999	528050	214550		
AB-2014	23/8/2000	530900	214650	70	0.95
AB-2121	1/1/2002	532900	214600	80	
AB-2379	11/11/2005	529720	214170	136	2
AB-2486	28/12/2010	529197	214120	300	
AB-345	26/7/1968	535510	216700	153	
AB-347	1/2/1965	535760	216630	50.29	1.57
AB-348	1/2/1967	535900	216650	60.9	1.07
AB-435	2/3/1970	530250	213780	60.9	
AB-500	20/11/1972	528350	213600	230	
AB-500	20/11/1972	528350	213600	230.00	9.5
AB-567	21/02/1974	530000	213700	28.95	1.45
AB-59	17/11/1967	529230	213810	60.96	0.95
AB-596	29/05/1975	531600	214700	59.28	0.94
AB-599	7/10/1975	530100	214400	86.00	1.26
AB-683	15/03/1977	531350	214400	225.15	0.5
AB-71	31/01/1960	530000	213590	44.20	0.95
AB-728	20/8/1977	529700	214300	90	6



AB-734	12/6/1978	531370	214420	225	0.5
AB-739	24/07/1978	529300	214340	240	0.5
AB-757	29/11/1977	533700	214700	60.69	0.5
AB-759	6/5/1978	529330	213800	50.94	0.5
AB-81	15/05/1968	530480	213780	68.58	2.52
AB-837	11/6/1979	535700	216300	50	1.5
AB-838	25/11/1979	535700	216600	95	3.5
AB-858	24/ 02/ 1981	534100	215360	50	0.5
AB-871	7/5/1982	534180	215115	50	3.5
AB-936	16/ 03/1984	529850	214800	62	0.94
AB-962	7/9/1985	535430	216050	80	1
AB-963	28/05/1986	535400	215750	80	1
AB-964	7/9/1985	535600	215700	60	1
AB-965	17/07/1985	535650	215520	80	1
AB-966	13/6/1986	535300	215400	80	1
AB-967	24/05/1986	535300	215600	80	1
AB-968	7/9/1986	535500	215500	80	1
AB-969	24/07/1986	535550	215950	80	1
AB-970	8/4/1986	535400	215750	87	1
AB-971	8/12/1986	535650	215700	100	1
IS-114	12/12/1997	542300	216000	100	
IS-166	15/10/1985	540650	215430	60	0.32
IS-243	22/04/1988	540120	215000	60	0.63
IS-245	15/03/1988	539040	216680	80	0.73
IS-503	-	539500	215200	50	1
IS-519	19/09/2002	539050	215380	86	2.37
AB-567	8/7/1974	530000	213700	28.9	1.45
AB-1813	1/10/1997	532500	214240	60	1.26
AB-2121	1/2/2002	532900	214600	80	1.2
AB-711	28/11/1977	535100	213650	206	
AB-340	23/11/1967	535000	217000	38	1.26
AB-505	4/1/1973	530350	215250	233.5	
IS-519	5/9/2002	539050	215380	86	2
IS-171	28/11/1985	544250	214750	73.5	3
IS-209	29/1/1987	563725	214525	60	2
IS-156	10/8/1969	544800	214570	57.5	1.25

*Coordenadas Lambert Norte, tomadas de la fuente original.



4.1 Perfiles hidrogeológicos

El primero de los perfiles tiene una longitud 16,3 km y un rumbo suroeste-noreste, mientras que los otros dos tienen un rumbo aproximado norte-sur y una longitud de 3,1 km y 4,5 km respectivamente (Mapa 13).

La unidad inferior en el sector oeste del cantón se correlaciona con la Formación Colima, sin embargo, debido a que no hay pozos profundos hacia el este del área, no pudo determinarse la continuidad de la formación. 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. Al acercarse al Volcán Irazú hay una mayor alternancia y espesor de rocas producto de la actividad del volcán, por lo que la estratigrafía se vuelve aún más compleja.

La unidad inferior está compuesta por lavas, y fue alcanzada por al menos 5 pozos del área de estudio como se puede observar en los perfiles A-A' y B-B', se describen como lavas andesíticas color gris oscuro, cuyas fracturas y sectores brechosos le confieren buenas condiciones hidrogeológicas. Intercalado entre las lavas se describen capas de ceniza. Su espesor mínimo, según el pozo AB-2486 es de 78 m, y se trata de un acuífero confinado, sin embargo, su gran profundidad lo convierte en un acuífero difícil de explotar (0 y 0).

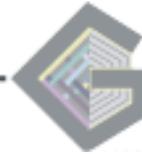
Esta unidad se correlaciona con el Miembro Belén definido por Echandi (1981), no se cuenta con parámetros de este acuífero, sin embargo a nivel regional este acuífero presenta transmisividades de hasta 16000 m²/d (Echandi, 1981). Según el mismo autor, algunas coladas de este miembro son casi impermeables pues son muy densas y las fracturas son muy cerradas.

Sobreyaciendo las lavas se encuentra una capa de tobas e ignimbritas correlacionadas con el Miembro Puente Mulas. En el perfil A-A', los pozos que alcanzan estas rocas describen en la parte superior una capa de ceniza arcillificadas o arcillas que podría representar un acuífero para acuíferos superiores.

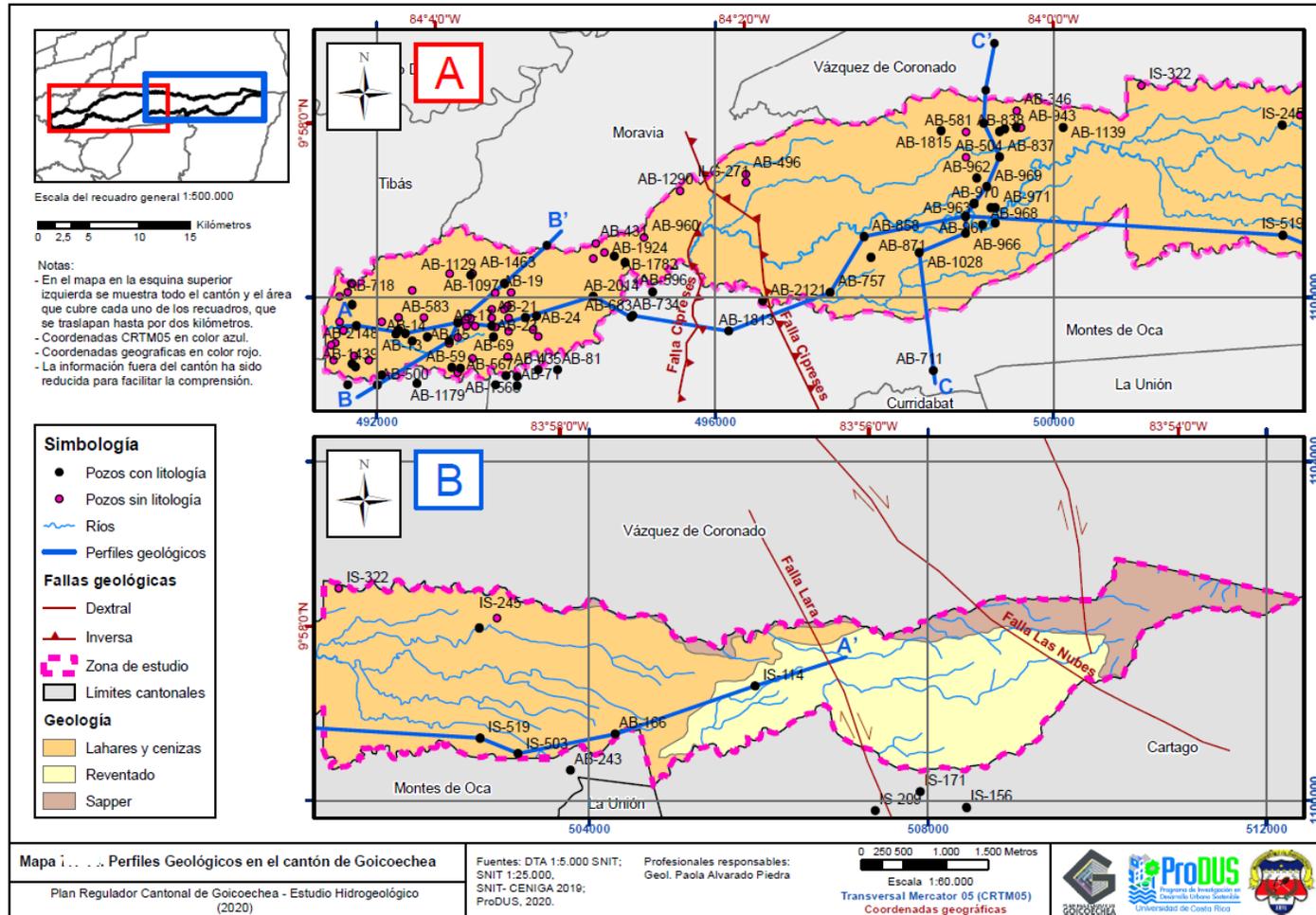
Algunos sectores presentan permeabilidad secundaria, por lo que presentan algunos niveles de agua (perfil B-B') sin embargo, según las descripciones no es una zona muy productora. El espesor ronda los 60 m – 80 m en promedio, en el pozo AB-739 se describen incluso intercalaciones con lavas. La capa es sobreyacida por lavas y tobas e ignimbritas de la Formación Tiribí hacia el noreste.

Sobreyaciendo las tobas e ignimbritas correlacionadas con el Miembro Puente Mulas, se encuentra otra capa de lavas las cuales en algunas descripciones de pozos podrían ser confundidas con las tobas soldadas de la Formación Tiribí. Estas se correlacionan con el Miembro Linda Vista o Colima Superior.

Pocos pozos parecen captar esta unidad, en gran parte no se menciona la presencia de rejilla. Cabe resaltar que la mayor parte de los pozos profundos fueron realizados con fines de investigación, algunos de ellos por SENAS, en los reportes no se menciona si los pozos finalmente se utilizaron para obtener agua, la unidad se encuentra entre 100 m y 150 m de profundidad, su continuidad no es clara al norte y parece disminuir hacia el sur (perfil B-B')



Mapa 13 Ubicación de perfiles hidrogeológicos





PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

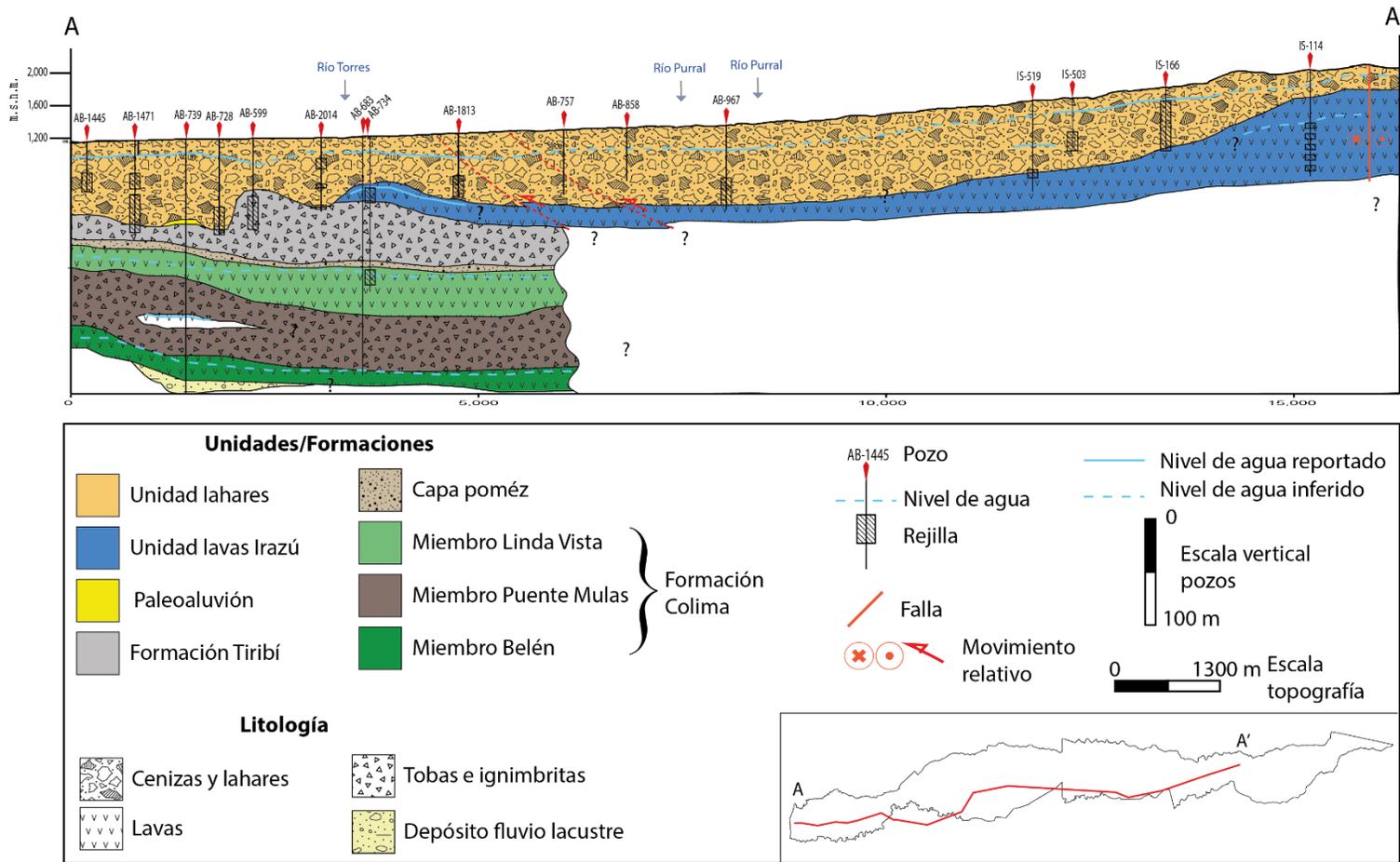


Figura 5 Perfil hidrogeológico A-A'

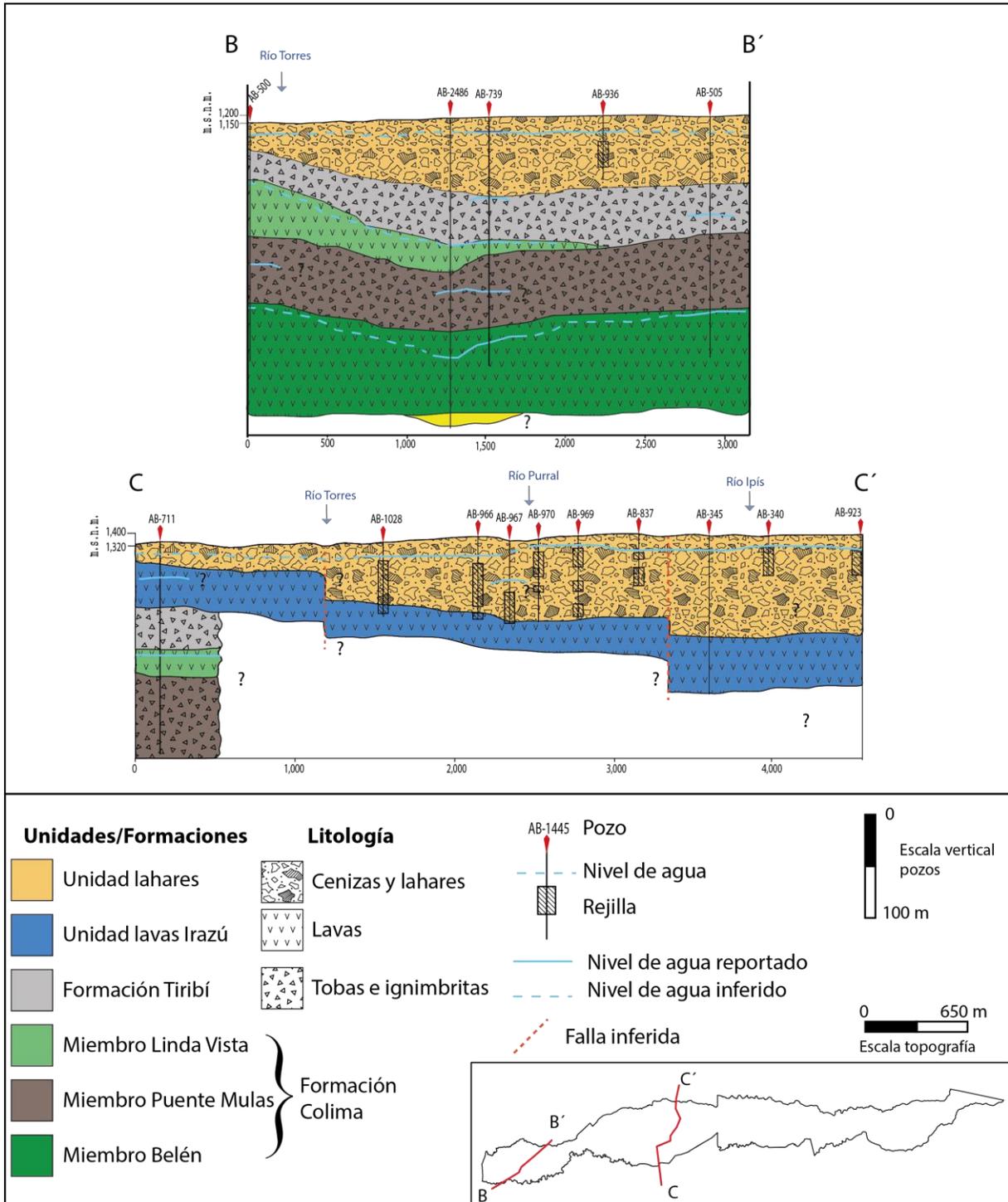
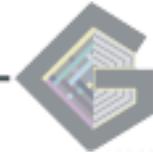


Figura 6 Perfiles hidrogeológicos B-B' y C-C'



Según datos del pozo AB-683 la transmisividad es de 52 m²/d. En la margen derecha del río Virilla la Formación Colima Superior origina un acuífero muy importante, con transmisividades de hasta 20 000 m²/d.

Sobre Colima Superior se encuentran tobas e ignimbritas correlacionadas con la Formación Tiribí. Algunos pozos describen una capa de pómez entre la Formación Colima y la Formación Tiribí (0), esta capa, de acuerdo con algunos autores, se extiende a nivel regional (Perez, 2000).

El espesor de Tiribí en la zona, según los perfiles hidrogeológicos, varía de aproximadamente 30 m a 75 m, con un promedio general de 50 m. Esto puede deberse a que los flujos ignimbríticos rellenan la topografía en algunos afloramientos cercanos se han observado diferencias de espesor similares (Perez, 2000)

Hacia el norte esta unidad sobreyace al Miembro Puente Mulas al norte. Se describen intercalaciones de tobas con ignimbritas con baja permeabilidad, Echandi (1981) menciona que estos materiales tienden a ceder el agua hacia los acuíferos inferiores por lo que son muy importantes para el proceso de recarga. Esto se debe a su permeabilidad secundaria y que presentan un buen diaclasamiento, aunque en algunos sectores se describen como rocas muy meteorizadas y presencia de arcillas.

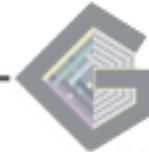
En los pozos AB-683 y AB-734, perforados por SENAS para investigación en la Universidad de Costa Rica, se describe una capa de lava sobre las ignimbritas de la Formación Tiribí, esta fue relacionada con coladas de lava provenientes del Irazú, sin embargo, se tiene poca información sobre esta unidad, y su continuidad no está clara dado que únicamente parece ser captada por 3 pozos.

Finalmente se encuentra la unidad más extendida en el cantón de Goicoechea que corresponde con los lahares y cenizas, son materiales muy heterogéneos provenientes de los volcanes, descritos como bloques de tamaño variado de lavas e ignimbritas en una matriz limo arenosa a arcillosa. El espesor de los lahares ronda los 60 m, el pozo AB-345 incluso reporta 100 m de espesor de lahares.

En la parte superior de esta unidad la mayor parte de los pozos describen capas de cenizas arcillificadas, de 10 a 20 m de espesor. Algunos pozos describen lavas de hasta 5 m de espesor, las cuales podrían estar relacionadas con los *debris avalanches* descritos por (Hidalgo et al., 2004).

En esta unidad origina un acuífero de muy bajo potencial con un nivel relativamente cerca de la superficie, las cenizas arcillosas que lo sobreyacen producen un acuífero no confinado en los lahares.

Respecto a las fallas inversas pertenecientes al sistema de fallas Cipreses, se desconoce su profundidad, ángulo de inclinación y relación con el agua subterránea, el pozo AB-757 describe planos de oxidación que podrían estar relacionados con estas. El pozo AB-734 (perfil A-A´) describe la presencia de sulfuros, calcopirita, pirita y alteración hidrotermal, esto podría tener alguna relación con la falla y/o fluidos hidrotermales, sin embargo, no se tiene mayor información. En otros sectores asociados con rocas del Volcán Irazú, como la Formación Sapper, se ha descrito la presencia de sulfatos en el agua subterránea provenientes de la oxidación de sulfuros (Obando Amador, 2017).



4.2 Niveles de agua y flujo subterráneo

Interpretando la información de los pozos en base de datos del SENARA se separaron los niveles que se consideraba correspondían con la unidad de lahares y cenizas, cuando se indicaba se tomó el valor en el cual se encontró en agua durante la perforación, no el nivel estático final, sin embargo, esto no fue posible hacer para todos los pozos, es parte de las limitaciones de los datos. También es importante tomar en cuenta que los valores reportados al SENARA corresponden a épocas específicas en años diferentes, pero podría esperarse que a pesar de posibles variaciones la tendencia general del flujo se mantenga.

Para las otras unidades hidrogeológicas no se cuenta con suficiente información para generar una red de flujo.

La Tabla -14 muestra los valores utilizados para la interpolación, la cual se realizó utilizando en método Kriging, se utilizaron un total de 54 pozos.

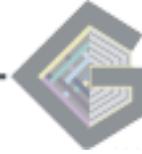
Los resultados muestran que la dirección de flujo del acuífero superior, relacionado con los lahares, es hacia el oeste, con un gradiente hidráulico promedio de 0,07 (Mapa 14). Es importante mencionar que hay pocos pozos en las partes altas del cantón, por lo que se tomaron algunos pozos fuera. De las formaciones Reventado y Sapper no se tiene información de pozos, por lo que se asume hay una conexión con el acuífero en los lahares.

Tabla -14 Profundidad del nivel del agua subterránea del acuífero superior

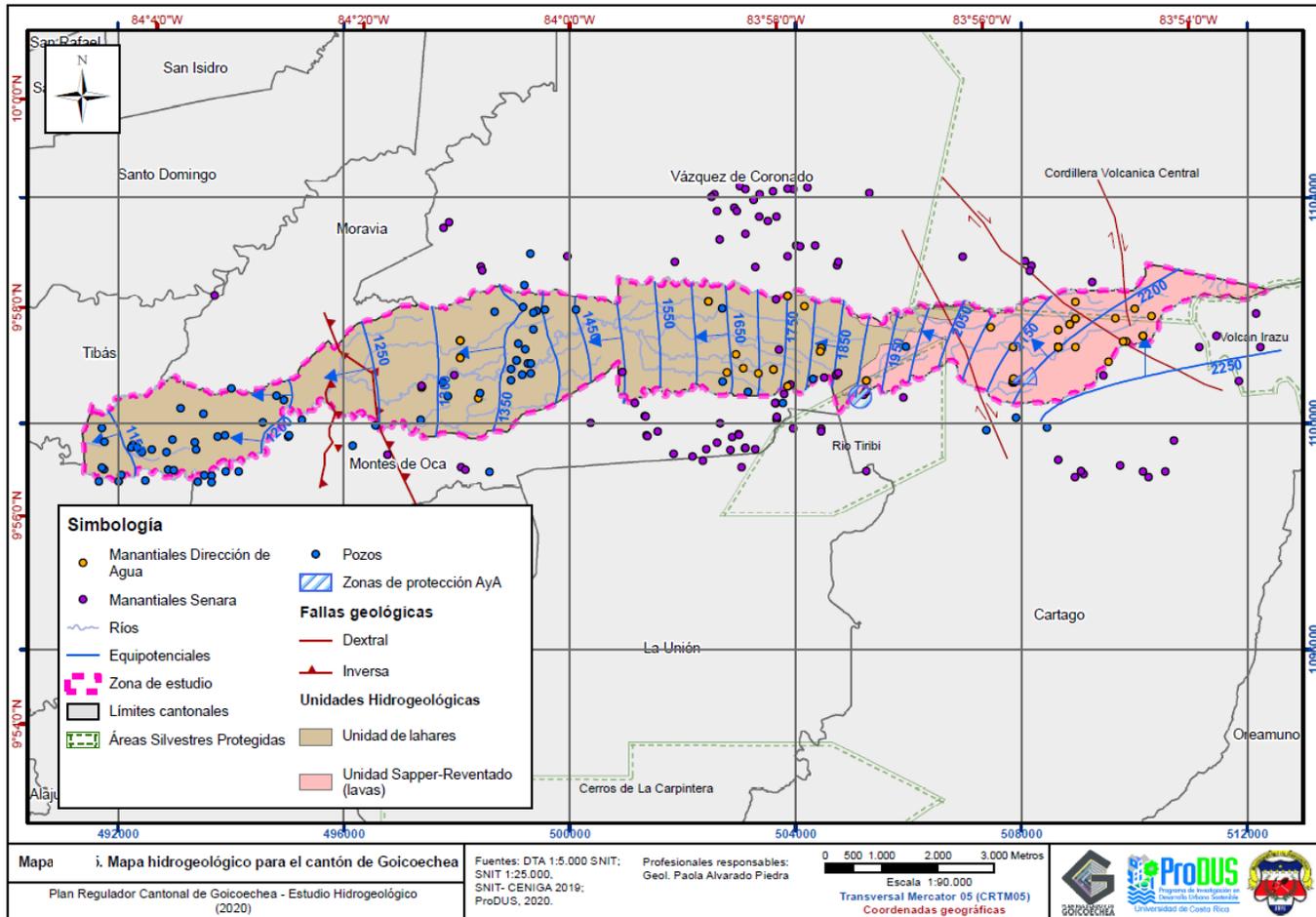
Pozo	X	Y	Z	NE Lahar	Carga Hidráulica
AB-1068	491750	1099185	1155.2	11.00	1144
AB-1072	492421	1099489	1170.0	11.34	1159
AB-1076	493410	1098968	1186.3	8.50	1178
AB-1088	493891	1099788	1200.0	3.00	1197
AB-1129	493111	1100268	1190.0	8.00	1182
AB-1139	500112	1102011	1456.8	4.00	1453
AB-1179	492480	1098984	1180.0	8.42	1172
AB-1253	492261	1099619	1170.0	14.50	1156
AB-13	492231	1099574	1169.0	10.60	1158
AB-1359	491710	1099220	1154.5	10.00	1145
AB-14	492601	1099539	1175.6	2.13	1173
AB-1433	494936	1100417	1210.0	14.00	1196
AB-1445	491761	1099670	1152.5	14.00	1139
AB-1471	492341	1099578	1170.0	14.00	1156
AB-1755	492060	1099090	1156.2	35.00	1121
AB-1782	494811	1100492	1210.0	18.00	1192
AB-1815	498673	1101972	1350.0	2.00	1348
AB-2014	494561	1100017	1202.8	4.15	1199
AB-2121	496561	1099965	1260.0	13.00	1247



AB-2379	493381	1099538	1186.0	15.00	1171
AB-2486	492858	1099489	1180.0	9.00	1171
AB-345	499173	1102062	1379.0	37.50	1342
AB-347	499423	1101992	1404.1	9.10	1395
AB-435	493910	1099148	1190.0	9.10	1181
AB-567	493660	1099068	1180.0	6.09	1174
AB-59	492890	1099179	1180.0	14.93	1165
AB-596	495261	1100066	1220.6	13.56	1207
AB-599	493761	1099768	1193.2	24.00	1169
AB-71	493660	1098958	1190.0	13.72	1176
AB-728	493361	1099668	1188.2	16.00	1172
AB-739	492961	1099709	1186.3	13.00	1173
AB-757	497361	1100064	1300.0	16.76	1283
AB-837	499362	1101662	1398.9	18.00	1381
AB-838	499363	1101962	1400.0	33.00	1367
AB-871	497841	1100478	1330.3	20.40	1310
AB-936	493511	1100168	1196.6	17.00	1180
AB-962	499092	1101412	1378.5	14.80	1364
AB-964	499262	1101062	1381.0	14.80	1366
AB-965	499311	1100882	1372.7	21.00	1352
AB-966	498961	1100762	1380.0	18.78	1361
AB-968	499161	1100862	1362.5	21.00	1342
AB-969	499212	1101312	1383.6	8.93	1375
AB-970	499062	1101112	1359.0	4.04	1355
AB-971	499312	1101062	1379.7	23.95	1356
IS-166	504311	1100787	1823.7	15.00	1809
IS-243	503780	1100357	1784.7	18.00	1767
IS-503	503161	1100558	1686.3	14.00	1672
AB-923	499304	1103002	1392.5	13.75	1379
AB-340	499200	1102447	1387.5	9.00	1378
AB-1028	498411	1100533	1345.0	13.19	1332
AB-1813	496160	1099605	1260.0	24.00	1236
IS-209	507384	1099878	2190.0	21.00	2169
IS-156	508459	1099922	2288.9	24.00	2265



Mapa 14 Mapa hidrogeológico del cantón de Goicoechea (Acuífero superior).





Estas formaciones, se cree, podrían formar un acuífero relacionado con la porosidad secundaria de las lavas, por lo que, para fines hidrogeológicos, se le denominó Unidad Sapper-Reventado. Esta podría originar los manantiales observados en esta zona. Sin embargo, como se mencionó, no se cuenta con información, podrían tratarse de flujos subsuperficiales.

También se muestra en el mapa hidrogeológico (Mapa 14), dos zonas de protección de manantiales del AyA. La fuente Rancho Redondo se le calculó la zona de captura mediante un estudio técnico, mientras que la fuente San Pedro se le asignó un radio de 200 m, ambas son fuentes subsuperficiales (HIDROGEOTECNIA y AyA 2013).

4.3 Vulnerabilidad a la contaminación

La vulnerabilidad hidrogeológica a la contaminación se analizó mediante el método GOD, descrito en la sección 2.8.

Como se mencionó anteriormente, el área de estudio se dividió en dos unidades hidrogeológicas superficiales, la Unidad de lahares y la Unidad Sapper-Reventado.

El grado de confinamiento hidráulico (**G**) se consideró no confinado cubierto, al acuífero en la Unidad de lahares, y dado que no se tiene información en la Unidad Sapper-Reventado se le consideró no confinado, a fin de ser conservadores.

Para la asignación de la litología, u ocurrencia del sustrato suprayacente (**O**) se utilizó un valor de 0,5, es decir, de arcillas para la Unidad de lahares, debido a las capas de cenizas arcillificadas que cubren el acuífero. Mientras que para Sapper-Reventado, se asignó un valor de 0,8 relacionado con lavas volcánicas recientes.

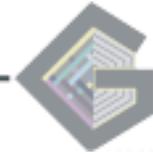
Finalmente, para la distancia del agua (**D**) se interpoló los valores de profundidad del nivel de los pozos, dentro del cantón, que se consideran captan el acuífero superior. La interpolación se realizó utilizando la metodología de Kriging. La tabla (Tabla -16) muestra los valores utilizados.

Los valores de profundidad del nivel se reclasificaron para asignar la D según la metodología, en el mapa se puede observar los resultados de dicha interpolación. A falta de información de la Unidad Sapper-Reventado se mantuvo un nivel de 15 m desde el último pozo con información hacia las zonas altas (Mapa 15).

La Tabla -15 resume los valores utilizados

Tabla -15 Resumen de índices GOD utilizados

	Unidad de lahares	Unidad Sapper-Reventado
G	0,6	0,8
O	0,5	0,8
D	Interpolación de niveles	



En producto de los parámetros obtenido varía entre 0.21-0.3 y 0.5-0.512 en la Unidad de lahares y Unidad Sapper-Reventado respectivamente, esto indica una vulnerabilidad intrínseca a la contaminación baja y alta, tal como se observa en el Mapa 16.

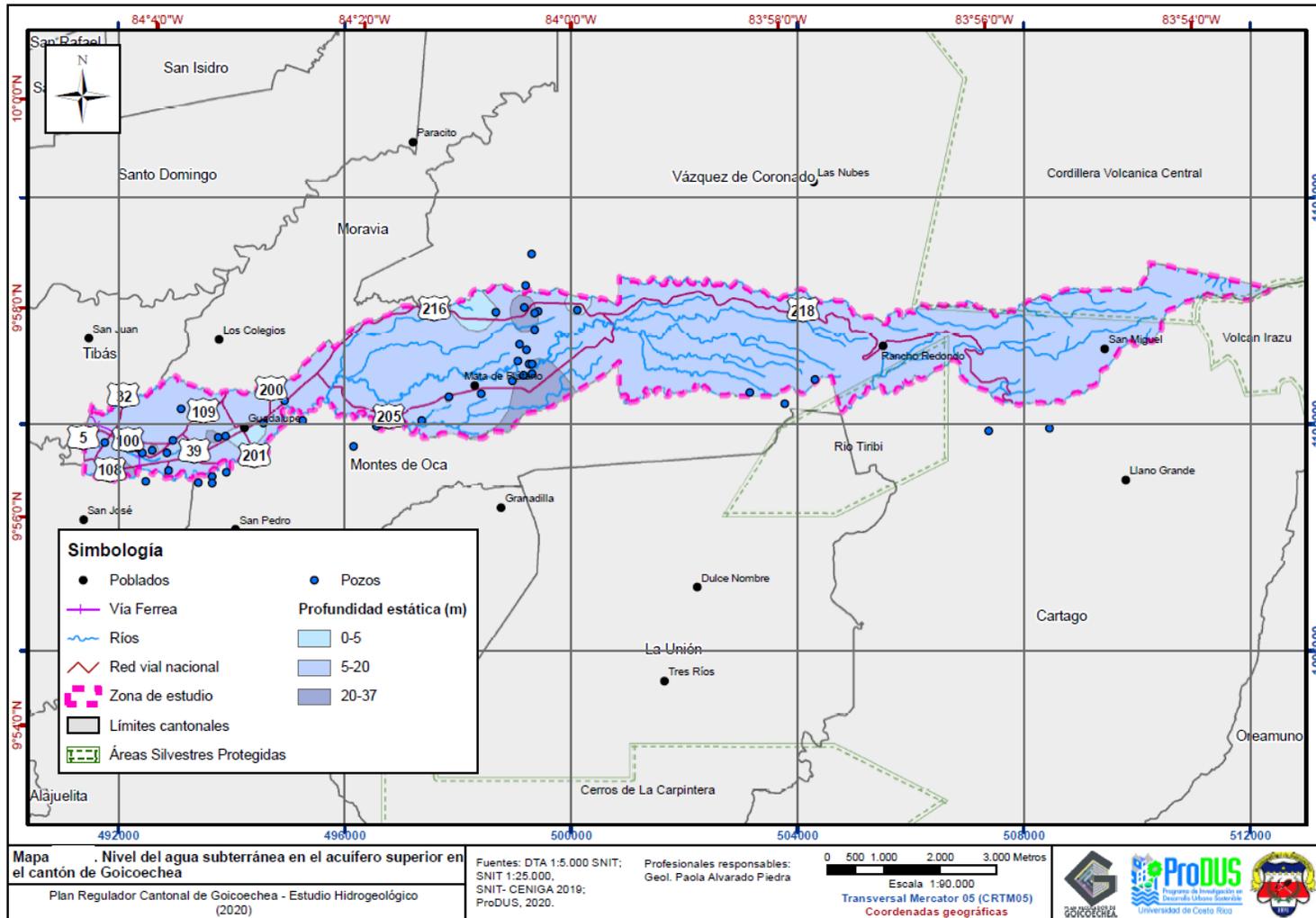
Tabla -16 Valores de profundidad del agua del acuífero superior utilizado

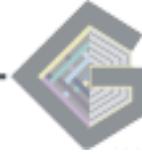
Pozo	X	Y	Prof. Acuífero superior	Pozo	X	Y	Prof. Acuífero superior
AB-1068	491750	1099185	11.00	AB-596	495261	1100066	13.56
AB-1072	492421	1099489	11.34	AB-599	493761	1099768	24.00
AB-1076	493410	1098968	8.50	AB-71	493660	1098958	13.72
AB-1088	493891	1099788	3.00	AB-728	493361	1099668	16.00
AB-1129	493111	1100268	8.00	AB-739	492961	1099709	13.00
AB-1139	500112	1102011	4.00	AB-757	497361	1100064	16.76
AB-1179	492480	1098984	8.42	AB-837	499362	1101662	18.00
AB-1253	492261	1099619	14.50	AB-838	499363	1101962	33.00
AB-13	492231	1099574	10.60	AB-871	497841	1100478	20.40
AB-1359	491710	1099220	10.00	AB-936	493511	1100168	17.00
AB-14	492601	1099539	2.13	AB-962	499092	1101412	14.80
AB-1433	494936	1100417	14.00	AB-964	499262	1101062	14.80
AB-1445	491761	1099670	14.00	AB-965	499311	1100882	21.00
AB-1471	492341	1099578	14.00	AB-966	498961	1100762	18.78
AB-1755	492060	1099090	35.00	AB-968	499161	1100862	21.00
AB-1782	494811	1100492	18.00	AB-969	499212	1101312	8.93
AB-1815	498673	1101972	2.00	AB-970	499062	1101112	4.04
AB-2014	494561	1100017	4.15	AB-971	499312	1101062	23.95
AB-2121	496561	1099965	13.00	IS-166	504311	1100787	15.00
AB-2379	493381	1099538	15.00	IS-243	503780	1100357	18.00
AB-2486	492858	1099489	9.00	IS-503	503161	1100558	14.00
AB-345	499173	1102062	37.50	AB-923	499304	1103002	13.75
AB-347	499423	1101992	9.10	AB-340	499200	1102447	9.00
AB-435	493910	1099148	9.10	AB-1028	498411	1100533	13.19
AB-567	493660	1099068	6.09	AB-1813	496160	1099605	24.00
AB-59	492890	1099179	14.93				



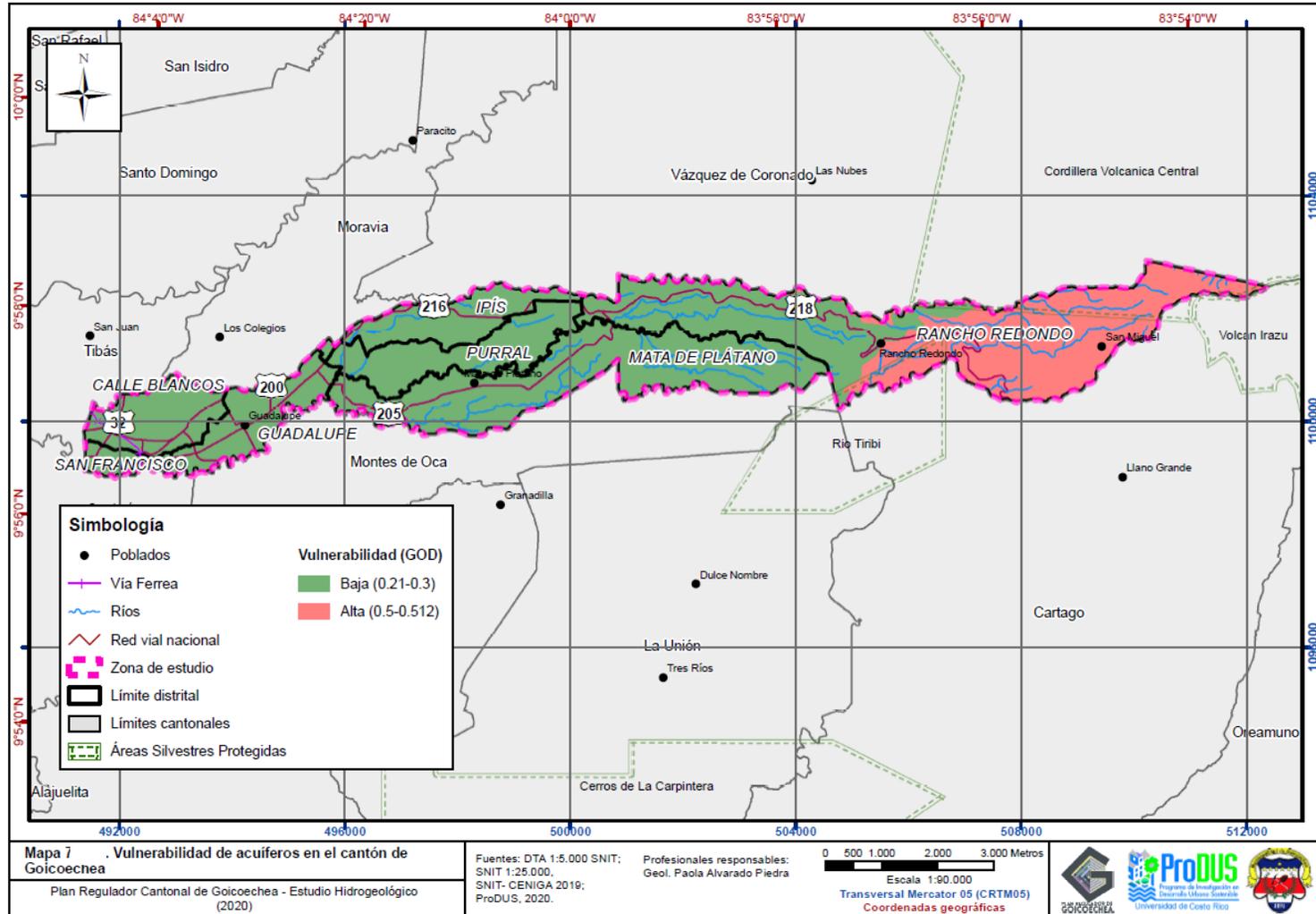
PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA
DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Mapa 15 Profundidad del agua subterránea del acuífero superior





Mapa 16 Vulnerabilidad hidrogeológica a la contaminación en el cantón de Goicoechea





4.4 Zonificación de las zonas de recarga

Para clasificar las zonas de recarga en el cantón se utilizó como base los trabajos de Ramírez (2014b) y López-Oviedo (2015), quienes calcularon los valores de recarga potencial mediante el método de Schosinsky (2006).

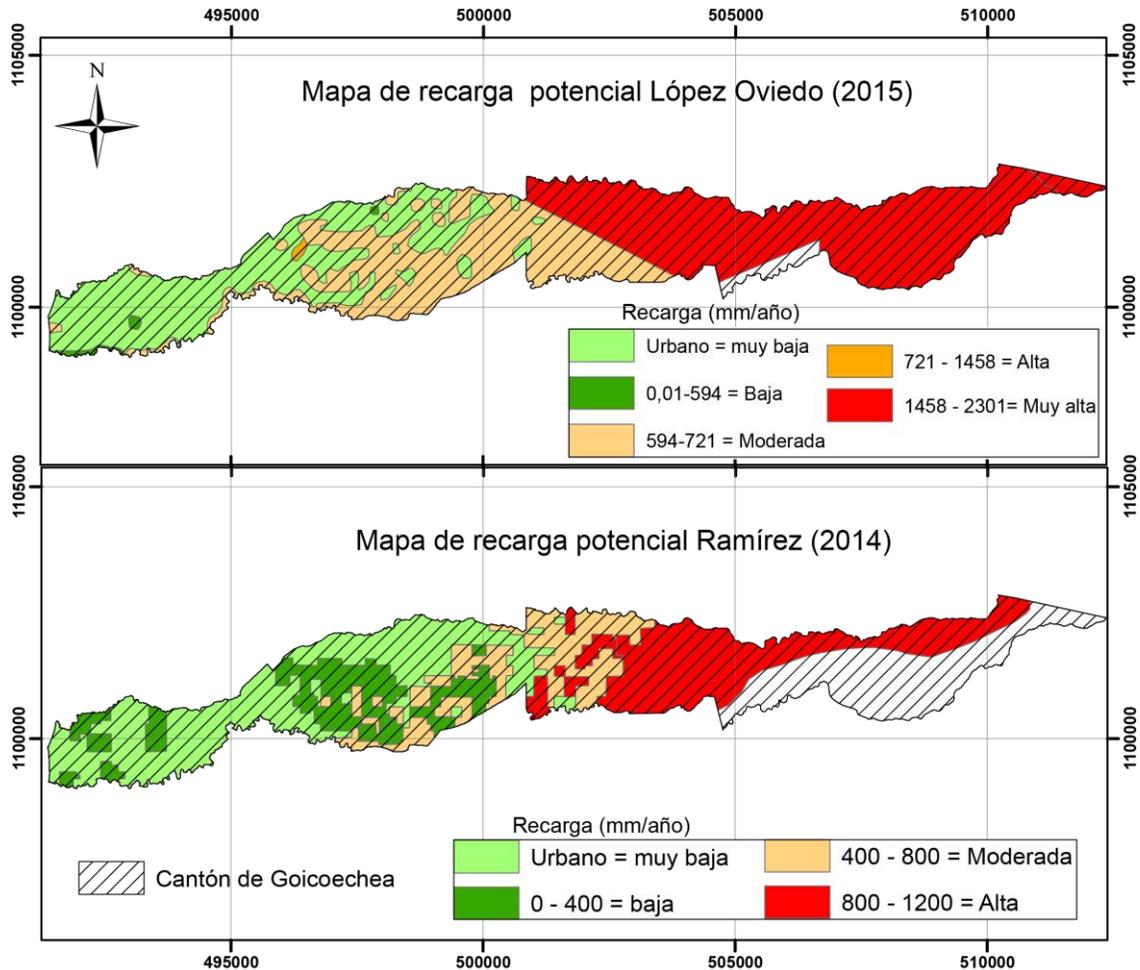
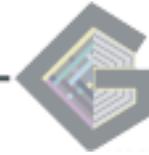


Figura 7 Comparación de la recarga potencial calculada por López-Oviedo (2015) y Ramírez (2014b)

La diferencia en la clasificación de la recarga se debe a que Ramírez (2014b) estudió un área más regional de la cuenca del río Virilla, por lo que los valores muy altos de recarga potencial se ubican en las faldas del volcán Barva.



En ambos mapas es posible observar que la zona de recarga alta se extiende hasta el sector central del cantón de Goicoechea. El corte marcado en el mapa de López-Oviedo (2015) se debe a la influencia de una estación meteorológica, cuyas áreas de influencia se asignaron con polígonos de Thiessen.

Como criterio adicional a los estudios previos mencionados, se tomó en cuenta la ubicación dentro del cantón, de los manantiales de la base de datos del SENARA y la Dirección de Aguas. A estos se les trazó un radio de 200 m y delimitó la zona de recarga alta siguiendo curvas de nivel entre los 1560 y 1650 m.s.n.m., siempre bajo el radio de los manantiales.

Los resultados obtenidos se pueden observar en el Mapa 17. La zona urbana se asoció con una recarga baja debido a que la impermeabilización disminuye considerablemente la recarga por infiltración de agua de lluvia en los suelos, sin embargo, como se mencionó anteriormente en las zonas urbanas la recarga se da por otros mecanismos. Debido a esto el área entre la zona urbana y la zona de recarga alta se clasificó como zona de recarga moderada, representando una zona de transición.

Cabe recalcar que para este estudio se está considerando 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.

4.5 Modelo hidrogeológico conceptual

De acuerdo con los datos recopilados y los análisis realizados se puede decir que el basamento en el sector oeste del cantón de Goicoechea está compuesto por intercalaciones de lavas y flujos de tobas o ignimbritas los cuales se correlacionan con acuíferos de importancia regional como los son los acuíferos Colima. Sin embargo, debido a falta de información no se puede determinar la continuidad de la Formación Colima hasta la divisoria del río Virilla, posiblemente al acercarse cada vez más al macizo del Volcán Irazú se vuelve más complejo su identificación debido a la gran profundidad a la que se encuentra y a las intercalaciones de otros materiales producto de la actividad volcánica reciente.

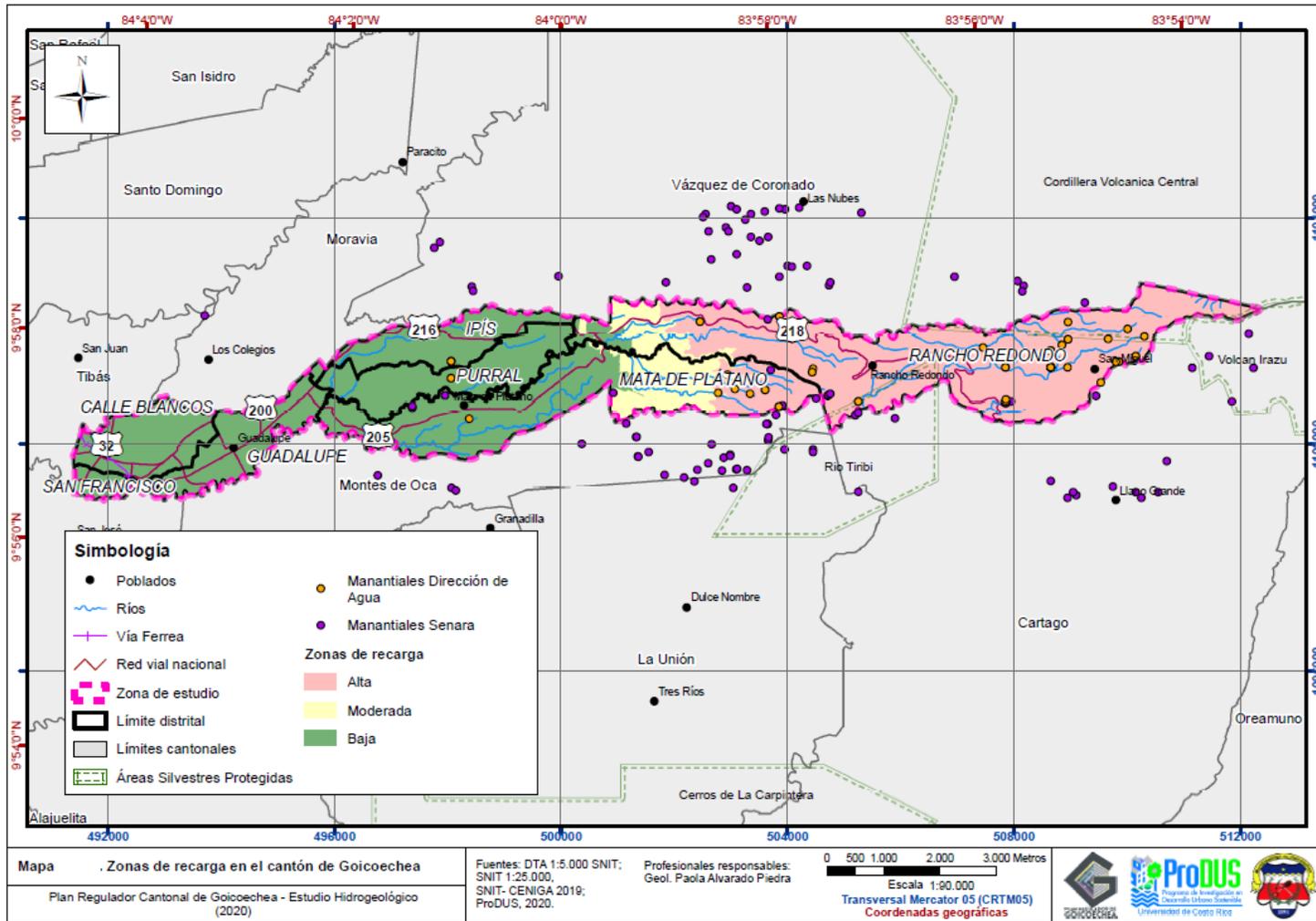
Sobre los acuíferos Colima no se tiene parámetros locales del acuífero, el pozo AB-683 tiene una transmisividad de 52 m²/d, sin embargo, hay mezcla de niveles. Pocos pozos alcanzan esta unidad. Sobre la formación Colima se encuentra un acuitardo asociado a la Formación Tiribí, en los cuales que se encuentren algunos niveles colgados. Estas tobas son sobreyacidas por lavas las cuales podrían asociarse a depósitos del volcán Irazú.

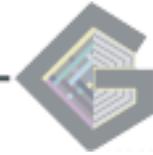
La unidad más somera corresponde con lahares de composición muy heterogénea y un espesor entre 60 m y 100 m, los cuales generan un acuífero de muy bajo potencial, cuyos caudales de extracción en general no superan los 5 l/s, según los registros de estos.



PLAN REGULADOR DE GOICOECHEA DIAGNÓSTICO-AMBIENTAL

Mapa 17 Zonificación de la recarga en el cantón de Goicoechea





La dirección de flujo en el acuífero superior es al oeste con un gradiente de 0.07. Las zonas altas del cantón presentan una vulnerabilidad hidrogeológica a la contaminación alta, mientras que las zonas de recarga alta se extienden hasta el sector central del cantón. Ambos parámetros en concordancia de los tipos de suelos presentes en área.

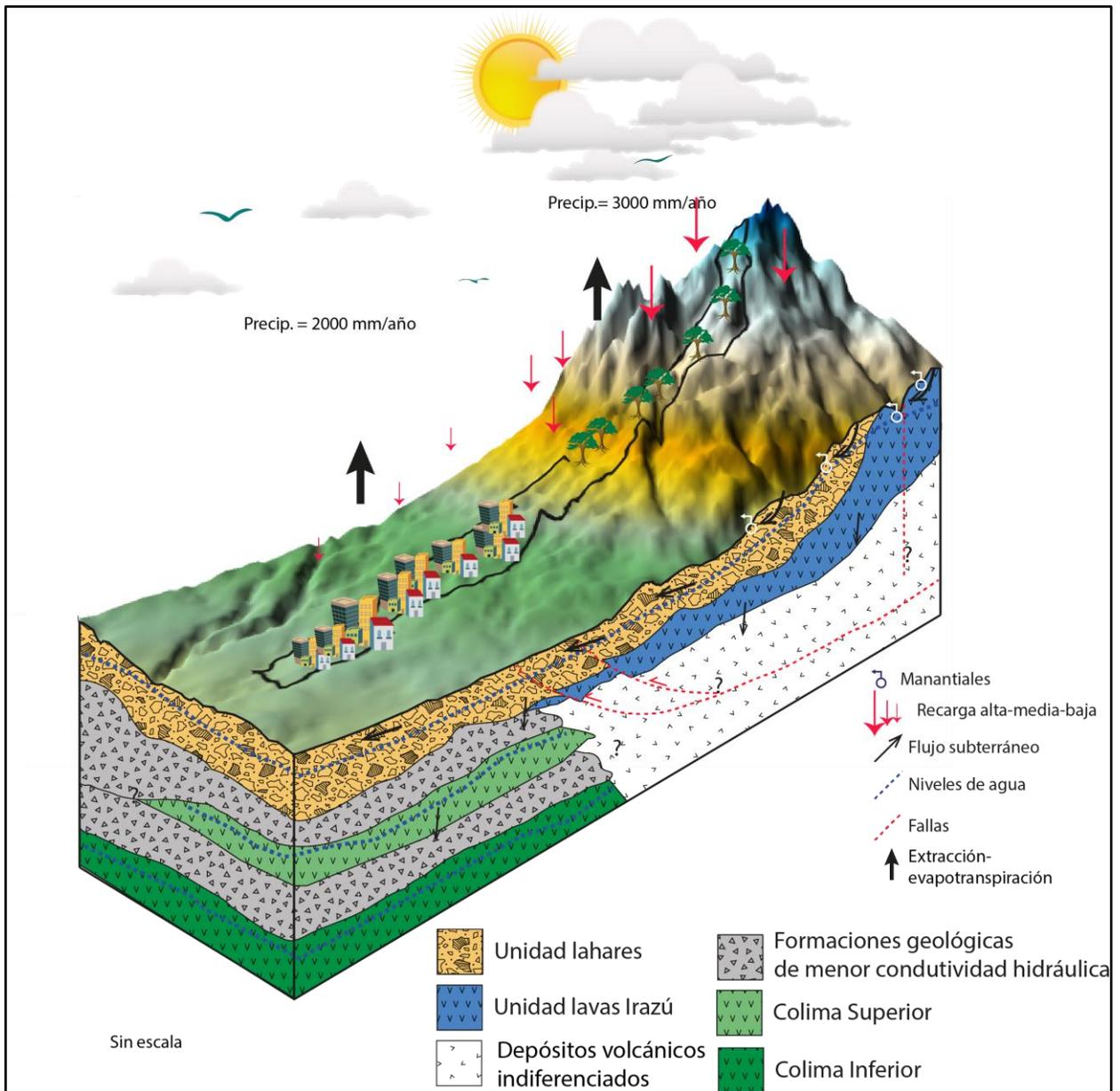


Figura 8 Modelo hidrogeológico conceptual del cantón de Goicoechea



5. Conclusiones

Variables atmosféricas

Con base en la información de isoyetas proporcionada por el Instituto Meteorológico Nacional se establece que las precipitaciones promedio anuales del cantón de Goicoechea varían entre los 1500 a los 3000 mm.

Las menores precipitaciones se ubican sector oeste del cantón con valores de 1500 mm a 2000 mm. Mientras que las mayores precipitaciones se presentan en el sector este con valores que rondan los 2000 mm a los 3000 mm anuales.

La estación seca se encuentra entre los meses de diciembre hasta abril y la estación lluviosa se da en los meses de mayo a noviembre, con excepción en los meses de julio y agosto donde se pronuncia un descenso de precipitación.

Las temperaturas en este estudio cumplen un papel importante para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), en el cual se utilizó el método de Holdridge (1959).

Sólo las estaciones meteorológicas de San José (1172 m.s.n.m), Avance Tres Ríos (1870 m.s.n.m), Rancho Redondo (1780 m.s.n.m.), Sabanilla (1200 m.s.n.m.) y Llano Grande (1780 m.s.n.m), cuentan con información disponible de temperatura.

Las temperaturas medias anuales varían con un mínimo de 14.1 °C (Estación Rancho Redondo) y un máximo de 20.6 °C (Estación San José).

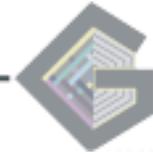
Las evapotranspiraciones potenciales (ETP) fueron calculadas a partir del método de Holdridge (1959), utilizando las mismas estaciones que contaban con información disponible de temperatura. Los valores de evapotranspiración son menores en los meses secos y aumenta en los meses lluviosos.

Variables antrópicas

La mayor parte del suelo en el cantón es de uso urbano (41%), lo que implica 1300 hectáreas de impermeabilización ubicadas en el sector oeste principalmente, esto debido a la menor pendiente y su cercanía con San José, lo que ha fomentado la actividad comercial y residencial.

Los bosques y pastos se encuentran principalmente en el sector este y juntos cubre 55% del área. Mientras que los cultivos representan únicamente un 3,8 %.

El caudal total de 64 concesiones de agua de la Dirección de Aguas es de 115.61 l/s, mientras que otras 42 no poseen datos. El uso industrial representa el 61.64%, riego un 16.3 l/s, el consumo humano 14.53% y 9.02% es utilizada para fines comerciales, el 14.12% restante tiene uso agropecuario, turístico, agroindustrial y fuerza hidráulica. No se poseen datos de pozos ilegales.



La mayor parte de las fuentes que cuentan con concesión son manantiales (41.5%), los cuales se ubican principalmente en el sector este del cantón, seguido por pozos los cuales se distribuyen en el sector oeste (34%), mientras que las fuentes superficiales tienen una distribución variada.

Hidrología

La mayor parte del cantón posee su sistema fluvial de la vertiente pacífico, únicamente una pequeña parte de su área drena al Caribe.

El cantón cubre una parte de las siguientes subcuencas: río Tiribí, río Torres, quebrada rivera, río Ipís, quebrada durazno, río Cajón y río Santa Rosa. De estas, únicamente las dos últimas escurren al Mar Caribe. La cuenca del río Torres es la que presenta una mayor área dentro del cantón.

Las cuencas presentan una forma alargada y las para las pendientes se obtuvieron valores de relieves suaves a muy fuertes, el valor de la pendiente aumenta hacia el este del cantón y es mayor en los caños de los ríos.

Variables del Suelo subsuelo

En cantón de Goicoechea está cubierto de suelos franco-arenosos (8.7 km²) en el sector de Rancho Redondo, estos suelos son producto de la meteorización de las formaciones geológicas Sapper y Reventado.

Al disminuir la topografía los suelos adquieren texturas franco (9.6 km²) y franco arcillosas (13.3 km²) respectivamente, lo que demuestra una clara tendencia a disminuir el tamaño de grano al disminuir la pendiente y alejarse del macizo del Irazú.

La tendencia de disminución en el tamaño de grano podría limitar la recarga debido a que el mayor contenido de arcilla reduce la capacidad de infiltración, pero a la vez esto ayuda a que la capacidad intrínseca a la contaminación sea menor.

La velocidad de infiltración de los suelos es las zonas no urbanizadas varía de moderada a muy rápida.

Superficialmente el cantón está cubierto con rocas de la formación Sapper (7%), Reventado (17.5%), y Lahares y cenizas (75.6%). Estas sobreyacen a las Formaciones Tiribí y Colima en el sector oeste.

Existen dos sistemas de fallas en el área de estudio, ambos relacionados con el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica. Al este se encuentran las fallas dextrales Lara y Nubes con un rumbo noroeste. Mientras que al oeste se encuentra el sistema de fallas Cipreses, el cual presentan dos trazas casi paralelas entre sí con rumbo noroeste y sureste y buzan al este. Este sistema está compuesto por una falla maestra denominada como falla Cipreses que se propaga hacia la superficie en dos segmentos de falla, denominado de oeste a este Guayabos y Pinares.



Hidrogeología

Dentro del área del cantón existen 123 pozos registrados, de estos únicamente 53 tienen información litológica. Algunos pozos fuera del cantón tienen mejores descripciones y son de mayor profundidad.

Los pozos fueron construidos entre 1960 y 2010, la mayor parte de ellos entre 1970 y 1997. La profundidad promedio ronda los 60 m, únicamente 15 pozos tienen una profundidad mayor a 100 m y 11 pozos una profundidad mayor a 200 m. La mayor parte de encuentran cerca de la zona urbana.

La mayor parte de los pozos extraen un caudal menor a 5 l/s, únicamente dos pozos extraen un caudal mayor (9.5 y 15 l/s).

Existen tres unidades hidrogeológicas en la zona. La inferior e intermedia se correlacionan con Colima Superior y se encuentran a una profundidad mayor a los 100 m y se trata de acuíferos semiconfinados y confinados respectivamente. La extensión de esta hacia el oeste no es clara. Mientras que Colima Superior disminuye su espesor hacia el norte.

La otra unidad hidrogeológica se relaciona con los lahares y cenizas que afloran en el cantón, es la mayor unidad captada por los pozos de la zona. Su espesor puede rondar los 100 m, el promedio ronda los 60 m. El acuífero tiene un potencial hidrogeológico muy bajo, cuyos caudales de extracción son menores de 5 l/s. La unidad es cubierta por una capa de cenizas arcillificadas protegen el acuífero.

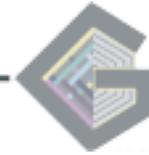
De las formaciones Sapper y Reventado no se cuenta con información hidrogeológica, sin embargo, en el sector donde afloran se encuentran la mayor cantidad de manantiales, gran parte de estos corresponden con flujos subsuperficiales.

La dirección del flujo del acuífero es al oeste, con un gradiente de 0,07.

La vulnerabilidad hidrogeológica a la contaminación es mayor en las formaciones Sapper-Reventado, dado que se contaba con poca información se utilizaron los parámetros más conservares. La vulnerabilidad disminuye en el sector de lahares y cenizas a que el espesor de cenizas arcillificadas ofrece cierto grado de protección.

La zona de recarga alta en el cantón se trazó con base en estudios previos de Ramírez (2014) y López Oviedo (2015), se utilizó como criterio para dividir las áreas las curvas de nivel y la ubicación de manantiales dentro y fuera del cantón.

La zona urbana se clasifico como recarga baja, debido a la impermeabilización de los suelos, en este sector la recarga se da por otros mecanismos como fugas en las tuberías de agua o de tanques sépticos.



6. Recomendaciones

La siguiente tabla resume las recomendaciones de uso del suelo para el Plan Regulador de Goicoechea, de acuerdo con las zonas de vulnerabilidad y de recarga:

Tabla -17 Recomendaciones de acuerdo con zonificación hidrogeológica

Vulnerabilidad	Recarga	Usos no recomendados	Usos recomendados
Baja*	Baja	Agrícola cuando se utilicen agroquímicos de moderada-alta toxicidad, persistencia y movilidad. Las actividades deben estar sujetas al tratamiento de efluentes y almacenaje adecuado de sustancias peligrosas.	Industrias sujeto a tratamiento de efluentes y almacenaje adecuado de sustancias peligrosas. Comercios Desarrollo de residencias, escuelas y colegios. Sistemas de acueductos y abastecimiento de agua. Instalaciones de comunicación. Infraestructura vial y estacionamientos Desarrollo turístico o con fines recreativos
	Media	Construcciones o actividades de gran tamaño que alteren las zonas boscosas. Industrias Gasolineras	Desarrollo residencial de baja densidad (deben contar con alcantarillado sanitario y planta de tratamiento). Impermeabilización máxima de 40% del territorio.
Alta*	Alta	Sistemas urbanísticos y condominales Industrias Gasolineras Comercios de tamaño considerable Desarrollo residencial denso Desarrollo turístico de gran extensión, ejemplo hotelería Rellenos de materiales peligrosos Estacionamientos amplios Actividades que requieran gran excavación o movimiento de tierra	Zonas agrícolas, agropecuarias o agroforestales, siempre que se utilicen agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad. Desarrollo de áreas protegidas, vinculados a corredores biológicos Zona de interés paisajístico. Pago por servicios ambientales Turismo de pequeña escala

* Es importante considerar las limitaciones de la metodología GOD, dado que los mapas de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación no consideran la interacción de los procesos superficiales y los flujos subterráneos; por ejemplo, los sistemas de drenaje superficiales como ríos, quebradas y canales artificiales, los cuales pueden interactuar con las aguas subterráneas (influencia-efluencia). Tampoco tiene relación con la delimitación de las zonas de captura de pozos, manantiales y la definición de las zonas de recarga del acuífero.

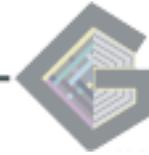
Para conocer sectores de efluencia e influencia en los ríos se recomienda la instalación de equipos especiales para la realización de aforos diferenciales, dadas las condiciones de accesibilidad y contaminación de los ríos, esto debido a que algunos sectores podrían funcionar como vía de ingreso de contaminantes hacia el acuífero.



Se debe respetar zonas de protección de manantiales, pozos y cursos de agua según la legislación vigente.

En la zona de recarga moderada se recomienda que no se alteren los bosques y se impermeabilice la menor cantidad de área posible, dada la importancia de las zonas de recarga en el Valle Central, pues estas aguas son extraídas en las partes baja de la cuenca y abastecen a gran parte de la población. A pesar de que en los bosques se da una menor recarga potencial que en pastos, o áreas de cultivo, la evapotranspiración aporta las lluvias del área que posteriormente potencial la recarga acuífera. Además, los árboles cumplen una importante función en la regulación de la temperatura y la fijación de gases de efecto invernadero.

Promover una organización intermunicipal para realizar estudios a nivel de cuencas, para un mejor manejo y monitoreo de las aguas y los recursos naturales.



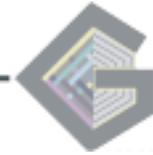
7. Referencias

- Alvarado, G. E., Carr, M. J., Turrin, B. D., Swisher, C. C., Schmincke, H. U., & Hudnut, K. W. (2006). Recent volcanic history of Irazú volcano, Costa Rica: Alternation and mixing of two magma batches, and pervasive mixing. *Special Paper of the Geological Society of America*, 412(412), 259–276. [https://doi.org/10.1130/2006.2412\(14\)](https://doi.org/10.1130/2006.2412(14))
- Alvarado, G. E., & Gans, P. B. (2012). Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. *Revista Geológica de América Central*, 46, 7–122.
- Bogantes, R., Laporte, G., Quesada, C., & Vásquez, A. (2002). *Zonificación geotécnica general de Costa Rica considerando elementos edáficos y climáticos* (p. 13).
- Calderón, P. (2017). *Análisis de disponibilidad de recurso hídrico en la cuenca del río Virilla, Valle Central, Costa Rica* [Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148483>
- Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., López de Armentia, A., Del Río, J., & De Marco, S. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 73–97. <http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/pdf/reuge/v27n1/v27n1a05.pdf>
- Denyer, P., & Arias, O. (1991). Estratigrafía de la Region Central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 12, 1–59.
- Echandi, E. (1981). *Unidades volcánicas de la vertiente norte de la cuenca del río Virilla*. Universidad de Costa Rica.
- Foster, S., Hirata, R., Gómez, D., D'elia, M., & Patis, M. (2002). *Groundwater Quality Protection. A guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies* (p. 103). The World Bank.
- Gaspari, F. J., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Augm Domus*, 4(0), 143–158. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/25777/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gómez, C., & Arellano, H. (2016). Balance hidrológico: Comparación del método de Holdridge y Thornthwaite para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial (EVTp). *Revista Geográfica Digital*, 25. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30972/geo.13252328>
- González, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 38, 311–330. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1079160%0Ahttp://boletin.geografia.es/articulos/38/17> IBISATE 311-329.pdf
- Hidalgo, P. J., Alvarado, G. E., & Linkimer, L. (2004). La Lavina Del Valle Central (Costa Rica): ¿Lahar O Debris Avalanche? *Revista Geológica de América Central*, 30, 101–109.
- HIDROGEOTECNIA, & AyA. (2013). *Caracterización de las áreas de recarga y sistemas de protección de los aprovechamientos de los sistemas de abastecimiento de agua de AyA en la región metropolitana*.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2010). Morfología de las cuencas hidrográficas. En *Universidad Politécnica de Valencia*. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfología de una cuenca.pdf](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfología%20de%20una%20cuenca.pdf)
- Krushensky, R. (1972). Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica. *Geological Survey*



- Bulletin 1358*, 46.
- Lerner, D. N. (2002). Identifying and quantifying urban recharge: A review. *Hydrogeology Journal*, 10(1), 143–152. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0177-1>
- López-Oviedo, J. D. (2015). *Recarga potencial para los acuíferos de un Sector al Sur del río Virilla* [Universidad de Costa Rica]. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7369/39351.pdf?sequence=1>
- Lux, B. (2016). Conceptos Básicos de Cuencas. *Manual de Manejo de Cuencas, Módulo I*. http://www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyctogro2/Biblioteca/Bibliografia/M%F3dulo%204/manual_manejo_de_cuencas_modulo_1%5B1%5D.pdf
- Meza Aliaga, M., Rodríguez Valdivia, A., Corvacho Ganahín, O., & Tapia Tosetti, A. (2014). ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE MICROCUENCAS AFECTADAS POR FLUJOS DE DETRITOS BAJO PRECIPITACIÓN INTENSA EN LA QUEBRADA DE CAMIÑA, NORTE GRANDE DE CHILE. *Diálogo andino*, 44, 15–24. <https://doi.org/10.4067/S0719-26812014000200003>
- Obando Amador, A. F. (2017). *Modelo hidrogeológico conceptual de las cuencas de los ríos Reventado y Toyogres, provincia de Cartago, Costa Rica*. 181.
- Orozco, E. (2014). Modelo numérico del acuífero de la margen derecha del Río Tempisque, desde Monte Galán hasta Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica. En *Journal of Chemical Information and Modeling*. Universidad de Costa Rica.
- Peréz, J. (1979). *Fundamentos del ciclo hidrológico* (p. 38). Universidad Central de Venezuela. Departamento de Meteorología e Hidrología.
- Perez, W. (2000). *Vulcanología y petroquímica del evento ignimbrítico del Pleistoceno Medio (0,33Ma) del Valle Central de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.
- Ramírez, R. (2014a). Recarga Potencial de los Acuíferos Colima y Barva, Valle Central, Costa Rica. *Repertorio Científico*, 17(1021–6294), 51–59. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/repertorio/article/view/2567>
- Ramírez, R. (2014b). *Recarga y extracción hídrica de los acuíferos Colima y Barva, Valle Central, Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.
- Ramos, J. (2014). *Modelo hidrogeológico conceptual de un sector al sur de la margen izquierda del río Virilla, San José, Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.
- Rodríguez, E. (2016). *Evaluación neotectónica de la falla Cipreses, y sus implicaciones en la zonificación del uso del suelo, en los cantones de Montes de Oca, Curridabat y La Unión*. 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, 13–30. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i34-35.4223>
- Solano, J., & Villalobos, R. (2001). Regiones y sub-regiones climáticas de Costa Rica. *Instituto Meteorológico Nacional, mapa 1*, 32. http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Reg_climaCR.pdf
- Vega, E. C., & Jara, J. C. (2009). Estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas (costa y región andina) del ecuador. *Engharia Agrícola*, 29(3), 390–403. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000300006>

CONTAMINACIÓN DEL AIRE



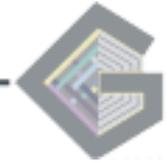
ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	1
2. Contaminación del aire por fuentes fijas:.....	1
3. Contaminación del aire por fuentes móviles.....	3
3.1 Gases orgánicos totales.....	3
3.2 Monóxidos de Carbono (CO).....	4
3.3 Óxidos Nitrosos (NO _x)	4
3.4 Dióxidos de Carbono (CO ₂)	4
3.5 Dióxidos de Azufre (SO ₂)	4
3.6 Partículas suspendidas	5
4. Conclusiones	5
5. Referencias.....	12



Índice de mapas

Mapa 11. 1. Cantidad estimada de emisiones de Gases Orgánicos Totales en las rutas nacionales de Goicoechea.....	6
Mapa 11. 2. Cantidad estimada de emisiones de Monóxidos de Carbono en las rutas nacionales de Goicoechea.....	7
Mapa 11. 3. Cantidad estimada de emisiones de Óxidos Nitrosos en las rutas nacionales de Goicoechea.....	8
Mapa 11. 4. Cantidad estimada de emisiones de Dióxido de Carbono en las rutas nacionales de Goicoechea.....	9
Mapa 11. 5. Cantidad estimada de emisiones de Dióxido de Azufre en las rutas nacionales de Goicoechea.....	10
Mapa 11. 6. Cantidad estimada de emisiones de Partículas Suspendidas en las rutas nacionales de Goicoechea.....	11



11. CONTAMINACIÓN DEL AIRE

1. Introducción

La gestión de la contaminación ambiental en el aire es uno de los temas de mayor preocupación en las ciudades, lo que incluye el Gran Área Metropolitana (GAM) costarricense. Las personas que tienen puestos de toma de decisiones relacionadas con la gestión territorial y el desarrollo de políticas públicas deben buscar incorporar en sus análisis de toma de decisiones el componente de calidad del aire como uno de sus principales ejes de atención. Sin embargo, el tema en el ordenamiento territorial se debe gestionar de acuerdo con las potestades que tiene un Plan Regulador sobre el tema, siendo su mayor fuerza de acción la interacción con los usos del suelo permitidos, el factor validez y transporte y el tema de gestión de suelos. Por otro lado, el Plan Regulador no es la herramienta legal que se encarga del cumplimiento de la legislación en el tema de las normas relacionadas con contaminación del aire. Por consiguiente, la presente sección tiene un carácter informativo para la toma de decisiones y describe de forma general las condiciones del cantón de Goicoechea respecto a fuentes de emisión fijas y móviles.

2. Contaminación del aire por fuentes fijas:

El reglamento sobre Emisiones de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de tipo directo # 36551-S-MINAET-MTS establece que un contaminante atmosférico es cualquier sustancia, material o forma de energía emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales y que afecta adversamente al medio ambiente, a los organismos vivos o a las edificaciones y estructuras. En ese reglamento se establece que una fuente fija es todo establecimiento que se encuentre en un solo lugar mientras opera, o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. En la realidad costarricense, no se han realizado estudios cantonales para determinar los niveles de contaminación generados por las fuentes fijas en cada municipio costarricense. Este estudio tampoco corresponde al alcance temporal ni viable financieramente de un diagnóstico de Plan Regulador, por lo que se utilizarán las referencias regionales de la GAM como punto de análisis. Según el Informe de calidad del aire de la GAM 2013-2015 elaborado por la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) junto a otras instituciones públicas, las fuentes móviles (automotores) son la primera fuente de contaminación en el país producen alrededor del 56% de las emisiones contaminantes sobre el aire, las cuales se incrementan día a día ya que la tasa de crecimiento anual es del 7,4%. En segunda instancia está el sector industrial que produce el 23% de la contaminación atmosférica, esta se concentra en el centro y oeste de la región. Las recomendaciones del estudio incluyen la instalación de estaciones de medición de contaminantes del aire automáticas, que permitan tener una línea base y establecer las variaciones en los territorios, por lo que esta recomendación se debe considerar en el caso del cantón de Goicoechea.

La distribución geográfica de las industrias en Goicoechea muestra una concentración de las mismas en San Francisco, Calle Blancos, sin embargo, existen empresas en todo el cantón que podrían generar algún grado de contaminación en un rango más local, por ejemplo, los talleres de enderezado y pintura que son muy frecuentes en el cantón. En lo referente a las fuentes fijas en el cantón de Goicoechea, se analizó la información de las



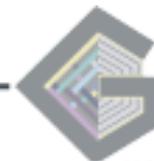
patentes, obteniendo los siguientes datos de empresas que podrían considerarse dentro de los entes productores de emisiones al aire:

- **15 fábricas:** hielo, empaques, perfiles, vinos, hojalatería, futbolines, puertas, madera plástica, marcos de cuadros, resina plástica, rótulos, almidón, productos de limpieza, productos farmacéuticos, calzado, otros.
- **70 talleres:** 18 de mecánica enderezado y pintura, 17 de mecánica, 5 de soldadura, 4 de refrigeración, 3 ebanisterías, 3 electromecánico, 2 llanteras, 2 de pintura, 2 de rebobinado y el resto corresponde a 1 taller de cableado, 1 de costura, 1 eléctrico, 1 de muflas, 1 de relojería y 7 patentes de taller que no detallaban el tipo.
- Tostadora el Dorado en Calle Blancos
- Tajo Rancho Redondo
- Fábrica de block y adoquín en Ipís
- Planta de concreto MECO, Calle Blancos

Para un estudio más detallado sobre el tema, se recomienda generar un inventario de emisiones por sector y por contaminante para el cantón de Goicoechea. Las emisiones generadas por proceso productivo pueden ser calculadas utilizando los factores de emisión, de acuerdo con el Source Code Classification (SCC) de la USEPA (1995), como fue realizado por Jorge Herrera en su investigación Inventario de emisiones de contaminantes criterio de Costa Rica en 2011, donde además especifica que se debe completar el trabajo con entrevistas y verificación para calibrar los valores según los filtros que utilicen las industrias. Lamentablemente, estas valiosas investigaciones no son posibles de realizar en un diagnóstico de un Plan de Ordenamiento territorial debido a su costo y periodo de ejecución.

Es importante recalcar que existe legislación sobre el tema, entre otros el Decreto Ejecutivo: 39951 del 09/08/2016 Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes criterio, donde se establecen claramente las responsabilidades de las Instituciones públicas involucradas en el monitoreo y control.

Para detallar las industrias que poseen el mayor riesgo sanitario y ambiental en Costa Rica se recomienda la revisión del documento del Ministerio de Salud (MINSA) de Clasificación de establecimientos y actividades comerciales, industriales y de servicios reguladas por el ministerio de salud según nivel de riesgo sanitario y ambiental, Anexo I. Algunas de las industrias colocadas en la categoría de alto A son: Venta al por menor de combustibles para vehículos automotores en comercios especializados (estaciones de servicio), Venta al por mayor de residuos, chatarras, y otros productos n.c.p. (incluye sustancias químicas de uso industrial, abonos y productos químicos de uso agrícola, gases medicinales etc), 0 Recuperación de materiales, centros de acopio, centros de recuperación de residuos valorizables (procesamiento de desperdicios y desechos metálicos y no metálicos y de otros artículos para convertirlos en materias primas secundarias normalmente mediante un proceso de transformación mecánico o químico, ej. recuperación de materiales de corrientes de desechos, separación y clasificación de materiales recuperables de corrientes de desechos no peligrosos (basura), separación y clasificación en categorías distintas de materiales recuperables mezclados, como papel, plásticos, latas de bebidas usadas, y metales), Fabricación de productos de plástico (incluye la fabricación de bolsas y fundas de plástico impregnadas de insecticidas), entre otros.



3. Contaminación del aire por fuentes móviles

Como se mencionó, la flota vehicular del país es la principal fuente de emisión de contaminantes a nivel atmosférico, motivo por el cual es muy relevante poder conocer la cantidad y tipo de contaminantes emitidos. Esta sección presenta una aproximación de estos valores realizada mediante información disponible de instituciones como el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Tesis de grado y el uso de modelos específicos en el tema. Se aclara que las cantidades estimadas de emisiones para cada tipo de gas únicamente contemplan las emisiones asociadas al tráfico vehicular y no incluyen emisiones de industria o cualquier otra actividad humana.

Se aproximó la cantidad de emisiones de contaminantes en las vías nacionales de Goicoechea, para ello se utilizaron los factores de emisión con base al modelo COPERT 4 estimados por Alexander Vega en su trabajo final de graduación titulado “Análisis de Emisiones de Gases en el Área Metropolitana de San José y sus Alrededores”. La estimación se realizó con base en los valores de tránsito promedio diario (TPD) mostrados en los Mapas 1.2-1 y 1.2-2; utilizando los factores diarios de la estación San Pedro, disponibles en el Anuario de Información de Tránsito 2019, se aproximó la el TPD de los días entre semana de cada una de las secciones de las rutas nacionales que atraviesan el cantón. Asimismo, se utilizaron los factores horarios de dicha estación, así como la distribución porcentual del tránsito de cada sección de ruta nacional para aproximar la cantidad de vehículos por tipo que circulan cada hora. Adicionalmente se aproximó la velocidad de circulación para cada hora del día en cada tramo mediante el uso de Google Maps, con base en esta información de velocidad se seleccionaron los factores de emisión correspondientes para cada sección de ruta nacional según hora del día. El valor de emisiones resultante corresponde al producto de la cantidad de vehículos y su respectivo factor de emisión, mientras el valor total de cada tipo de emisión es equivalente a la sumatoria de las emisiones de cada tipo de vehículo a lo largo de un día.

3.1 Gases orgánicos totales

En el Mapa 11. 1 se muestra la cantidad estimada de gases orgánicos totales emitidos a la atmosfera en cada uno de los segmentos de ruta nacional que atraviesan el cantón de Goicoechea. Se puede apreciar que en el distrito de Guadalupe se encuentran los segmentos de mayor cantidad de emisiones de gases orgánicos, siendo uno de ellos el de la ruta 218 en el distrito de Guadalupe, específicamente desde el límite cantonal con San José hasta la intersección con la ruta nacional 200 con cerca de 17 kg/km de emisiones, mientras que el segmento de la ruta 39 desde el límite cantonal con Montes de Oca hasta la intersección con la ruta nacional 218 es el de mayor nivel de emisiones con cerca de 22kg/km. Se puede apreciar también que existe un nivel considerable de emisiones en los distritos de Calle Blancos y San Francisco, los cuales si bien no son tan elevados como en Guadalupe no deben pasar desapercibidos. Asimismo, en el distrito de Ipís, sin embargo, en este se da una disminución considerable de las emisiones a partir de la intersección entre las rutas nacionales 218 y 216. Por su parte el distrito de Mata de Plátano tiene niveles bajos de emisión respecto al resto de distritos al oeste del cantón, siendo estos aún inferiores en Rancho Redondo.



3.2 Monóxidos de Carbono (CO)

Como se observa en el Mapa 11. 2, las emisiones de monóxido de carbono en el cantón presentan un comportamiento similar al de los gases orgánicos, siendo el distrito de Guadalupe en el que se concentran la mayoría de estas emisiones. En el caso de la ruta nacional 218 presenta valores de emisiones diarias superiores a los 216 kg/km desde el límite cantonal con San José hasta la intersección con la ruta nacional 200, por su parte en la ruta nacional 39 se estiman más de 263 kg/km desde el límite cantonal con Montes de Oca hasta la intersección con la ruta nacional 218 posterior a este punto se da una reducción a cerca de 198 kg/km. Se debe resaltar que en los distritos de Ipís, Purral, Mata de Plátano y Rancho Redondo las emisiones de Monóxido de carbono son inferiores a los 101 kg/km, esto con excepción del segmento de la ruta nacional 218 comprendido entre las rutas 205 y 216.

3.3 Óxidos Nitrosos (NO_x)

En el Mapa 11. 3 se muestra los niveles aproximados de emisiones de óxidos nitrosos en las rutas Nacionales de Goicoechea. Los distritos de San Francisco y Calle Blancos presentan cantidades de emisiones que oscilan entre los 62 kg/km y los 87 kg/km en las rutas nacionales 100 y 108. Mientras que las rutas nacionales 32 y 109 presentan valores superiores, oscilando entre los 103 kg/km y los 125 kg/km. Por su parte los mayores niveles de emisiones se presentan en el distrito de Guadalupe alcanzando un valor de hasta 176kg/km en la ruta nacional 39, siendo esta la de más emisiones. Los distritos ubicados al este de Guadalupe presentan menores emisiones, las cuales se asocian con la disminución del tránsito vehicular en dicha zona, únicamente en la ruta nacional 218 se llegan a superar los 62kg/km específicamente en Ipís, mientras los restantes distritos se ubican debajo de este umbral.

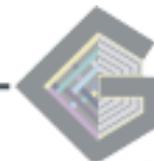
3.4 Dióxidos de Carbono (CO₂)

En el caso del dióxido de carbono, el Mapa 11. 4 muestra que sigue la tendencia de los otros tipos de emisión, esto por cuanto la misma es proporcional a los niveles de tránsito respectivos de cada segmento de ruta. Este gas es el de mayor cantidad de emisiones, llegando a alcanzar casi 23,35 ton/km diarios emitidas sobre la ruta nacional 39 y de 18,5 ton/km en la ruta nacional 218 ambas en el distrito de Guadalupe. Estos valores son entre 3 y 4 veces superiores a los estimados en Rancho Redondo, donde se presentan valores aproximados de 6 ton/km, siendo este el distrito con menos cantidad de emisiones y el de mayor cobertura vegetal que le permite amortizar las mismas.

Es importante señalar que el dióxido de carbono es uno de los principales gases asociados al cambio climático, por lo que reducir los niveles de emisión de este gas es gran importancia y se encuentra alineado con los objetivos de carbono neutralidad planteados por el gobierno de la república.

3.5 Dióxidos de Azufre (SO₂)

Si bien las emisiones de dióxidos de azufre son relativamente bajas en comparación con los otros contaminantes estimados, no debe dejarse de lado ya que este contaminante en altas concentraciones puede causar problemas respiratorios e incluso lluvia acida. El Mapa 11. 5 muestra que la menor concentración de emisiones de este gas se produce en Rancho Redondo, sobre la ruta 218, las cuales oscilan de 2g/km a 3,5 g/km. Por otro lado, la ruta 205 también presenta niveles bajos en comparación a las otras rutas en el cantón, con



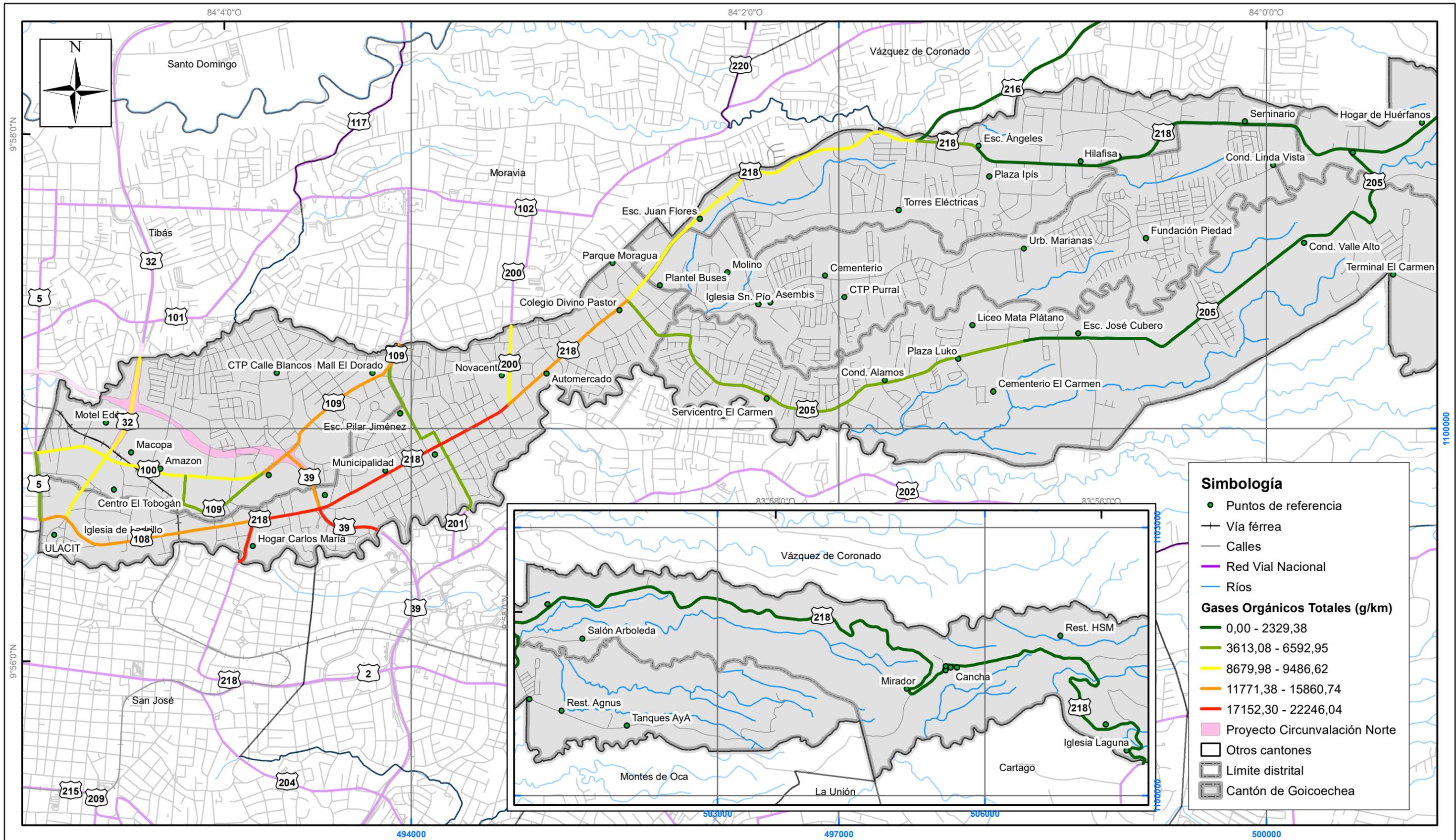
niveles inferiores a los 36g/km. La mayor emisión de dióxido de azufre se da en la ruta nacional 39 con cerca de 115g/km, seguida de la ruta 218 con 92g/km ambas en el distrito de Guadalupe.

3.6 Partículas suspendidas

El Mapa 11. 6 muestra los valores aproximados de emisión de partículas suspendidas en las rutas nacionales del cantón de Goicoechea. Se observa que, en términos relativos al cantón, los distritos de Calle Blancos y San Francisco presentan niveles de intermedios a altos de emisión de partículas suspendidas, siendo la ruta 32 las demás emisiones en ambos distritos con 4,06 kg/km seguida de la ruta 109 con 4,01 kg/km en Calle Blancos. En el distrito de Guadalupe se dan los niveles más altos de emisiones, siendo estos en la ruta nacional 218 cuyos niveles oscilan desde 9kg/km hasta los 6kg/km en el tramo desde el límite cantonal con San José hasta la intersección con la ruta nacional 200. Por su parte la ruta nacional 39 presenta emisiones de 6,6 kg/km y de 4,5 kg/km en los dos tramos existentes. Los distritos ubicados al este de Guadalupe, con excepción del tramo de la ruta 2018 comprendido entre las rutas nacionales 205 y 216 presentan niveles de emisión inferiores a los 2kg/km siendo Rancho Redondo el de menores emisiones alcanzando valores de hasta 0,19 kg/km.

4. Conclusiones

- Los procesos de ordenamiento territorial, específicamente los Planes Reguladores, deben considerar el tema de la contaminación del factor aire como un eje de desarrollo en la creación de las políticas de ordenamiento territorial. Es importante establecer que el rango de acción de un Plan Regulador en temas de control del factor de emisiones de gases es bajo, debido a que sus potestades legales no incluyen la regulación y control de las emisiones de las fuentes fijas y móviles.
- El aporte que puede generar un n Plan Regulador al tema de gestión de emisiones al aire se enmarca en la gestión del tema de vialidad y transporte, para facilitar las condiciones que le permite la ley, además de las regulaciones que puedan establecerse en temas de zonificación y selección de los usos más adecuados para cada una de las zonas establecidas.
- Para maximizar el beneficios del procesos de ordenamiento territorial, este debe complementarse con proyectos desarrollados conjuntamente para promover medidas de incentivo al transporte público, uso de energías sostenibles, promoción de aumento de la cobertura vegetal en el cantón, fiscalización adecuada desde el MINSA de los entes generadores y trabajo conjunto con organizaciones de la sociedad civil.
- El distrito de Guadalupe presenta niveles de emisión de gases contaminantes considerablemente superiores a los distritos de Ipís, Purral, Mata de Plátano y Rancho Redondo. Lo cual compromete la calidad del aire y podría generar deterioro en las condiciones de salud de los habitantes. Los distritos de San Francisco y Calle Blancos si bien no presentan emisiones tan elevadas como Guadalupe, no pueden ser ignorados.
- Se recomienda emprender proyectos de creación de franjas verdes en las distintas rutas del cantón que no cuentan con ella, la misma, en conjunto con proyectos de arborización urbana pueden ayudar a reducir la carga de contaminantes en la atmosfera a nivel local.



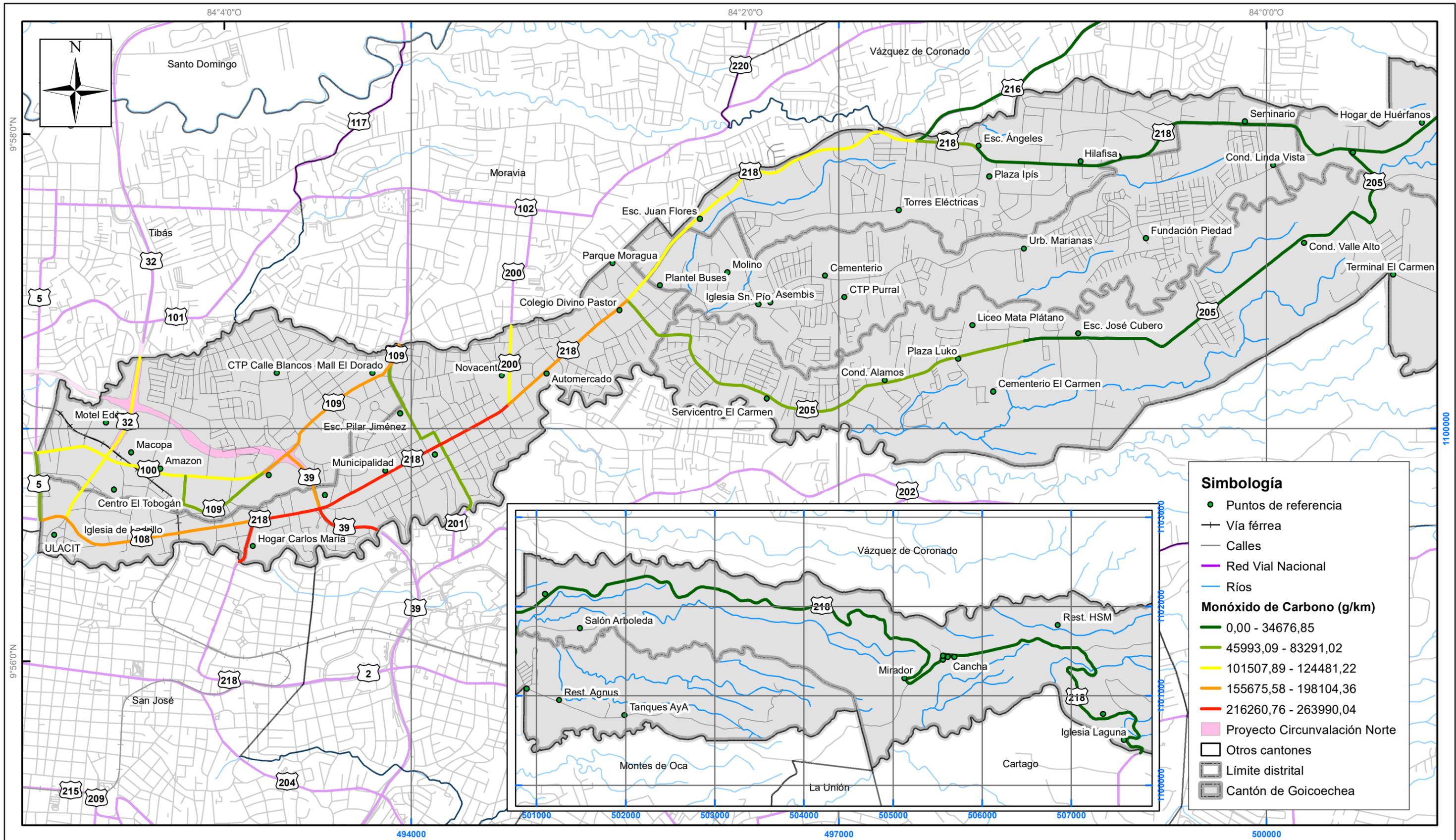
Mapa 11.1. Cantidad estimada de emisiones de Gases Orgánicos Totales en las rutas nacionales de Goicoechea.

Plan Regulador Cantonal de Goicoechea

Fuentes:
ProDUS, 2019; SNIT, 2019

0 250 500 1 000 m
Escala 1:25 000
Proyección CRTM05





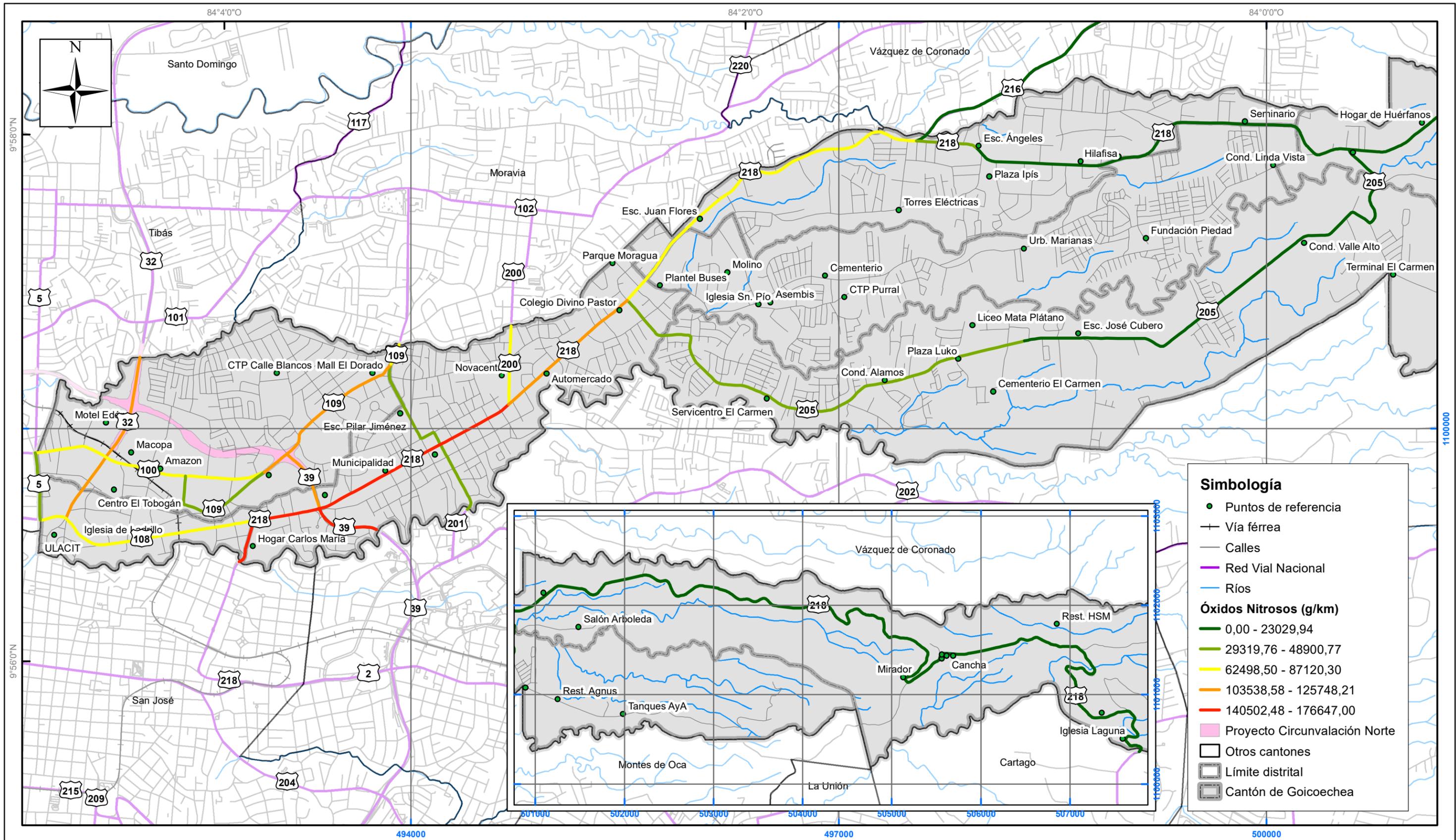
Mapa 11.2. Cantidad estimada de emisiones de Monóxido de Carbono en las rutas nacionales de Goicoechea.

Plan Regulador Cantonal de Goicoechea

Fuentes:
ProDUS, 2019; SNIT, 2019

0 250 500 1 000 m
Escala 1:25 000
Proyección CRTM05





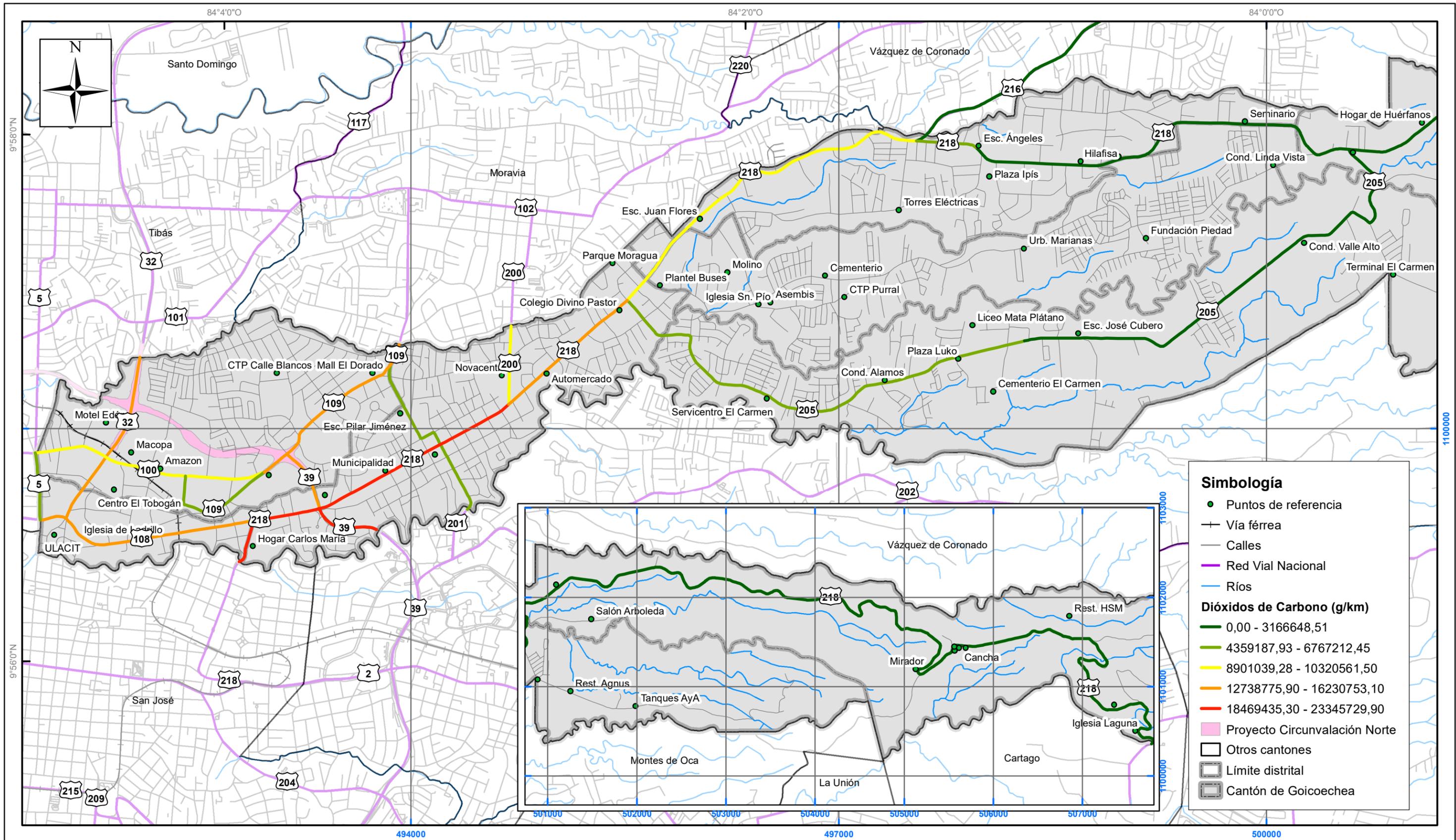
Mapa 11.3. Cantidad estimada de emisiones de Óxidos Nitrosos en las rutas nacionales de Goicoechea.

Plan Regulador Cantonal de Goicoechea

Fuentes:
ProDUS, 2019; SNIT, 2019

0 250 500 1 000 m
Escala 1:25 000
Proyección CRTM05





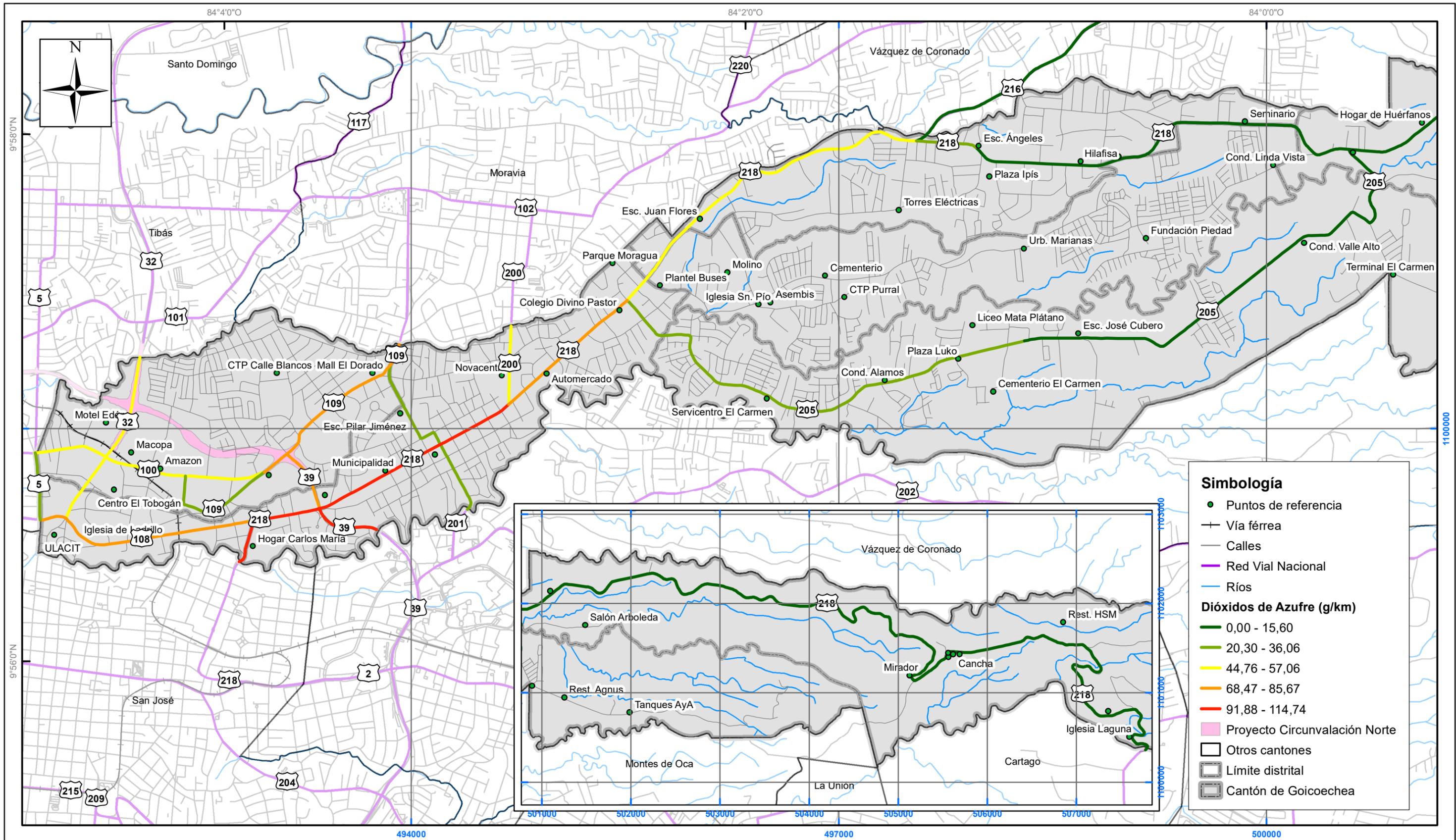
Mapa 11.4 Cantidad estimada de emisiones de Dióxido de Carbono en las rutas nacionales de Goicoechea.

Plan Regulator Cantonal de Goicoechea

Fuentes:
ProDUS, 2019; SNIT, 2019

0 250 500 1 000 m
Escala 1:25 000
Proyección CRTM05





Mapa 11.5 Cantidad estimada de emisiones de Dióxido de Azufre en las rutas nacionales de Goicoechea.

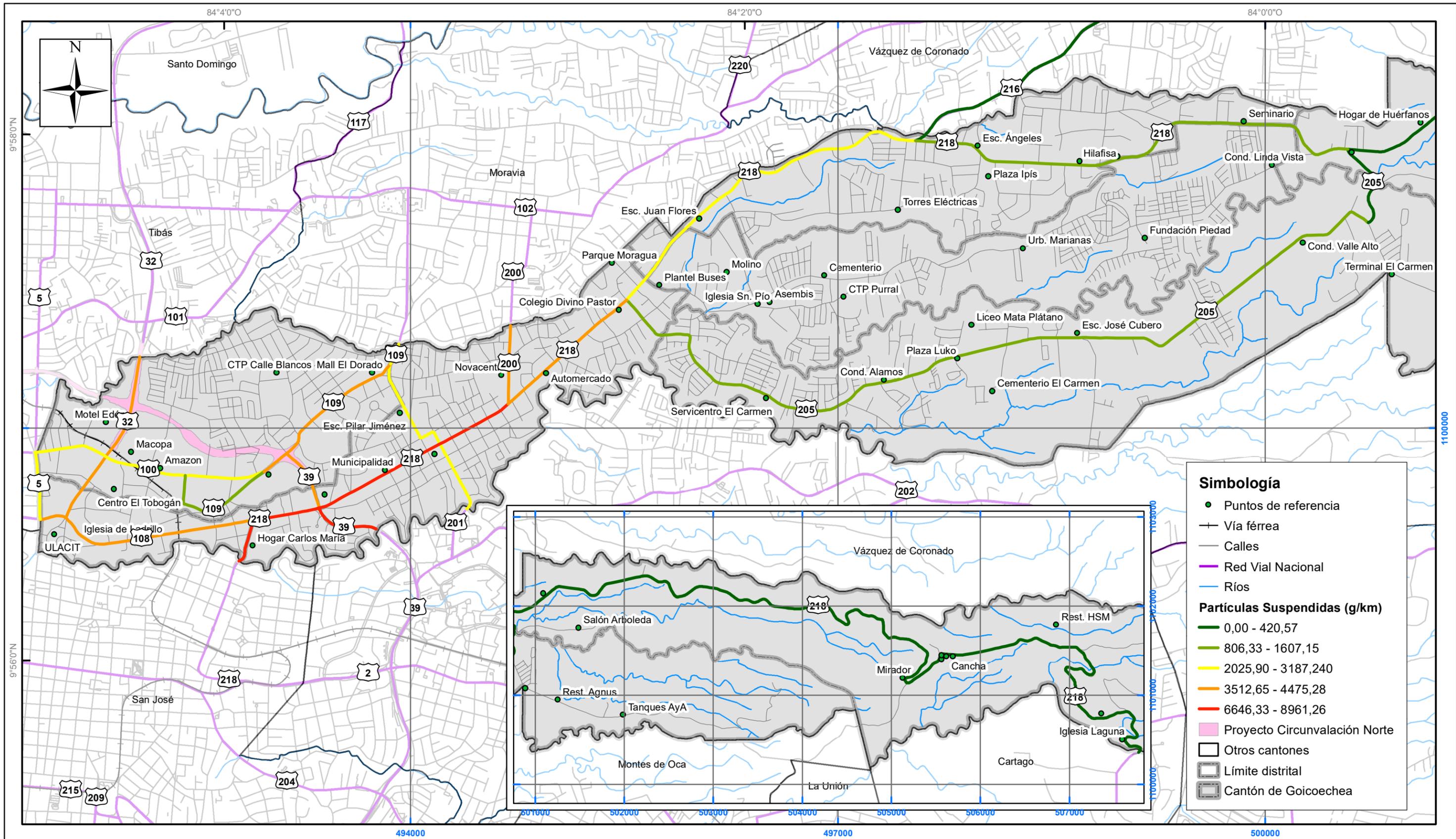
Plan Regulador Cantonal de Goicoechea

Fuentes:
ProDUS, 2019; SNIT, 2019

0 250 500 1 000 m

Escala 1:25 000

Proyección CRTM05



Mapa 11.6. Cantidad estimada de emisiones de Partículas Suspensas en las rutas nacionales de Goicoechea.

Plan Regulador Cantonal de Goicoechea

Fuentes:
 ProDUS, 2019; SNIT, 2019

0 250 500 1 000 m
 Escala 1:25 000
 Proyección CRTM05





5. Referencias

Decreto Ejecutivo: 39951 del 09/08/2016 Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio. En línea. Disponible en: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=82827&nValor3=106098&nValor5=2

Herrera, J. 2011. Inventario de emisiones de contaminantes criterio de Costa Rica en 2011. Revista Ciencias Ambientales 48. pp 4-11.

Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). 2016. Informe de calidad del aire de la GAM 2013-2015. 74 p.

Vega Zúñiga, A. (2013). *Análisis de Emisiones de Gases en el Área Metropolitana de San José y alrededores*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.