

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN CIENCIAS FORESTALES
CON ÉNFASIS EN MANEJO FORESTAL**

**PROPUESTA DE ZONIFICACIÓN AMBIENTAL DEL CERRO LA
TRINIDAD Y SAN PEDRO, SAN MARCOS, TARRAZÚ, COSTA RICA.**

**Trabajo final de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la
Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal**

Modalidad: Proyecto de graduación

STEPHANIE PAOLA CASTILLO-HERRERA

Heredia, Costa Rica

Noviembre, 2022

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional de Costa Rica, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

.....

Dra. Grace Wong
Decana de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

.....

Ph. D. Pablo Ramírez Granados
Dirección de la Escuela de Ciencias Ambientales

.....

Lic. Maikel Gamboa Valverde
Tutor

.....

MSc. María Álvarez Jiménez
Lectora

.....

MSc. Ronald Miranda Chavarría
Lector

.....

Stephanie Castillo Herrera
Postulante del trabajo

Dedicatoria

Con el gesto más sincero de gratitud dedico el presente,

A Dios,

Por ser mi guía e inspiración en este camino, mi refugio en medio de las tribulaciones y mi soporte cuando fui débil, gracias a su infinito amor y misericordia es que pude culminar con éxito este proceso. Todo lo que hago y lo que soy se lo debo a Él.

A mis padres,

Por ser un pilar fundamental en mi vida, por haberme traído a este mundo, inculcarme buenos valores y brindarme tanto apoyo y amor. Personas incondicionales que han seguido mis pasos y se han mantenido cerca para respaldarme.

A mis hermanos,

Por ser otro pilar de mi vida, mis compañeros, mis amigos, por estar siempre cerca de mí. Mi vida está completa porque los tengo en ella.

A mis abuelos,

Por ser fuente de inspiración, por mostrarme su amor de la forma más sincera, cada consejo recibido hace de mí una mejor persona, y estaré eternamente agradecida.

A mi tía Elsita,

Me enseñaste lo que realmente significa perseverar y luchar hasta el final, a ser fuerte, a no rendirse a pesar de lo difíciles que pueden ser las circunstancias que atravesamos, fuiste y serás una inspiración en mi vida, nunca podré agradecer lo suficiente por cada consejo, cada muestra de amor, te extraño y te amaré por siempre.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional de Costa Rica por permitirme realizar mi formación en ella, a la Municipalidad de Tarrazú por abrirme las puertas y apoyarme en el desarrollo del proyecto.

A cada uno de los profesores que fueron parte del proceso de aprendizaje y crecimiento, principalmente un fuerte agradecimiento a mis lectores M. Sc. Ronald Miranda Chavarría y M. Sc. María Álvarez Jiménez por acompañarme, guiarme y aconsejarme en todo el proceso, siempre estaré genuinamente agradecida. A mi tutor Lic. Maikel Gamboa por permitirme formar parte del proyecto y acompañarme en cada etapa del mismo, por cada consejo y el apoyo mostrado, gracias.

De la forma más sincera agradezco a mi familia por su apoyo incondicional, por animarme a seguir adelante e impulsarme a cumplir mis sueños. Sus palabras de ánimo, sus gestos de cariño fueron suficientes para no rendirme, siempre estaré agradecida por tenerlos.

Al que ha forjado mi camino y me ha dirigido por el camino correcto, a Dios, el que en todo momento está conmigo, quien es guía del destino de mi vida.

Resumen

La carencia de mecanismos de ordenamiento de las tierras ha llevado a que zonas como Tarrazú presenten una incorrecta gestión de su territorio. El avance de la frontera agrícola ha generado el deterioro del paisaje natural de la zona como resultado del cambio de uso de la tierra extensivo y la muy poca aplicación de prácticas de producción sostenibles. La zonificación ambiental como instrumento de planificación y gestión territorial viene a generar limitaciones de uso, basándose en una clasificación que engloba la protección de los recursos, su grado de vulnerabilidad e importancia para el desarrollo de la sociedad. El estudio presenta una metodología novedosa, para la delimitación de las categorías de conservación del cerro La Trinidad y San Pedro, Tarrazú, Costa Rica, con el fin de definir las zonas dedicadas a la protección o al desarrollo de actividades productivas según su nivel de impacto. Dicha delimitación se realizó mediante procesos de análisis espacial, tomando como base la aplicación de un análisis multicriterio, proceso que permite identificar diversas soluciones ante un problema, utilizando los subcriterios uso de la tierra (actual), agua superficial, agua subterránea, zonas de protección, rangos altitudinales, % de inclinación y riesgo por remoción de masa como datos de partida. El proceso de zonificación y su análisis multicriterio permitió delimitar el cerro La Trinidad en cuatro categorías de conservación, obteniendo un 88.9% del territorio la categoría restringida (0) seguido de un 0.03% para alta conservación, 9.8% media y 1.2% baja conservación. Para San Pedro el resultado fue un 86.7% en la categoría 0, un 0.85% en media y 12.3% para baja conservación. En ambos casos es la clase restringida la que abarcó la mayor parte del territorio.

Contenido

1. Introducción	11
2. Objetivo general	13
3. Marco teórico	14
3.1 Expansión agrícola	14
3.2 Recursos naturales y su manejo integrado en Costa Rica	15
3.3 Zonificación ambiental como herramienta para el ordenamiento territorial	16
3.4 Factores determinantes en los procesos de zonificación	17
3.5 Ordenamiento del territorio: problemáticas ligadas a la falta de mecanismos de zonificación	18
3.6 Ecología del paisaje: unidades de paisaje como herramientas de gestión territorial.....	19
3.7 Estudios de zonificación ambiental realizados en el país.....	21
4. Metodología	22
4.1 Área de estudio.....	22
4.2 Caracterización de los aspectos biofísicos, socioeconómicos y ambientales de los cerros La Trinidad y San Pedro.....	25
4.2.1 Determinación de las variables de la caracterización biofísicas, socioeconómicas y ambientales.....	25
4.2.1.1 Variables biofísicas	25
4.2.1.2 Variables socioeconómicas	26
4.2.1.3 Variables ambientales	26
4.2.2 Recopilación de información.....	27
4.3 Propuesta de zonificación ambiental.....	27
4.3.1 Estructura de análisis multicriterio.....	28
4.3.2 Elaboración de mapas de acuerdo con la variable (subcriterio) definido.....	31
4.3.2.1 Mapa uso actual de la tierra.....	31
4.3.2.2 Mapa áreas de las áreas de protección.....	31
4.3.2.3 Mapa de elevación y pendiente	32
4.3.2.4 Mapa agua superficial	33
4.3.2.5 Mapa agua subterránea.....	34
4.3.2.6 Mapa temperatura y precipitación.....	34
4.3.2.7 Mapa de riesgos por remoción de masa	34
4.3.3 Elaboración de mapa de zonificación ambiental	35
4.3.3.1 Superposición ponderada	37
4.3.4 Propuesta de actividades a desarrollar según categoría de conservación (zonificación) obtenida	38
5. Resultados y discusión	38

5.1 Caracterización biofísica, socioeconómica y ambiental.....	38
5.1.1 Caracterización biofísica	38
5.1.1.1 Cerro La Trinidad, Tarrazú	38
5.1.1.1.1 Agua superficial y subterránea.....	38
5.1.1.1.2 Altitud y pendiente	41
5.1.1.1.3 Precipitación y temperatura.....	42
5.1.1.1.4 Uso del suelo	43
5.1.1.1.5 Zonas de vida	47
5.1.1.1.6 Tipos de suelo.....	49
5.1.1.1.7 Tipos de bosque y vegetación	50
5.1.1.1.8 Subcuenca y microcuenca	51
5.1.1.1.9 Riesgo.....	52
5.1.1.2 Cerro San Pedro, Tarrazú	53
5.1.1.2.1 Agua superficial y subterránea	53
5.1.1.2.2 Altitud y pendiente	54
5.1.1.2.3 Precipitación y temperatura.....	55
5.1.1.2.4 Usos del suelo.....	57
5.1.1.2.5 Zonas de vida	61
5.1.1.2.6 Tipo de suelos.....	61
5.1.1.2.7 Tipos de bosque y vegetación	62
5.1.1.2.8 Subcuenca y microcuenca	63
5.1.1.2.9 Riesgo.....	63
5.1.2 Caracterización socioeconómica	65
5.1.2.1 Población.....	65
5.1.2.2 Principales actividades económicas	67
5.1.2.3 Fuentes de empleo.....	67
5.1.2.4 Organizaciones locales	67
5.1.2.5 Percepción respecto a actividades económicas que se desarrollan en los cerros La Trinidad y San Pedro.....	68
5.1.2.6 Beneficios percibidos de la conservación de los cerros	68
5.1.2.7 Actividades económicas propuestas para ser implementadas en los cerros	69
5.1.2.8 Percepción respecto al valor de los cerros.....	69
5.1.3 Caracterización ambiental	69
5.1.3.1 Bienes y servicios eco sistémicos presentes en el cerro La Trinidad y San Pedro, Tarrazú	70
5.1.3.2 Problemática ambiental del cerro La Trinidad y San Pedro.....	71

5.1.3.3 Acciones de instituciones públicas Municipalidad de Tarrazú, SINAC, Acueductos, en beneficio de la conservación de los recursos naturales del cerro La Trinidad y San Pedro	74
5.2 Propuesta de zonificación ambiental.....	75
5.2.1 Cerro La Trinidad, Tarrazú	75
5.2.2 Cerro San Pedro, Tarrazú.....	79
5.2.3 Propuesta de actividades a desarrollar según categoría de zonificación	82
5.2.3.1 Zonas dedicadas a la conservación de flora y fauna, recarga acuífera, belleza escénica, y otros recursos.....	83
5.2.3.2 Zonas dedicadas a la conservación y al desarrollo de actividades productivas de bajo impacto.....	84
5.2.3.3 Zonas dedicadas al desarrollo de actividades productivas de bajo-mediano impacto, haciendo uso prácticas de manejo y conservación de los suelos y el agua.	85
5.2.3.4 Zonas dedicadas al desarrollo de actividades productivas	86
5.2.4 Papel de las organizaciones locales y gubernamentales en la implementación de la propuesta	87
6.Conclusiones	90
7.Recomendaciones.....	92
8.Referencias bibliográficas	94
9.Apéndices.....	105
Apéndice 1. Resumen de los aspectos biofísicos del cerro La Trinidad y San Pedro, Tarrazú... 106	
Apéndice 2. Delimitación de áreas de protección para cuerpos de agua del cerro La Trinidad, Tarrazú	108
Apéndice 3. Delimitación de áreas de protección para cuerpos de agua del cerro San Pedro, Tarrazú	109
Apéndice 4. Estructura de encuesta para caracterización socioeconómica del cerro la Trinidad y San Pedro.	110
Apéndice 5. Estructura de encuesta para caracterización de situación ambiental del cerro la Trinidad y San Pedro.....	113

Tabla de cuadros

Cuadro 1. Criterios y subcriterios definidos para el proceso de zonificación ambiental.	28
Cuadro 2. Categorización según subcriterio definido para el proceso de zonificación ambiental. ...	28
Cuadro 3. Interpretación de escala de valores asignados en la categorización de los subcriterios. ..	30
Cuadro 4. Valor o peso asignado según subcriterio empleado en el proceso final de zonificación..	30
Cuadro 5. Consideraciones para definir las áreas de protección (Ley forestal 7575, Costa Rica)...	31
Cuadro 6. Procedimiento para definir las áreas de protección de la red de drenajes (ajustada Alfaro,K. 2018).....	32
Cuadro 7. Procedimiento para la generación de mapa de elevación y pendiente.....	33
Cuadro 8. Procedimiento para definir las categorías de vulnerabilidad.....	35

Cuadro 9. Procesamiento de los subcriterios para ser sometidos a la herramienta superposición ponderada.....	36
Cuadro 10. Funcionamiento de superposición ponderada en análisis multicriterio para zonificación ambiental del cerro La Trinidad y San Pedro.....	37
Cuadro 11. Propuesta de actividades según categoría de zonificación generada para el cerro La Trinidad y San Pedro.....	38
Cuadro 12. Concesiones de categoría manantial en cerro La Trinidad, Tarrazú, Costa Rica (SINIGIRTH, 2020).	40
Cuadro 13. Clasificación del uso del suelo en cerro La Trinidad, Tarrazú, Costa Rica.....	43
Cuadro 14. Concesiones de categoría manantial en cerro San Pedro, Tarrazú, Costa Rica (SINIGIRH, 2020).....	54
Cuadro 15. Clasificación del uso del suelo en cerro San Pedro, Tarrazú, Costa Rica.	57
Cuadro 16. Principales bienes y servicios ecosistémicos del cerro la Trinidad y San Pedro.	70
Cuadro 17. Principales problemas ambientales del cerro La Trinidad y San Pedro.	71
Cuadro 18. Extensión de las categorías de conservación del cerro La Trinidad, Tarrazú.....	75
Cuadro 19. Extensión de las categorías de conservación del cerro San Pedro, Tarrazú.	79
Cuadro 20. Propuesta de actividades según categoría de zonificación generada para el cerro La Trinidad y San Pedro.....	82
Cuadro 21. Papel de las organizaciones locales y gubernamentales en la implementación de la propuesta de zonificación ambiental de los cerros La Trinidad y San Pedro, Tarrazú.	87

Tabla de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del cerro La Trinidad, Tarrazú, Costa Rica.	23
Figura 2. Mapa de ubicación del cerro San Pedro, Tarrazú, Costa Rica.	24
Figura 3. Procesamiento de componente agua superficial.	34
Figura 4. Subcriterios de entrada en formato ráster	36
Figura 5. Mapa de agua superficial.....	39
Figura 6. Mapa concesiones de categoría manantial.....	39
Figura 7. Mapa elevaciones cerro La Trinidad, Tarrazú.....	41
Figura 8. Mapa de pendientes cerro La Trinidad, Tarrazú.....	41
Figura 9. Mapa de precipitación cerro La Trinidad, Tarrazú.....	42
Figura 10. Mapa temperatura máxima cerro La Trinidad, Tarrazú.....	42
Figura 11. Mapa temperatura mínima cerro La Trinidad, Tarrazú.....	43
Figura 12. Mapa usos del suelo cerro La Trinidad, Tarrazú	44
Figura 13. Mapa zonificación de café variedad caturra en cerro La Trinidad, según INTA, 2021... 45	45
Figura 14. Mapa zonificación de aguacate Hass en cerro La Trinidad, según INTA, 2021.	45
Figura 15. Áreas de bosque que fueron incluidas en zonificación productiva de café caturra en el cerro La Trinidad, Tarrazú.	46
Figura 16. Mapa de sitios vulnerables a sufrir cambio de uso de suelo en cerro La Trinidad, Tarrazú.....	47
Figura 17. Mapa de zonas de vida cerro La Trinidad, Tarrazú	48

Figura 18. Mapa de tipos de suelo cerro La Trinidad, Tarrazú.....	49
Figura 19. Mapa de tipos de bosque cerro La Trinidad, Tarrazú.....	50
Figura 20. Mapa de vulnerabilidad por remoción de masa cerro La Trinidad, Tarrazú.....	52
Figura 21. Mapa de agua superficial.....	53
Figura 22. Mapa concesiones de categoría manantial.....	53
Figura 23. Mapa elevaciones cerro San Pedro, Tarrazú.....	54
Figura 24. Mapa de pendientes cerro San Pedro, Tarrazú.....	55
Figura 25. Mapa precipitación Cerro San Pedro, Tarrazú.....	56
Figura 26. Mapa temperatura máxima Cerro San Pedro, Tarrazú.....	56
Figura 27. Mapa temperatura mínima Cerro San Pedro, Tarrazú.....	57
Figura 28. Mapa de uso del suelo cerro San Pedro, Tarrazú.....	58
Figura 29. Mapa zonificación de aguacate Hass en cerro San Pedro según INTA, 2021.....	59
Figura 30. Mapa zonificación de café variedad caturra en cerro La San Pedro según INTA, 2021.....	59
Figura 31. Áreas de bosque que fueron incluidas en zonificación productiva de café caturra en el cerro La Trinidad, Tarrazú.....	60
Figura 32. Mapa de sitios vulnerables a sufrir cambio de uso de suelo en cerro San Pedro, Tarrazú.....	60
Figura 33. Mapa zonas de vida cerro San Pedro, Tarrazú.....	61
Figura 34. Mapa de tipos de suelo cerro San Pedro, Tarrazú.....	62
Figura 35. Mapa de tipos de bosque cerro San Pedro, Tarrazú.....	63
Figura 36. Mapa de vulnerabilidad por remoción de masa cerro San Pedro, Tarrazú.....	64
Figura 37. Distribución de la población encuestada según rango de edad.....	65
Figura 38. Distribución de la población encuestada según nivel de escolaridad.....	66
Figura 39. Distribución de la población encuestada según miembros del núcleo familiar.....	66
Figura 40. Cambio de uso del suelo por cultivo de café en cerro La Trinidad, Tarrazú.....	73
Figura 41. Cambio de uso del suelo por cultivo de café en cerro San Pedro, Tarrazú.....	73
Figura 42. Problemática desechos sólidos en cerro La Trinidad, Tarrazú.....	73
Figura 43. Mapa de zonificación ambiental cerro La Trinidad, Tarrazú.....	77
Figura 44. Mapa de zonificación ambiental cerro San Pedro, Tarrazú.....	80

Tabla de apéndices

Apéndice 1. Resumen de los aspectos biofísicos del cerro La Trinidad y San Pedro, Tarrazú.....	106
Apéndice 2. Delimitación de áreas de protección para cuerpos de agua del cerro La Trinidad, Tarrazú.....	108
Apéndice 3. Delimitación de áreas de protección para cuerpos de agua del cerro San Pedro, Tarrazú.....	109
Apéndice 4. Estructura de encuesta para caracterización socioeconómica del cerro la Trinidad y San Pedro.....	110
Apéndice 5. Estructura de encuesta para caracterización de situación ambiental del cerro la Trinidad y San Pedro.....	113

1. Introducción

La esencia de la concepción del desarrollo sostenible, a diferencia de otras aproximaciones al desarrollo, radica en el reconocimiento de los límites ecológicos del planeta (Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina CODS, 2018). En el cual los sistemas económico sociales sustentables han de ser reproducibles más allá del corto plazo, sin el deterioro de aquellos ecosistemas sobre los que se apoya (Fernández y Gutiérrez, 2013).

El ordenamiento territorial constituye una herramienta de planificación y una política de Estado esencial para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Ayala y Márquez, 2022). Pues, a través de este es posible comprender y analizar las dinámicas territoriales, identificar sus potencialidades, conservar el patrimonio natural y cultural, crear comunidades sostenibles y ciudades resilientes, además de disminuir la vulnerabilidad social ante eventos naturales y la incidencia de pandemias (Ayala y Márquez, 2022).

Costa Rica actualmente se enfrenta a procesos coyunturales en la dinámica mundial, en donde los procesos de ordenamiento del territorio cobran importancia estratégica para el desarrollo del país (Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos MIVAH, 2012). Si bien, el país cuenta con un marco normativo muy diverso en esta materia, la variedad de legislación y el desencuentro conceptual entre unas y otras se ha convertido en un obstáculo para la gestión coordinada y expedita del territorio (MIVAH, 2012). Alpízar et al. (2018), mencionan que la falta de una adecuada planificación territorial en Costa Rica impide armonizar el crecimiento económico y el bienestar de la población con el aprovechamiento y conservación del ambiente, además, de que esta problemática actualmente aplica desde las municipalidades hasta los actores privados.

En territorios como la Zona de los Santos las problemáticas de ordenamiento se encuentran ligadas principalmente al avance de la frontera agrícola (café) lo que ha generado un proceso de transformación del paisaje natural de la zona (Ledezma y Granados, 2008).

Específicamente, en el cantón Tarrazú, en los tres distritos, San Marcos, San Lorenzo y San Carlos, esta problemática es ampliamente visible, ya que confluyen zonas actualmente

protegidas de bosque con cafetales, donde se puede observar el ecosistema natural caracterizado por la exuberancia de la flora, alterado notablemente por áreas dedicadas al cultivo de café (Ledezma y Granados, 2008). Datos del INEC señalan que para el año 2006 el área de Tarrazú ocupada por café fue de 212,40 km² mientras que la boscosa constituía 47,36 km², estas cifras ubican al cultivo como el uso de la tierra predominante, ya que el área aproximada del cantón es de 339.44 km².

La predominancia del cultivo y la continua expansión del área plantada o cultivada han contribuido con el deterioro de la cobertura boscosa y del paisaje natural de San Marcos de Tarrazú. Lücke (2014) menciona que el uso inadecuado del territorio produce serios desequilibrios en el ciclo hidrológico de la región, agrava los efectos del cambio climático y aumenta las vulnerabilidades sociales, económicas y ambientales producto de la degradación de los recursos. Ante tal situación surge la necesidad por parte de la Municipalidad de Tarrazú de involucrarse en la problemática, considerando fundamental la aplicación de metodologías de ordenamiento que les permita resguardar los recursos naturales de la zona.

Mediante el presente estudio se propone una alternativa de zonificación del cerro La Trinidad y San Pedro de San Marcos de Tarrazú, que promueve la delimitación de las tierras según las condiciones biofísicas, ambientales y de riesgo que las caracterizan, facilitando la identificación de zonas de riesgo, áreas de prioridad de conservativa, zonas de cultivo, entre otros elementos. Convirtiéndose en un instrumento útil y aplicable para la Municipalidad, Asociaciones de Desarrollo, Asadas, Comités locales u otras

2. Objetivo general

1. Generar un plan de zonificación ambiental como estrategia de ordenamiento territorial para los cerros La Trinidad y San Pedro del cantón Tarrazú, Costa Rica.

Objetivos específicos

- 1.1 Caracterizar los aspectos biofísicos, socioeconómicos y ambientales en los cerros La Trinidad y San Pedro, con el propósito de definir criterios y elementos para promover un adecuado uso y manejo de los recursos.
- 1.2 Realizar la zonificación de áreas en unidades de estudio de acuerdo con variables biofísicas, ambientales y de riesgo para ser utilizado como una herramienta de gestión territorial.

3. Marco teórico

3.1 Expansión agrícola

El crecimiento poblacional y de los hábitos de consumo han generado una ampliación en las extensiones de terreno dedicadas a la producción (Laurence, et al. 2013), este crecimiento, de acuerdo con el aumento del consumo per cápita, requerirá un gran aumento en la cantidad de alimentos y, por ende, una mayor expansión e intensificación de la agricultura tropical (Laurence, *et al.* 2013).

En América Latina, la producción agrícola aumentó su participación en la producción mundial de 10% en 1960 a cerca de 13% en la década de 2000 (Escobar, 2016). Para esta época, la región pasó a ser la mayor exportadora de productos agrícolas (Escobar, 2016). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2015), la expansión de la agricultura durante la próxima década será liderada por América Latina y África, con tasas anuales de crecimiento de 1,8% y 2,4%, respectivamente.

Argentina y Brasil experimentaron la mayor expansión en las áreas de cultivo en los últimos diez años, sumando 100000 y 80000 km² respectivamente, a las tierras de cultivo mundial (FAO 2019). La FAO (2019) menciona que, en el caso del maíz, el área plantada en América Latina tendrá un incremento del 6,6%, pasando de 335,000 km² en el período base 2017 a 357,000 km² en el 2026.

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *et al.* (2017) factores como las condiciones climáticas y el desempeño de los competidores internacionales han generado que productos como el aguacate tuvieran o tengan un mayor crecimiento, aumentando las exportaciones mundiales a una tasa anual promedio de 15 % en la última década.

En Costa Rica, la expansión agrícola se está viendo impulsada por cultivos como la piña, banano, palma aceitera, café, caña de azúcar (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2020). Según datos del INEC (2014), de 93017 fincas agropecuarias censadas, 26527 (28.5%) tuvieron como actividad principal el cultivo de café lo que representó un

3.5% (841,33 km²) del total 24064,18 km². En el caso de la piña, el área sembrada se duplicó entre el 2006 y el 2010, al pasar de 224 a 450 km² (Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG, como se citó en Barquero, 2011).

Específicamente en la Zona de los Santos, la producción de café para los períodos 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021 fue de 809,950, 732,608, 866,611 y 795,124 fanegas respectivamente, y el distrito de San Marcos contribuyó con 93,000, 111,000, 127,000 y 111,426 fanegas aproximadamente (Instituto del Café de Costa Rica ICAFE, 2022, diapositiva 3). Siendo el área plantada en Tarrazú de 21 260,46 km², lo que lo coloca como la principal actividad productiva de la zona (INEC, 2014).

3.2 Recursos naturales y su manejo integrado en Costa Rica

Los recursos naturales pueden definirse como aquellos elementos de la naturaleza que proveen bienes materiales y servicios valiosos para las sociedades humanas que contribuyen a su bienestar y desarrollo de manera directa o indirecta (Comisión Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas, 2008). Estos recursos permiten el desarrollo de los procesos productivos que se basan en su uso, sin embargo, el continuo crecimiento poblacional y aumento exponencial de la demanda ha aumentado su vulnerabilidad y con ello ha traído su deterioro (Antolín, 2010).

Rodríguez, *et al.* (2013) sugieren la protección de la integridad de la naturaleza, al tiempo de garantizar un uso equitativo y sostenible de los recursos naturales, pues de esta forma se puede colaborar en disminuir su vulnerabilidad. Costa Rica ha llevado a cabo esfuerzos en pro de su conservación, estos dieron inicio en diciembre de 1969 cuando se publicó la Ley N.º 4465, primera Ley Forestal del país, siendo esta con base en, que en setiembre de 1970 se establecieron los tres primeros parques nacionales que aún subsisten, Poás, Tortuguero y Cahuita (Expediente N.º 19.937, 2006).

Además, en el país existen diversas iniciativas que buscan promover el manejo integrado de los recursos, tal es el caso de los planes de manejo en bosques (Decreto Ejecutivo N.º 34559-MINAE, 2008), la implementación de los Pagos por Servicios Ambientales (PSA), el modelo de gobernanza de co-manejo en Áreas Silvestres Protegidas (artículo 11 de la

norma N° 26-2014-MINAE), entre otras. Otros esfuerzos se encuentran enfocados en la promoción de técnicas de producción sustentables, que posibilitan el aprovechamiento de los recursos bajo estándares sostenibles, como, por ejemplo, la agricultura de conservación y los sistemas diversificados (agroforestales, silvopastoriles, entre otros) (Verhulst, François y Govaerts, 2015).

Si bien, el país ha realizado grandes esfuerzos, aún es necesario fortalecer las iniciativas y generar nuevos campos de acción, ya que, actualmente la huella ecológica del costarricense representa 8 % más de lo que el territorio es capaz de reponer (O'Neal, 2019).

3.3 Zonificación ambiental como herramienta para el ordenamiento territorial

Los planteamientos de ordenamiento tradicionales se han criticado por alterar sistemas de control del suelo y permitir un mayor papel en la determinación del uso del suelo (Carazo, 2008). Con mecanismos como la zonificación se busca delimitar los territorios en unidades homogéneas, definiendo un diagnóstico que tome en cuenta aspectos biofísicos, socioculturales y económicos, que permitan tener una visión integral del medio, lo que evita caer en la tradicional zonificación sectorial (Pinedo, 2006).

Una variación de la zonificación vigente, como es la zonificación ambiental territorial, adiciona el análisis e incorporación de consideraciones ambientales, en función de la calidad y la salud pública (Carazo, 2008). Carvajal et al. (2018), mencionan que la zonificación se fundamenta en la determinación de la importancia y la sensibilidad ambiental del área, pues busca establecer zonas que conforman espacios claramente delimitados, donde interactúan variables abióticas, bióticas y socioeconómicas, que definen las limitaciones de uso y la protección de los recursos

Es a través de la zonificación ambiental que se pueden generar modelos territoriales con mayor sostenibilidad, que tengan una menor incidencia en el ambiente y que se fundamenten en los principios tanto naturales como sociales de la sostenibilidad (Carazo, 2008).

3.4 Factores determinantes en los procesos de zonificación

Existen diversos factores biológicos, ecológicos, socioeconómicos, legales, institucionales que intervienen en los diferentes componentes del proceso de zonificación SINAC (2018). Para su análisis es determinante contar con suficiente conocimiento sobre la dinámica existente dentro del sitio de análisis y su entorno (SINAC, 2018).

Se requiere la participación de la mayor cantidad posible de variables del medio biofísico y socioeconómico, entre las que destacan el medio biótico, abiótico, uso actual del territorio, entre otras para el desarrollo de una herramienta de ordenamiento como la zonificación ecológica ambiental (Comisión Nacional Permanente Peruana del tratado de Cooperación Amazónica, 1998).

Domínguez *et al.* (2008) elaboraron una zonificación ambiental de la subcuenca bimunicipal del río Aguas Calientes, Nicaragua, en este caso los autores definieron como factores determinantes el uso actual del suelo, la capacidad de uso, el uso potencial, la cobertura y las áreas protegidas.

En el proceso de ordenamiento ambiental de la zona costera del departamento del Atlántico, en el Caribe Colombiano, fueron seleccionados criterios relacionados con representatividad, grado de intervención y función de los ecosistemas, estado actual de la fauna asociada, presencia de riesgos naturales, alteración del equilibrio hídrico, y conflictos de uso como factores determinantes (López *et al.* 2012).

Para el corredor biológico interurbano río María Aguilar, Costa Rica, se construyó con la sobre posición de información de siete indicadores de tipo biofísico y socioeconómico: densidad poblacional, aspectos hídricos, uso de la tierra, divergencia de uso de la tierra, índice de fragilidad ambiental y el índice de estabilidad eco-dinámica (Solano, 2016).

En la Zonificación Agroecológica del cantón de Alvarado, Cartago se aplicó y mejoró el modelo conceptual de la zonificación de aptitud, a partir de un enfoque multidisciplinario, que tomará en consideración, los principios de un esquema de tipos de uso de la tierra, el enfoque socio ecosistémico y de competitividad (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, 2019).

En la zonificación urbana, la asignación de un uso del suelo para cada zona se determinaba mediante un proceso que sopesaba dos factores fundamentales: el uso actual y el uso previsto a futuro, sin embargo, la inclusión en la planificación urbana de los criterios ambientales ha llevado a incluir un tercer factor: la capacidad de la base natural sobre la que se asientan los otros dos factores (Carazo, 2008).

Los factores determinantes de zonificación deben buscar visualizar al territorio de un modo integral, ya que son con frecuencia las miradas unilaterales las que dificultan los procesos de ordenamiento de las tierras (Méndez y Pascale, 2014).

3.5 Ordenamiento del territorio: problemáticas ligadas a la falta de mecanismos de zonificación

La falta de planificación en los procesos de crecimiento urbano y regional han generado una serie de problemáticas como resultado de la poca inclusión ejes transversales como gestión del riesgo y cambio climático (Ruíz, 2016).

Los territorios de Latinoamérica se enfrentan a grandes retos que varían según sean las condiciones de los países y su historia (Giraldo y Zumbado, 2021), sin embargo, comparten la lucha en la búsqueda de crear ciudades resilientes, la protección de las fuentes de agua potable, la reducción del déficit de espacio público y la mejora en los sistemas de movilización masivos de pasajeros por medio del transporte público sostenible (Giraldo y Zumbado, 2021). En México, la carencia de ordenamiento urbano, explica en gran medida la pérdida progresiva del bienestar de sus habitantes, la degradación de su habitabilidad, la depredación del suelo urbano y el desborde de la capacidad de respuesta gubernamental en planificación y atención de la población (Sánchez, 2012).

En los últimos años, Argentina ha vivido una expansión sin igual de cultivos agrícolas hasta llegar a los 18 millones de hectáreas (Luna, 2018). Este crecimiento provocó enfrentamientos con los pueblos originarios, lo que llevó al Gobierno federal a aprobar en 2008 la Ley de Bosques (Luna, 2018). En Colombia, la planificación ha tenido un enfoque mayoritariamente económico, lo que ha traído como consecuencia la existencia de zonas

cuya riqueza natural no se maneja de forma armónica desde una perspectiva sustentable, como es el caso de la zona del Chocó biogeográfico (Hernández, 2010).

Por su parte en Costa Rica, el territorio que comprende la gran área metropolitana, crece continuamente sin mayor planificación, amenazando zonas de protección, territorios rurales y zonas de recarga acuífera, lo que ha generado la aparición de tensiones y conflictos sobre el uso de la tierra. (Sáenz *et al.* 2011). El modelo de desarrollo urbano seguido resulta insostenible desde el punto de vista ambiental, esto sustentado por la no consideración de la protección de acuíferos, los grandes y costosos de movilidad urbana y la ausencia de gestión preventiva de riesgo (Astorga, 2018).

Algunas de las causas del limitado ordenamiento territorial del país son: las debilidades institucionales, las debilidades legales urbano territoriales, la falta de política urbana, la capacidad de coordinación institucional (MIDEPLAN, INVU, MINAET, MIVAHD) y las competencias de conjunción intermunicipal (Alfaro, 2012). Esto a pesar de que el país cuenta con la Política Nacional de Ordenamiento Territorial 2012-2040, la cual fue aprobada por el Consejo del Sector Ordenamiento Territorial y Vivienda en octubre de 2012.

Sin embargo, como respuesta a problemáticas de planificación y gestión territorial, el país ha realizado esfuerzos para el desarrollo e implementación de la Política Nacional de Ordenamiento Territorial (PNOT) 2012 a 2040 (MIVAH, 2012), por medio de la cual se busca que los procesos de ordenamiento cobren una importancia estratégica para el desarrollo del país, incorporando como ejes transversales la gestión del riesgo y cambio climático, enfoque de género y el enfoque de derechos (MIVAH, 2012).

Cualquier modelo de desarrollo económico y social que se adopte genera efectos a nivel espacial, los que se traducen en un ordenamiento del territorio que puede ser coherente o desequilibrado (Méndez y Pascale, 2014).

3.6 Ecología del paisaje: unidades de paisaje como herramientas de gestión territorial

Es fundamental la aplicación de la ecología del paisaje para llevar a cabo un proceso de zonificación, que consiste, en términos generales, en el estudio de los patrones y procesos

básicos que se crean, inducen la formación y transforman en los paisajes (Herrera y Díaz, 2013). Su orientación científica, nutrida de múltiples influencias, permite un conocimiento profundo y holístico de la estructura y dinámica de funcionamiento del paisaje a distintas escalas, lo que resulta de gran utilidad y aplicación directa en procesos de planificación y gestión del territorio (Herrera y Díaz, 2013).

En el marco de la ecología del paisaje se delimitan las unidades paisajísticas (UP), las cuales reúnen en una sola idea todo aquello relacionado con «factores e interrelaciones naturales o humanos» y, también, con aquellas perspectivas de trabajo de carácter territorial (Serrano, 2012). Cada unidad de paisaje posee características particulares que la distinguen del resto y que le otorgan aptitudes que le son propias, estas características condicionan, por ejemplo, el tipo de actividades económicas que pueden desarrollarse en ellas, el nivel de accesibilidad, entre otras (Echeverri, 2016).

De acuerdo con Valdés y Hernández (2018) la unidad de paisaje permite analizar de manera sistémica los procesos presentes y futuros en los subsistemas y la dinámica histórico-evolutiva de sus componentes (ambientales, sociales y económicos), a la vez que asienten trabajar con diferentes escalas de análisis. A esto hacen referencia Mora y Ramírez (2013) quienes mencionan que la complejidad de relaciones existentes en el medio hace necesaria la incorporación de variables sociales y económicas, de manera que la determinación de las UP no debe estar relacionada únicamente a aspectos biofísicos, ya que no sería de utilidad en la planificación.

Otra visión de concepto es el referido por Villegas (2014) el cual hace referencia a las UP como unidades de planificación, pues en su conceptualización territorial se dan como elemento básico para conocer y caracterizar el sistema territorial sobre el que se debe actuar e intervenir. Mazzoni (2014) resalta la necesidad de incluir a los paisajes en las acciones de ordenación del territorio, así como definir políticas encaminadas a su protección, gestión y ordenación.

La evaluación del paisaje es fundamental en la toma de decisiones para la asignación de usos, en donde este recurso determina el sentido para que sea más o menos atractivo su

desarrollo, ya sea en el caso de propuestas de protección, selección de enclaves de vocación turística y recreativa, de mejora o creación de nuevos paisajes (Sánchez *et al.* 2016).

La unidad paisaje como herramienta de ordenamiento permite realizar un análisis complejo sobre los elementos que conforman el área bajo estudio, identificando las características biofísicas presentes, pero, además, comprendiendo el papel del componente social y económico dentro de ellas. Logrando definir así cual es el uso óptimo que debería mantener un sitio específico.

3.7 Estudios de zonificación ambiental realizados en el país

En Costa Rica algunas de sus aplicaciones se han realizado a nivel urbano, de cuencas, microcuencas, corredores biológicos, entre otros.

Mora y Ramírez (2013) elaboraron una propuesta para las microcuencas de los ríos Blanco y Cuipilapa en Bagaces Costa Rica, que buscaba promover una adecuada gestión de los recursos naturales existentes en ambos sitios, realizando para ello un diagnóstico biofísico y ambiental, además, de un análisis de percepción respecto a los terrenos del Centro de Generación Geotérmica Miravalles.

Solano (2016) desarrolló una propuesta de zonificación para el corredor biológico interurbano río María Aguilar, a través de la que se pretendía gestionar, de manera más efectiva, la zona de influencia de este. Carazo (2008) llevó a cabo una investigación enfocada en esquemas de zonificación ambiental para la planificación regional urbana, en la que realizó un recuento general de la evolución del concepto tradicional hacia el ambiental territorial, la macro zonificación y por rendimiento. Además, del planteamiento de un acercamiento metodológico como parte de la estrategia de la Fase III del Plan Nacional de Desarrollo Urbano de Costa Rica.

4. Metodología

4.1 Área de estudio

Los cerros La Trinidad y San Pedro (figura 1 y 2) se ubican en San Marcos (09°39'38" Lat. N y 84°01'23" Long), cabecera del cantón Tarrazú, en la región central de Costa Rica, unos 70 km al sur-suroeste de la capital (Valenciano, 2008). El primero tiene una extensión de 5,8 km² y el segundo de 4,01 km² aproximadamente. El cantón de Tarrazú fue creado por el decreto ejecutivo No 30 del 7 de agosto de 1868 km² y está compuesto por los distritos San Marcos, San Lorenzo y San Carlos (Valenciano, 2008). La población según el Censo del 2011 es de 16280 habitantes.

Cerro La Trinidad, Tarrazú, Costa Rica

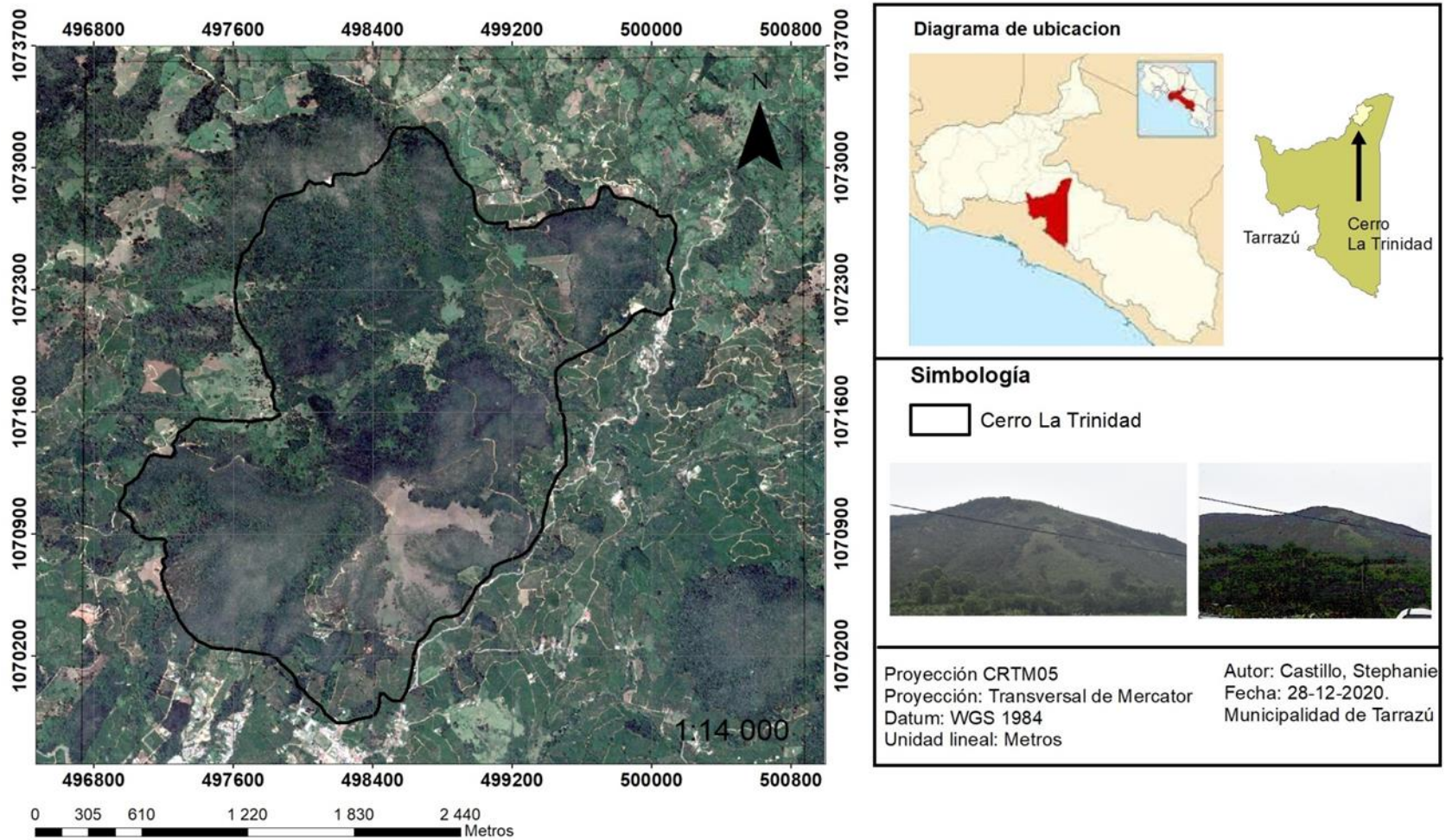


Figura 1. Mapa de ubicación del cerro La Trinidad, Tarrazú, Costa Rica.

Cerro San Pedro, Tarrazú, Costa Rica.

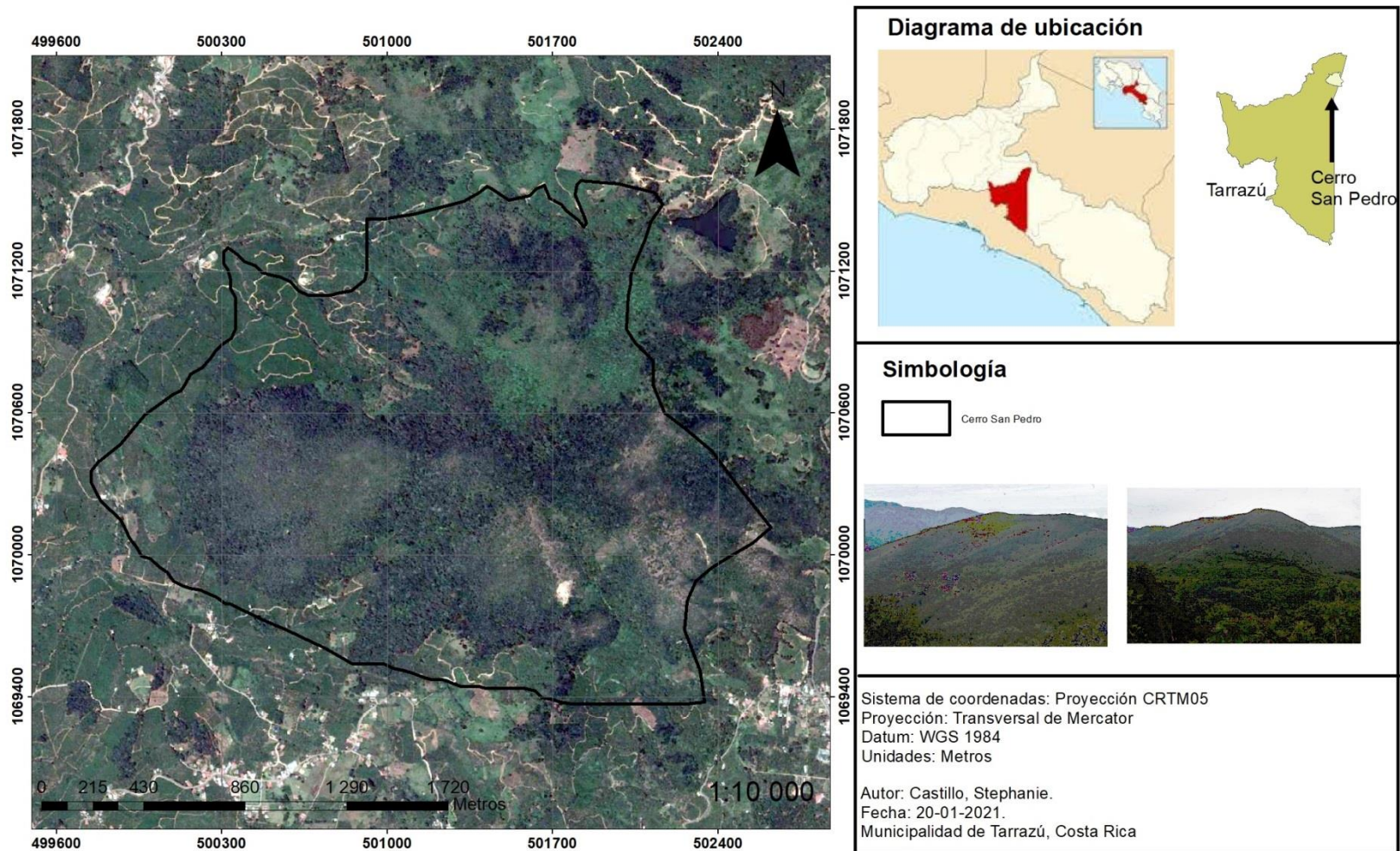


Figura 2. Mapa de ubicación del cerro San Pedro, Tarrazú, Costa Rica.

4.2 Caracterización de los aspectos biofísicos, socioeconómicos y ambientales de los cerros La Trinidad y San Pedro.

Se buscó por medio de la caracterización biofísica y ambiental determinar el estado actual de los recursos de los cerros bajo análisis. Asimismo, por medio de la caracterización socioeconómica el conocer la composición de los poblados cercanos a las áreas de interés. La forma de obtención de los datos necesarios para cada caracterización se detalla en el apartado **4.2.2**.

Para la selección de cada criterio o indicador caracterizado se tomaron en cuenta los siguientes aspectos (Winograd, 1995):

- La disponibilidad y calidad de los datos
- La aplicación y conexión con los problemas analizados
- La cobertura geográfica
- La importancia para el análisis
- La posibilidad de relacionarlos con la sustentabilidad o no sustentabilidad del desarrollo
- El juicio personal que permita interrelacionar los diferentes niveles y escalas utilizados en el presente trabajo

4.2.1 Determinación de las variables de la caracterización biofísicas, socioeconómicas y ambientales

Se utilizó para su desarrollo la metodología de Faustino y Chaves (2015), ya que esta se encuentra bien detallada y ha sido previamente empleada en diversos estudios en el país. La selección de las variables también estuvo sujeta a la disponibilidad de información de los cerros bajo estudio y al alcance e interés del proyecto.

4.2.1.1 Variables biofísicas

- a) **Características climáticas:** temperatura, precipitación, brillo solar y vientos.
- b) **Altitud (o elevación):** rangos altitudinales.
- c) **Topografía y pendiente:** tipo de topografía (plana, ondulada, fuertemente ondulada, escarpada, muy escarpada) y rangos de pendiente.
- d) **Suelos:** tipos de suelos predominantes y su extensión

- e) **Uso actual:** clases de uso presentes y su respectiva extensión.
- f) **Zonas de vida:** identificación y descripción según clasificación de Holdridge.
- g) **Vegetación:** principales tipos de vegetación y su respectiva cobertura.
- h) **Cuencas hidrográficas:** subcuenca y microcuenca dentro de la que se localizan.
- i) **Riesgo:** identificación y descripción de las principales amenazas naturales presentes en los cerros bajo estudio.

4.2.1.2 Variables socioeconómicas

- a) **Demografía:** población, composición, miembros por núcleo familiar.
- b) **Educación:** Cantidad de centros educativos según categoría (preescolar, escuelas, colegios, universidad, entre otros).
- c) **Acceso a servicios básicos:** fuentes, acceso, calidad del servicio, entre otros.
- d) **Vivienda:** población con vivienda, tipo de vivienda, entre otros.
- e) **Salud y seguridad social:** servicios de salud, acceso, entre otros.
- f) **Infraestructura vial y transporte:** estado de vías, medios de transporte, calidad, frecuencia de servicio, entre otros.
- g) **Actividades productivas:** principales actividades productivas, unidad de producción, mercado, entre otros.
- h) **Empleo:** tipo de empleo, ingreso, principales fuentes de empleo de la zona.
- i) **Organización local:** organizaciones existentes, funciones e involucramiento de la población.
- j) **Percepción respecto al valor de los cerros:** en este apartado se buscará identificar los factores más relevantes para los pobladores en cuanto al valor emocional o afectivo que tienen los cerros sujetos a estudio.

4.2.1.3 Variables ambientales

- a) **Recursos naturales:** estado y grado de protección.
- b) **Problemáticas:** principales problemáticas presentes y sus posibles efectos.
- c) **Organizaciones de carácter ambiental:** tipo, acciones a favor del medio ambiente

4.2.2 Recopilación de información

La caracterización biofísica se llevó a cabo por medio del uso de información secundaria, realizando una búsqueda de material bibliográfico en revistas, tesis, artículos científicos, libros, además, del empleo de herramientas como el Atlas (TEC 2014) para la obtención de información geográfica digital, el Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRTH), y el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). También se utilizó información primaria, a través de consultas y solicitud de datos a funcionarios de entes como el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Municipalidad de Tarrazú, entre otros. La información requerida para la caracterización socioeconómica, se obtuvo a través de información primaria, por medio de la aplicación de una encuesta (**Apéndice 4**). Finalmente, la caracterización de la situación ambiental se llevó a cabo en dos etapas, primeramente, la aplicación de una encuesta (**Apéndice 5**) a representantes de instituciones con competencias ambientales de la zona, para la obtención de datos en relación con las problemáticas ambientales, así como su percepción respecto a las mismas. Posteriormente, se realizó la respectiva validación mediante recorridos de campo, en donde se identificaron las problemáticas y se evidenció cada una de estas.

4.3 Propuesta de zonificación ambiental

El proceso de zonificación se llevó a cabo por medio de la aplicación de un análisis multicriterio, el cual proporciona un enfoque sistemático para clasificar las opciones de adaptación frente a múltiples criterios de decisión. Estos criterios son ponderados para reflejar su importancia en relación con otros, abriendo un marco de toma de decisiones adecuado para resolver problemas con muchos cursos de acción alternativos.

Por medio de esta herramienta y su proceso analítico se pueden obtener las opciones más viables para la cobertura de una problemática, utilizando principalmente variables cartográficas como datos de partida.

La estructura del análisis e información requerida se detalla en el siguiente apartado.

4.3.1 Estructura de análisis multicriterio

La selección de criterios y subcriterios están enmarcados en el planteamiento teórico multiobjetivo y multicriterio y a la aplicabilidad a la resolución de problemas medioambientales y territoriales mediante el uso de los sistemas de información geográfica, elaborado por Santos (1997).

Al realizar un análisis multicriterio es fundamental conocer con anterioridad el fenómeno que se encuentra bajo estudio, de esta forma la selección de los criterios irá en función del cumplimiento de objetivos determinantes para la investigación. El cuadro número **1, 2, 3** y se representan los criterios y subcriterios definidos, su categorización y la escala de análisis empleada.

Cuadro 1. Criterios y subcriterios definidos para el proceso de zonificación ambiental.

Criterio	Subcriterio	Código
Suelo	1. Uso del suelo (actual)	1. U. S
Hidrología	1. Agua superficial	1. A.S
	2. Agua subterránea	2. A.SB
	3. Zonas de protección	3. Z. P
Altitud	1. Rangos altitudinales	1. A
Pendiente	1. % inclinación	1. P
Precipitación	1. Precipitación mensual	1. P. R
Temperatura	1. Temperatura °C	1. T
Riesgo	1. Remoción de masa	1. R.M

Cada subcriterio fue categorizado según el sitio analizado; en el cerro La Trinidad fue establecida una escala de cuatro categorías, mientras que para el cerro San Pedro fueron definidas 3 (cuadro 2). Esta escala representa la base para el proceso de zonificación de los sitios, pues se evalúan variables distintas con escalas idénticas. La interpretación es de orden descendente, es decir, a menor valor el grado de conservación aumenta o viceversa (cuadro 3).

Cuadro 2. Categorización según subcriterio definido para el proceso de zonificación ambiental.

Criterio	Subcriterio	Categorización por subcriterio	
		Cerro La Trinidad	Cerro San Pedro
Suelo	Uso del suelo (actual)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zonas de bosque 2. Zonas desprovistas de vegetación 3. Zonas de pasto 4. Zonas de cultivo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zonas de bosque 2. Zonas desprovistas de vegetación 3. Zonas de cultivo
Hidrología	Agua superficial	<ol style="list-style-type: none"> 1. 15 metros (rango distancia de las fuentes) * 2. 15-50 metros 3. 50-300 metros 4. >300 metros 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 50 metros 2. 50-300 metros 3. >300 metros
Hidrología	Agua subterránea	<ol style="list-style-type: none"> 1. 100 metros (rango distancia de las fuentes) * 2. 100-300 metros 3. 300-500 metros 4. >500 metros 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 100 metros 2. 100-500 metros 3. >500 metros
Hidrología	Zonas de protección	<ol style="list-style-type: none"> 1. 100 metros (rango distancia de las fuentes) * 2. 200-300 metros 3. 300-600 metros 4. >600 metros 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 100 metros 2. 100-600 metros 3. >600 metros
Altitud	Rangos altitudinales	<ol style="list-style-type: none"> 1. >2000 msnm 2. 1900-2000 msnm 3. 1800-1900 msnm 4. <1800 msnm 	<ol style="list-style-type: none"> 1. >2000 msnm 2. 1800-2000 msnm 3. <1800 msnm
Pendiente	% inclinación	<ol style="list-style-type: none"> 1. >50% 2. 30-50 % 3. 15- 30% 4. 0-15 % 	<ol style="list-style-type: none"> 1. >50% 2. 30-50 % 3. 0-30 %
Riesgo	Remoción de masa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Riesgo muy alto 2. Riesgo alto 3. Riesgo medio 4. Riesgo bajo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Riesgo alto 2. Riesgo medio 3. Riesgo bajo

Notas: ¹Los criterios precipitación y temperatura fueron excluidos del análisis final, pues la información fue obtenida de bases de datos de estaciones meteorológicas que abarcaban una extensión de terreno muy amplia, por lo que la variabilidad en los sitios bajo estudio fue casi nula.

²El subcriterio zonas de protección fue categorizado bajo el criterio de hidrología junto con los subcriterios agua superficial y subterránea, ya que estos lo abarcan.

Cuadro 3. Interpretación de escala de valores asignados en la categorización de los subcriterios.

Valor	Interpretación escala	
	Cerro La Trinidad	Cerro San Pedro
1	Muy alta conservación	Muy alta conservación
2	Alta conservación	Media conservación
3	Media conservación	Baja conservación
4	Baja conservación	

Como etapa final, a cada subcriterio le fue asignado un valor o peso, según su grado de relevancia para el proceso de zonificación y la respectiva clasificación de los sitios según su uso óptimo (cuadro 4). Este proceso se detalla en el apartado **4.3.3** Elaboración de mapa de zonificación ambiental.

Cuadro 4. Valor o peso asignado según subcriterio empleado en el proceso final de zonificación.

Criterio	Subcriterio	Peso (%)
Suelo	2. Uso del suelo (actual)	20
Hidrología	4. Agua superficial	20
	5. Agua subterránea	25
Altitud	2. Rangos altitudinales	10
Pendiente	2. % inclinación	10
Riesgo	2. Remoción de masa	15
Total		100%

4.3.2 Elaboración de mapas de acuerdo con la variable (subcriterio) definido

4.3.2.1 Mapa uso actual de la tierra

Se procedió a segmentar de forma detallada cada uno de los usos del suelo presentes en el área bajo análisis, por medio de imágenes satelitales obtenidas en el sistema Google Earth para posteriormente realizar una vectorización de cada categoría encontrada. Para validar el mapa generado de forma preliminar, se realizaron recorridos de campo, con el fin de obtener información que represente la realidad del sitio.

4.3.2.2 Mapa áreas de las áreas de protección

Su determinación está basada en lo estipulado por la Ley Forestal (N° 7575) en el artículo 33 referente a ríos y quebradas.

Cuadro 5. Consideraciones para definir las áreas de protección (Ley forestal 7575, Costa Rica).

Área de protección	Pendiente	Zona de Amortiguamiento o protección
AP de ríos y quebradas (afluentes)	Superior a 40%	Una franja de 50 metros, medida horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos.
AP de ríos y quebradas (afluentes)	Inferior a 40%	Una franja de 15 metros, medida horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos en zonas rurales. Una franja de 10 metros, medida horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos en zonas urbanas.

Para su delimitación se utilizó un mapa de pendientes con dos rangos ($\geq 40\%$ y $< 40\%$), desarrollado mediante un modelo de elevación digital, en el software ArcMap 10.5. Consecuentemente, fueron establecidas las zonas de amortiguamiento o influencia con herramientas de geo procesamiento. De acuerdo con la metodología establecida por Alfaro, K. (2018) a partir del vector lineal (afluentes) se crea un vector poligonal (zona de amortiguamiento) abarcando una distancia horizontal de 10, 15 y 50 m a ambos lados. Posteriormente siguiendo con la conversión de las capas obtenidas (uso actual de la tierra, pendientes y zonas de amortiguamiento) a formato ráster, fue empleada el álgebra de mapas, con sus respectivas sentencias de operadores booleanos (O) y operadores relacionales ($<$, \leq , $>$, \geq , $==$, $=$) procediendo así finalmente a generar las AP de la red de drenajes (Cuadro 6).

Cuadro 6. Procedimiento para definir las áreas de protección de la red de drenajes (ajustada Alfaro, K. 2018).

Insumos	Procedimiento	Producto
Buffer10.grid UsoActual.grid	Sentencia de operadores en álgebra de mapas: $((\text{"UsoActual"} == \text{urbano}) \& (\text{"Buffer10"} == 1))$	Área de protección de 10 metros (AP10.grid)
Buffer15.grid UsoActual.grid	Sentencia de operadores en álgebra de mapas: $((\text{"UsoActual"} == \text{cultivo_permanente}) (\text{"UsoActual"} == \text{agrove_cult}) \& (\text{"Buffer15"} == 1))$	Área de protección de 15 metros (AP15.grid)
Buffer50.grid Pend40.grid	Sentencia de operadores en álgebra de mapas: $((\text{"Pend40"} == 1) \& (\text{"Buffer50"} == 1))$	Área de protección de 50 metros (AP50.grid)
AP10.grid AP15.grid AP50.grid	Cada insumo ráster se transforma a formato shape (.shp), mediante la herramienta de conversión de ráster a entidad	AP10.shp AP15.shp AP50.shp
AP10.shp AP15.shp AP50.shp	Todos los insumos en formato shape (.shp) son fusionados y disueltos, a manera de obtener un único polígono correspondiente a las AP. Esto se llevó a cabo mediante el uso de la herramienta de geoprocésamiento “fusionar entidades”, primeramente, y luego el uso de la herramienta de geoprocésamiento “disolver”.	Shape de áreas de protección (AP.shp)

4.3.2.3 Mapa de elevación y pendiente

Ambas variables se obtuvieron a través de un Modelo Digital de Elevaciones DEM, haciendo uso de herramientas de análisis espacial de los Sistemas de Información

Geográfica (SIG), específicamente ArcMap 10.5 (cuadro 7). Los rangos de pendiente establecidos fueron delimitados según el Decreto N.º 23214-MAG-MIRENEM, aplicando los parámetros de evaluación, que incluyen los siguientes rangos: 0-3, 3-8, 8-15, 15-30, 30-50, 50-75 y >75%.

Cuadro 7. Procedimiento para la generación de mapa de elevación y pendiente

Insumos	Procedimiento	Producto
Curvas de nivel 1:50000	A partir de las curvas de nivel se crea un TIN, mediante la herramienta de gestión de datos	Archivo TIN
Archivo TIN	El TIN es convertido a formato ráster, mediante la herramienta de conversión de TIN a ráster , definiendo el valor de la celda cada 10 metros.	DEM (modelo de elevación digital) o mapa de elevación
Archivo DEM	El DEM es convertido a pendiente (%), por medio de la herramienta de análisis espacial surface-slope .	Ráster_pendiente
Ráster_pendiente	Los valores del ráster son reclasificados mediante la herramienta de análisis espacial reclasificar , aplicando los rangos: 0-3, 3-8, 8-15, 15-30, 30-50, 50-75 y >75%.	Ráster_pendiente_reclasificada
Ráster_pendiente_reclasificada	La Pendiente_reclasificada es convertida a formato vectorial o polígono: herramienta de conversión ráster a polígono	Pendiente.shp
Pendiente.shp	En tabla de atributos se reclasifica campo "GRIDCODE" ¹ Rango 1= "0-3", 2= "3-8", 3= "8-15", 4= "15-30", 5= "30-50", 6= "50-75" y 7= ">75".	Pendiente_reclasificada.shp

Nota ¹ Una TIN es una red irregular de triángulos (TIN) basada en vectores utilizada para representar la morfología de una superficie (Esri, 2021).

² Un ráster consiste en una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información (Esri, 2021).

4.3.2.4 Mapa agua superficial

El desarrollo del mapa se trabajó con la base de datos del Atlas 2014, específicamente la capa ríos 1:50000, consecuentemente se llevó a cabo un proceso de depuración y clasificación de datos con el software ArcMap 10.5. Primero unificando cada uno de los afluentes fraccionados en 2 o más partes, para posteriormente clasificarlos según categoría: ríos principales, ríos secundarios, quebradas (figura 3).



Figura 3. Procesamiento de componente agua superficial.

4.3.2.5 Mapa agua subterránea

Fue consultado para la obtención de datos sobre zonas de captación (manantiales), caudales concesionados y demás información pertinente, el Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico SINIGIRTH, (2021) específicamente la capa “DA_CONCESIONES”. Una vez identificados los puntos ubicados dentro del área de interés, se procedió a digitalizarlos (ARCMAP), para ser utilizados como indicadores de áreas de recarga y fuentes de abastecimiento.

4.3.2.6 Mapa temperatura y precipitación

Se utilizó para su desarrollo información proveniente de Global Weather Data for SWAT, empleando para ambas variables (precipitación, rango temperatura mínima y máxima promedio) datos diarios dentro del periodo 2004-2014.

4.3.2.7 Mapa de riesgos por remoción de masa

Se utilizaron para su elaboración las capas previamente obtenidas (uso del suelo, tipo de suelo, altitud y pendiente). A cada categoría que las compone, le fue establecido a criterio del profesional un código (1-4) en la tabla de atributos, que representa su condición o grado

de vulnerabilidad, siendo 1 baja y 4 la más alta. Posteriormente haciendo uso de la caja de herramientas del software ArcMap 10.5 se realizó una reclasificación de las capas en intervalos iguales (4 clases). Siguiendo con la conversión de estas a formato ráster, utilizando el código previamente asignado. Finalmente por medio del empleo de la calculadora ráster, con sus respectivas sentencias de operadores booleanos (O) y operadores relacionales (<, <=, >, >=, ==, !=) se procedió a generar el mapa de riesgo (cuadro 7). Para el caso del cerro San Pedro el código asignado fue 1-3, conservando la escala ascendente de evaluación.

Cuadro 8. Procedimiento para definir las categorías de vulnerabilidad.

Insumos	Procedimiento	Producto
Altitud_Raster Pendiente_Raster Tipodesuelo_Raster Usosuelo_Raster	$((\text{Pendiente_Raster} * 0.25) + (\text{Altitud_Raster} * 0.10) + (\text{Tipodesuelo_Raster} * 0.10) + (\text{Usosuelo_Raster} * 0.55))$	Rastercalc.tif

Este modelo representa el riesgo a deslizamientos por remoción de masa en condiciones normales, suelos secos o en capacidad de campo, es decir con contenido normal de humedad. Este comportamiento podría variar si se evalúa el componente precipitación, ya que este es considerado un disparador de movimientos de masa. Sin embargo, ajustándose a los datos disponibles fue generado un mapa de riesgo de remoción de masa en seco.

4.3.3 Elaboración de mapa de zonificación ambiental

La zonificación ambiental se realizó utilizando la superposición ponderada en análisis multicriterio, usando como datos de entrada el subcriterio uso del suelo, rangos altitudinales, pendiente, agua superficial, agua subterránea y riesgo por remoción de masa. De cada subcriterio fue generado un archivo en formato ráster (figura 4), el cual fue procesado y categorizado en escalas idénticas para su sometimiento en la herramienta superposición ponderada (cuadro 9).

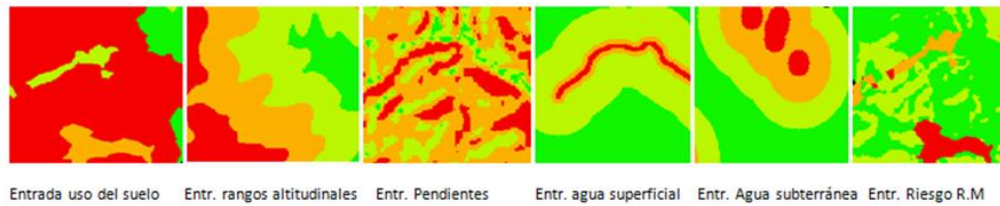


Figura 4. Subcriterios de entrada en formato ráster

Cuadro 9. Procesamiento de los subcriterios para ser sometidos a la herramienta superposición ponderada

Ráster	Procesamiento ArcGIS
Pendiente (% inclinación)	Los valores de pendiente fueron agrupados utilizando la herramienta «Reclasificar» < Equal Interval < 4 clases. Asignando los valores de las clases: 1. >50% 2. 30-50 % 3. 15- 30% 4. 0-15 %
Altitud (Rangos altitudinales)	El DEM (modelo de elevación digital) generado fue agrupado en 4 rangos de elevación: 1. >2000 msnm 2. 1900-2000 msnm 3. 1800-1900 msnm 4. <1800 msnm
Uso del suelo (actual)	El archivo fue clasificado en cuatro categorías de uso: 1. Zonas de bosque 2. Desprovistas de vegetación 3. Zonas de pasto 4. Zonas de cultivo.
Agua subterránea	Para su análisis fue empleada la herramienta < Spatial Analyst < Distance < Euclidian Distance < Reclassify, definiendo las categorías según el rango distancia de los manantiales 1. 100 metros 2. 100-300 metros 3. 300-600 metros 4. >600 metros
Riesgo Remoción masa	En el apartado 4.3.2.7 se detalla la metodología para la generación del ráster o mapa de riesgo. Donde fueron obtenidas las categorías: 1. Riesgo muy alto 2. Riesgo alto 3. Riesgo medio 4. Riesgo bajo

Nota ¹- Cada subcriterio fue categorizado como se detalla en el apartado 4.3.1 Estructura de análisis multicriterio-cuadro 2.

²- Para el cerro San Pedro el procedimiento fue el mismo, únicamente variando el ajuste de los ráster a las 3 categorías definidas.

³- La interpretación de la escala de categorización fue detallado en el apartado 4.3.1-cuadro 3.

4.3.3.1 Superposición ponderada

Por medio de esta herramienta de análisis espacial fueron superpuestos los rásteres con una escala de medición común y ponderados cada uno según su importancia. El funcionamiento de la herramienta se detalla en el cuadro 10.

Cuadro 10. Funcionamiento de superposición ponderada en análisis multicriterio para zonificación ambiental del cerro La Trinidad y San Pedro.

Etapa	Procedimiento
1	Establecimiento de la escala de evaluación definida (4 valores para cerro La Trinidad y 3 cerro San Pedro)
2	Incorporación de cada uno de los ráster a ser superpuestos: Raster_rangos altitudinales Raster_pendientes Raster_agua superficial Raster_agua subterránea Raster_usodelsuelo Raster_riesgoRM
3	En la columna “%Influence” fue agregado el valor previamente definido: Uso suelo= 20% Rangos altitudinales= 10% Pendiente= 10% Agua superficial= 20% Agua subterránea= 25% Riesgo Remoción masa=15% La suma de estos siempre debe ser 100%.
4	La columna “Field” refleja los valores actuales de cada uno de los ráster, por lo que se mantuvo sin modificación.
5	Se le indicó al programa que las zonas con valor “1” (muy alta conservación) sean descartadas del análisis. Seleccionando el desplegable del valor “1” de la columna “Scale Value” y cambiándolo a “Restricted”. Siendo esto aplicado en cada uno de los ráster agregados.
6	Generación de archivo ráster con las categorías de zonificación o conservación (4 cerro La Trinidad y 3 San Pedro).

Nota ¹⁻ Las zonas de categoría restringida o 0, corresponden a sitios de muy alta prioridad conservativa.

Este proceso fue realizado para ambos cerros, generando un ráster de adecuación de salida de cuatro categorías para La Trinidad y de tres para San Pedro.

4.3.4 Propuesta de actividades a desarrollar según categoría de conservación (zonificación) obtenida

Una vez obtenido el mapa de zonificación, se procedió a definir el tipo de actividades que deberían llevarse a cabo según la categoría. Es decir, delimitar las categorías de uso óptimo que debe mantener cada sitio (cuadro 11). Factores propios del área bajo análisis (ambientales, sociales, económicos) fueron tomados en cuenta para la categorización.

Cuadro 11. Propuesta de actividades según categoría de zonificación generada para el cerro La Trinidad y San Pedro

Zona (categoría)	Escala de conservación	Uso óptimo	Actividades propuestas (recomendación)
-----------------------------	-----------------------------------	-----------------------	---

5. Resultados y discusión

5.1 Caracterización biofísica, socioeconómica y ambiental

5.1.1 Caracterización biofísica

5.1.1.1 Cerro La Trinidad, Tarrazú

5.1.1.1.1 Agua superficial y subterránea

Se localizan cuatro cuerpos de agua en el cerro la Trinidad, específicamente, río Martínez, Quebrada Loro, Quebrada Santa Marta y uno sin identificar (Soto, 2007). Además, está la captación quebrada Canet 3, que pertenece a la Asada Santa Cecilia de Tarrazú (figura 5). Como agua subterránea se ubican 12 manantiales (cuadro 12), utilizados como puntos de captación de La Municipalidad de Tarrazú, Asada Santa Cecilia, Asada el Rodeo, entre otros (figura 6).

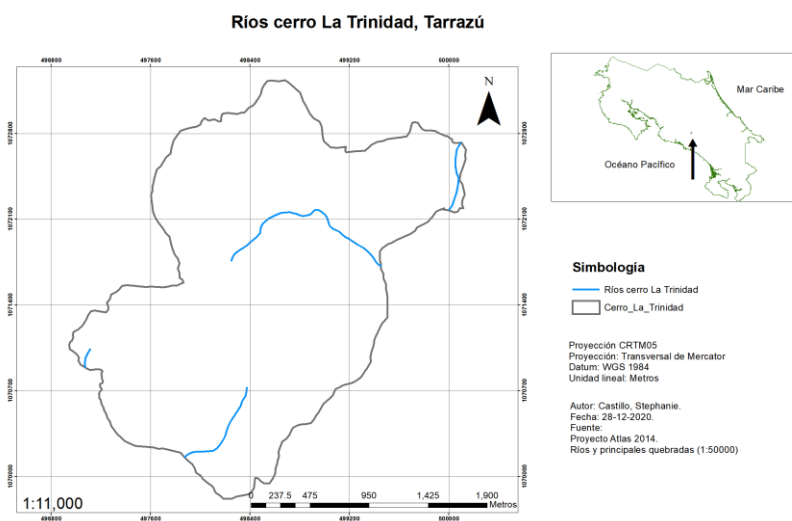


Figura 5. Mapa de agua superficial cerro La Trinidad, Tarrazú

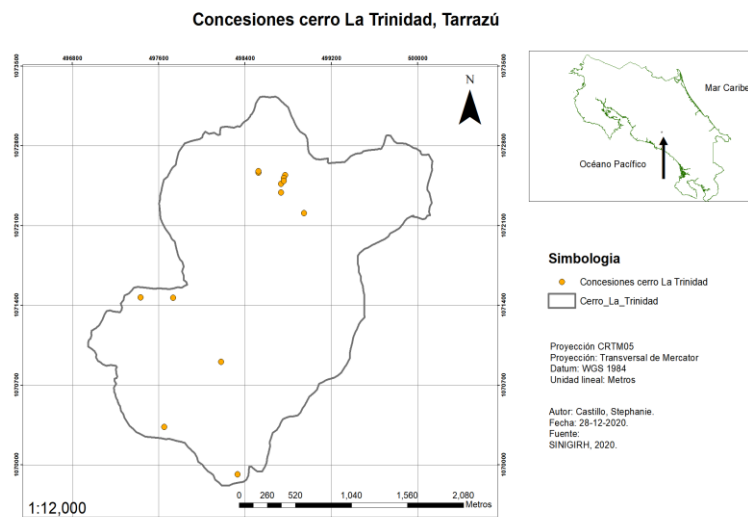


Figura 6. Mapa concesiones de categoría manantial cerro La Trinidad, Tarrazú

La delimitación de las áreas de protección para cuerpos de agua (ríos y quebradas) se detalla en el apéndice 2.

Cuadro 12. Concesiones de categoría manantial en cerro La Trinidad, Tarrazú, Costa Rica (SINIGIRTH, 2020).

Concesión	ID	Nombre	Latitud	Longitud	Canon anual	Canon trimestral	Caudal consumo humano	Caudal riego	Tipo de fuente	Razón social
1	16564	El Rodeo	1069917,14	498329,07	1402297,75	350574,44	7,2	null	Manantial	Municipalidad de Tarrazú
2	205251	Nac Rafaelon	1070333,78	497648,61	447015,99	111754	0,03	null	Manantial	Asada Santa Cecilia de San Marcos de Tarrazú
3	25626	Sin nombre	1070903,14	498176,12	null	null	null	null	Manantial	Pedro Lizanias Gutierrez Mena
4	6008	Sin nombre	1071467,51	497730,79	23865,15	5966,29	0,02	1	Manantial	Juan Luis Monge Fallas
5	18510	Sin nombre	1071467,82	497430,83	23865,15	5966,29	null	0,01	Manantial	Juan Luis Monge Fallas
7	5481	F15	1072391,31	498731,59	560381,82	140095,46	null	null	Manantial	Asada el Rodeo de San Marcos de Tarrazú
8	5478	F2	1072466,30	498731,67	560381,82	140095,46	null	null	Manantial	Asada el Rodeo de San Marcos de Tarrazú
9	5479	F13	1072541,25	498771,74	560381,82	140095,46	null	null	Manantial	Asada el Rodeo de San Marcos de Tarrazú
10	5480	F14	1072516,27	498756,72	560381,82	140095,46	null	null	Manantial	Asada el Rodeo de San Marcos de Tarrazú
11	20130	F1	1072491,27	498756,69	560381,82	140095,46	null	null	Manantial	Asada el Rodeo de San Marcos de Tarrazú
12	22256	Nacimiento La Roca 7	1072565,50	498522,81	560381,82	140095,46	1,49	null	Manantial	Asada el Rodeo de San Marcos de Tarrazú
13	22255	Nacimiento La Roca 6	1072577,50	498521,82	560381,8	140095,5	1,49	null	Manantial	Asada el Rodeo de San Marcos de Tarrazú

5.1.1.1.2 Altitud y pendiente

La altitud oscila entre 1670 y 2240 msnm, con variaciones a lo largo del territorio (figura 7). La pendiente fue clasificada según el Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM, haciendo uso de los parámetros de evaluación, que incluyen los siguientes rangos: 0-3, 3-8, 8-15, 15-30, 30-50, 50-75 y >75%. La distribución en el área de estudio se observa de forma detallada en el (figura 8).

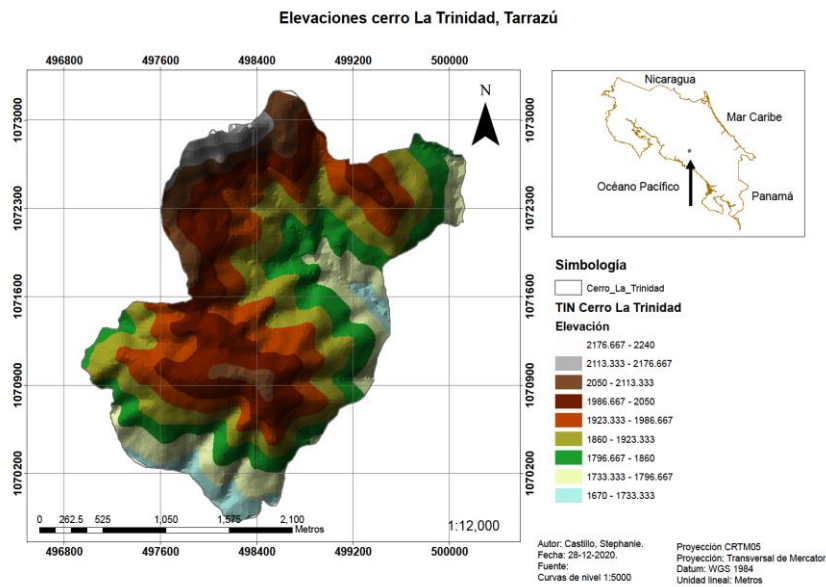


Figura 7. Mapa elevaciones cerro La Trinidad, Tarrazú

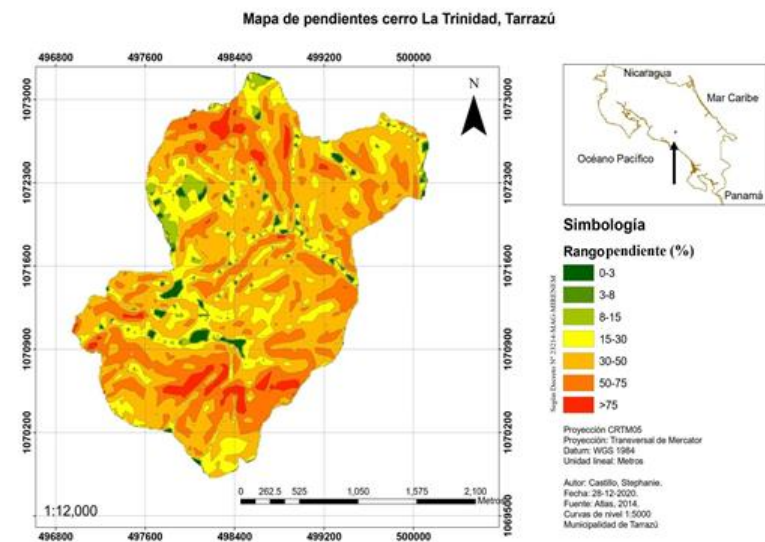


Figura 8. Mapa de pendientes cerro La Trinidad, Tarrazú.

Los rangos de pendiente predominantes en el cerro se encuentran dentro el rango 15-30, 30-50 y 50-75%, siendo 0-3% el de menor representación.

5.1.1.1.3 Precipitación y temperatura

Los valores obtenidos en ambas variables son similares para todo el cerro, debido a que la información fue obtenida de bases de datos de estaciones meteorológicas que abarcaban una extensión de terreno muy amplia, por lo que la variabilidad en los sitios bajo estudio fue casi nula. El rango de precipitación promedio entre el periodo 2004-2014 fue de 14,5391-14,9426 ((mm/día). La temperatura máxima oscila entre 25,2325-24,6258 °C, y la mínima entre 16,7647-16,1935 °C (figura 9 ,10 y 11).

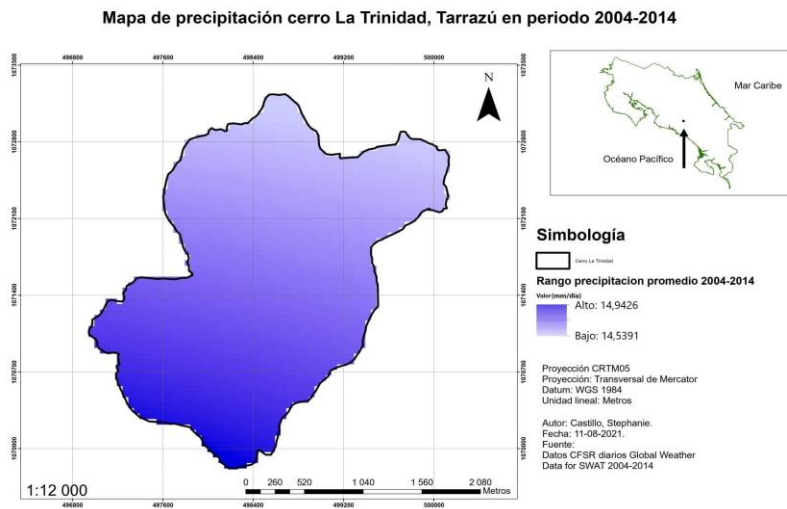


Figura 9. Mapa de precipitación cerro La Trinidad, Tarrazú

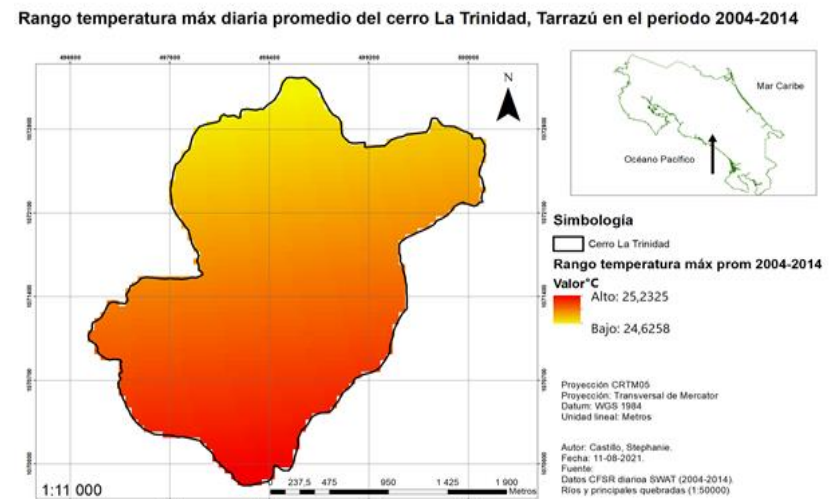


Figura 10. Mapa temperatura máxima cerro La Trinidad, Tarrazú

Rango temperatura min diaria promedio del cerro La Trinidad, Tarrazú en el periodo 2004-2014

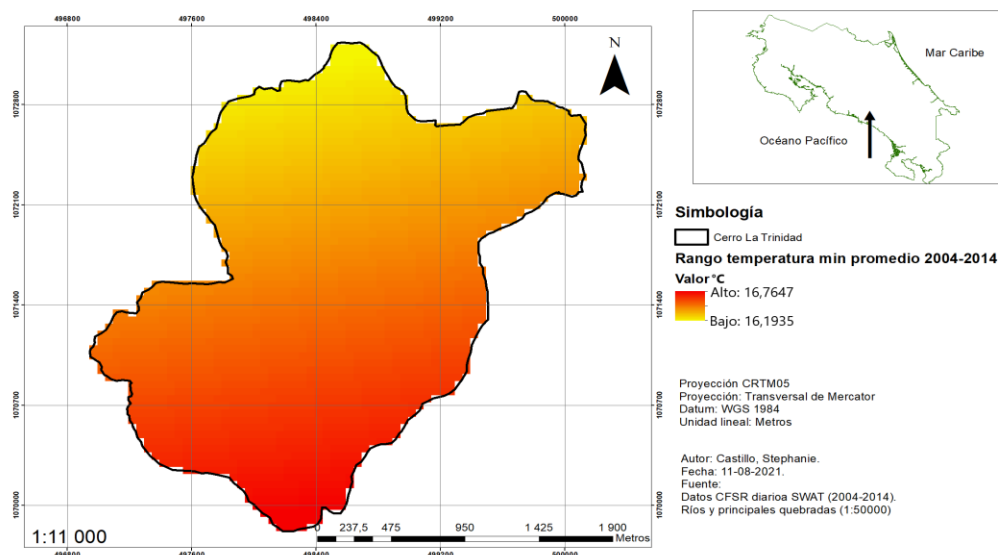


Figura 11. Mapa temperatura mínima cerro La Trinidad, Tarrazú

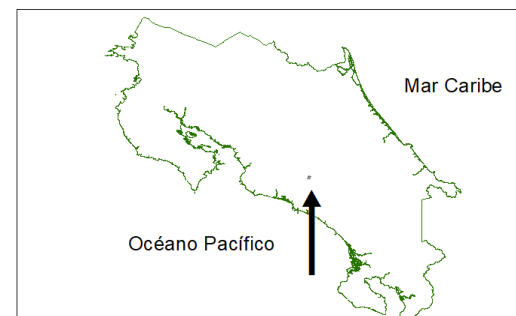
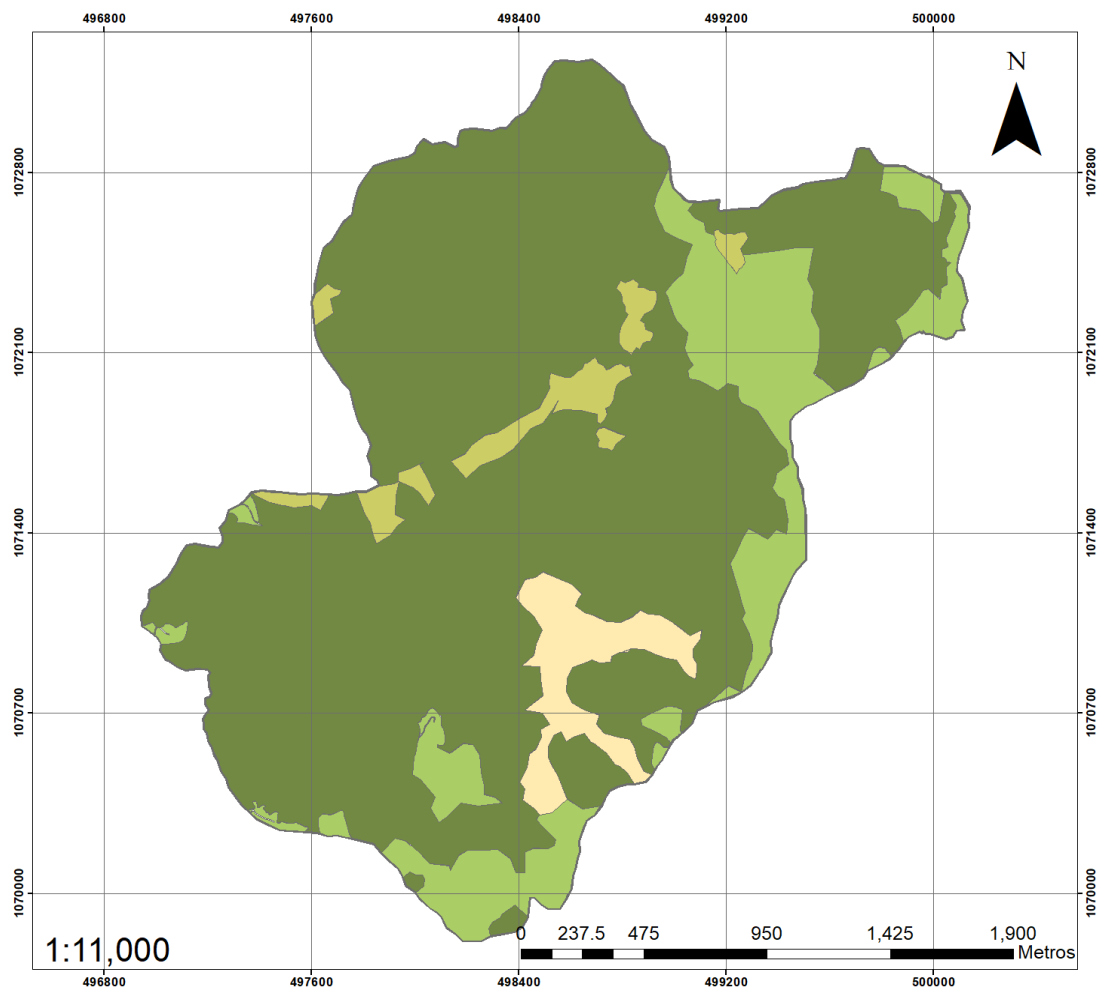
5.1.1.1.4 Uso del suelo

El cerro La Trinidad presenta cuatro usos del suelo, entre ellos zonas de pastizales, cultivos, áreas desprovistas de vegetación y bosques (figura 12), el último abarca mayor extensión del territorio con un 78% aproximadamente (cuadro 13).

Cuadro 13. Clasificación del uso del suelo en cerro La Trinidad, Tarrazú, Costa Rica.

Categoría uso del suelo	Área (ha)	Cobertura (%)
Bosque	454,13	78,25
Cultivos	85,16	14,67
Desprovista vegetación	23,05	3,97
Pastos	18,01	3,10
Total	580,36	100%

Uso del suelo cerro La Trinidad, Tarrazú



Simbología

Uso_del_su

- Bosque
- Cultivo
- Desprovisto vegetación
- Pastos
- Cerro_La_Trinidad

Proyección CRTM05
Proyección: Transversal de Mercator
Datum: WGS 1984
Unidad lineal: Metros

Autor: Castillo, Stephanie.
Fecha: 28-12-2020.

Figura 12. Mapa usos del suelo cerro La Trinidad, Tarrazú

Los cultivos son representados casi en su totalidad por café, seguido de otros productos como el aguacate. Con la finalidad de analizar más a fondo el área ocupada por cultivos, se comparó la clasificación de uso del cerro La Trinidad con los datos de zonificación de café variedad Caturra y aguacate Hass desarrollados por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria INTA, (2021) para la Zona de los Santos (figura 13 y 14). Lo anterior permitió identificar las categorías de producción dentro de las que se ubica al cerro (baja, media, alta y excluida) y su nivel de alcance, es decir, el grado de resguardo de los sitios cuyo uso actual es bosque.

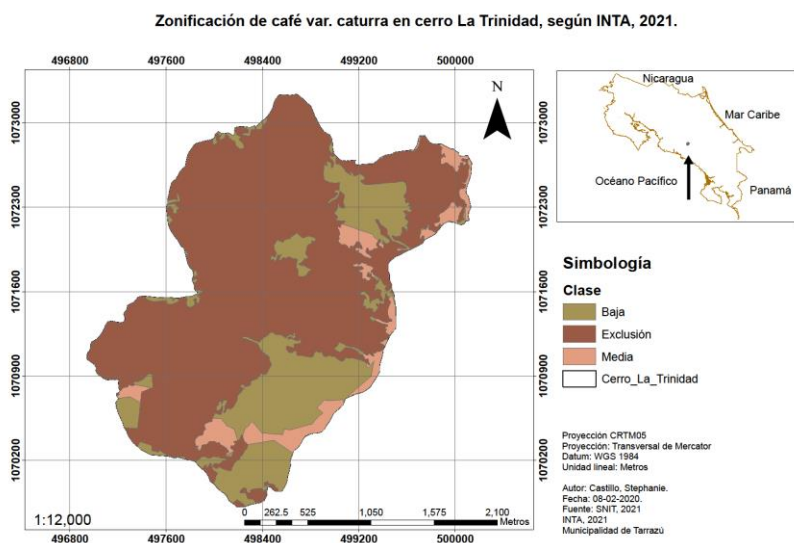


Figura 13. Mapa zonificación de café variedad caturra en cerro La Trinidad, según INTA, 2021.

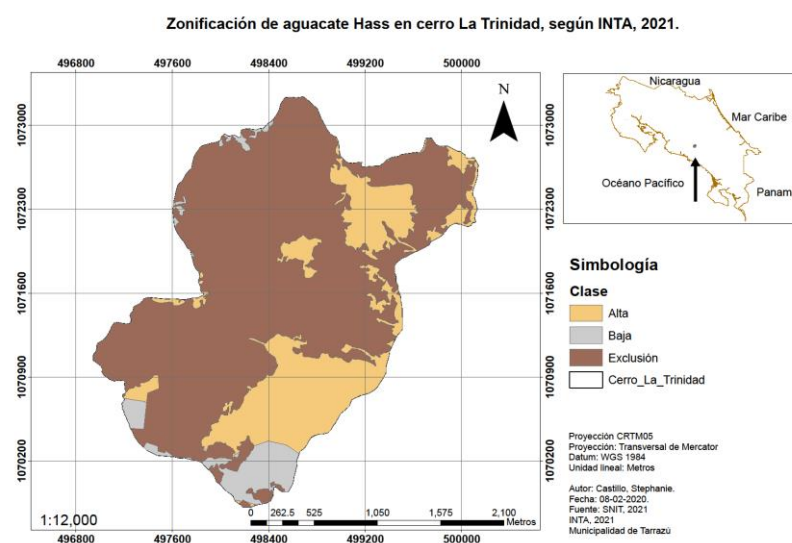


Figura 14. Mapa zonificación de aguacate Hass en cerro La Trinidad, según INTA, 2021.

Actualmente, gran parte del área boscosa se encuentra dentro de la categoría excluida, excepto ciertos sectores (0,74 km²) que se superponen con áreas productivas (figura 15). Si bien, el porcentaje es bajo con respecto al área total, es importante resaltar que sitios boscosos actualmente son catalogados como de media o baja productividad (café variedad Caturra y Hass), lo que puede propiciar a futuro una alteración y por ende poner en riesgo los recursos ecosistémicos presentes en los mismos.

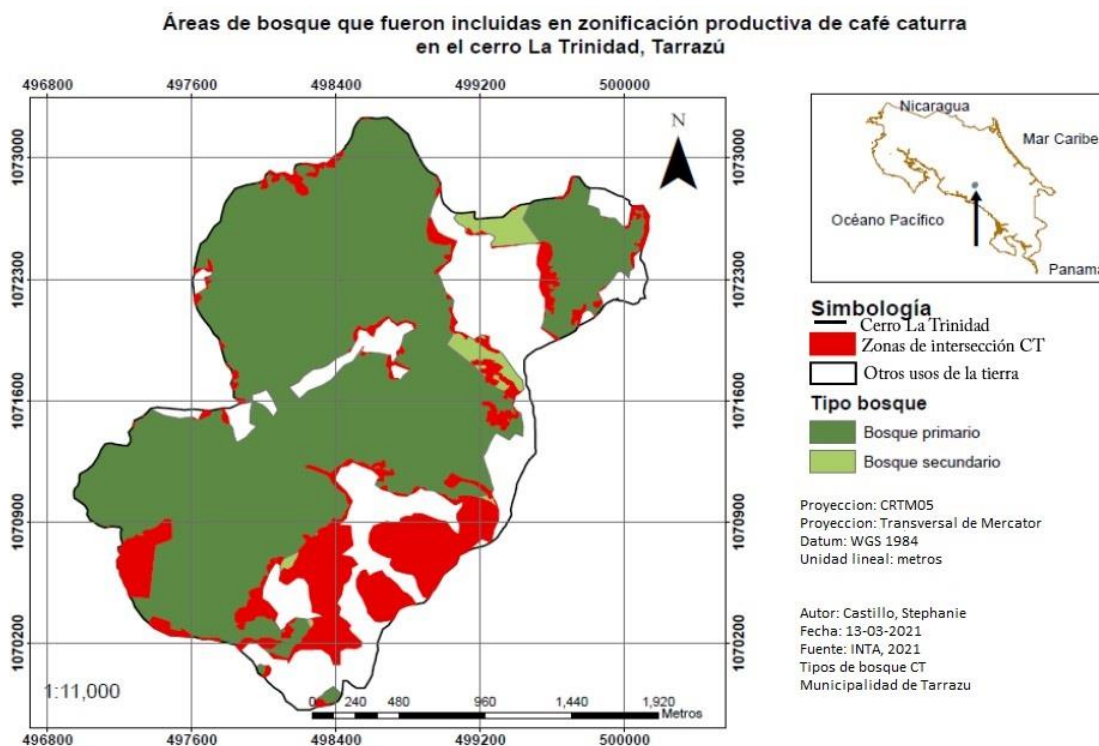


Figura 15. Áreas de bosque que fueron incluidas en zonificación productiva de café caturra en el cerro La Trinidad, Tarrazú

Además, se buscó identificar la existencia de fincas dedicadas a Pago por Servicios Ambientales, sin embargo, de acuerdo con la capa de contratos PSA 2021 del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal en el cerro no se localiza ninguno, aunque este si se encuentra dentro de las capas de prioridad de la modalidad de protección de bosque por su importancia para los corredores biológicos y el recurso hídrico.

Con el fin de promover el resguardo del recurso boscoso, se realizó un mapa de sitios vulnerables a sufrir cambio de uso de suelo (figura 16), definiendo como línea base un área de 100 metros a partir de los límites de las zonas productivas.

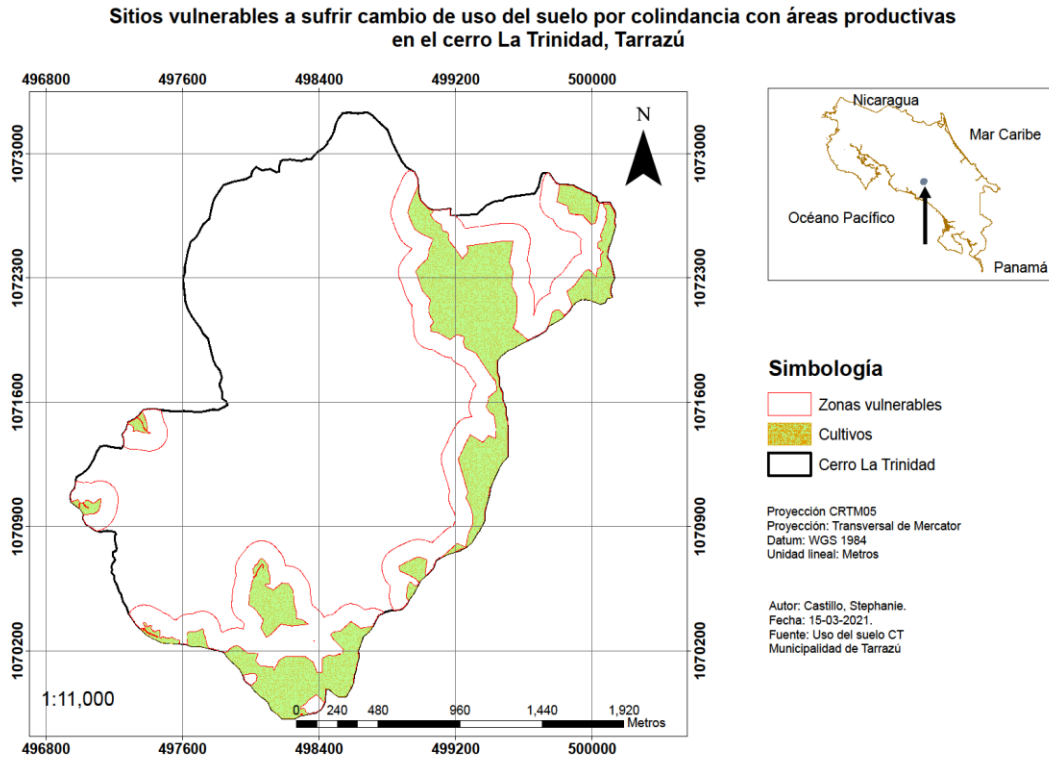


Figura 16. Mapa de sitios vulnerables a sufrir cambio de uso de suelo en cerro La Trinidad, Tarrazú

El desarrollo de este mapa se realizó en respuesta a la necesidad de la Municipalidad de Tarrazú de identificar los sitios próximos o colindantes a zonas cafetaleras que se encuentran propensos a sufrir algún tipo de afectación por la expansión de la actividad productiva. Buscando a través de este mejorar las técnicas de monitoreo de las actividades de origen productivo y el posible cambio de uso de suelo en estos sitios.

5.1.1.1.5 Zonas de vida

Se localizan en el cerro La Trinidad tres zonas de vida, Bosque Húmedo Montano Bajo (Bh-MB), Bosque muy Húmedo Montano Bajo (Bmh-MB) y Bosque muy Húmedo Premontano (Bmh-P) (Centro Científico Tropical CCT y Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG, (2004) (figura 17), con las siguientes características:

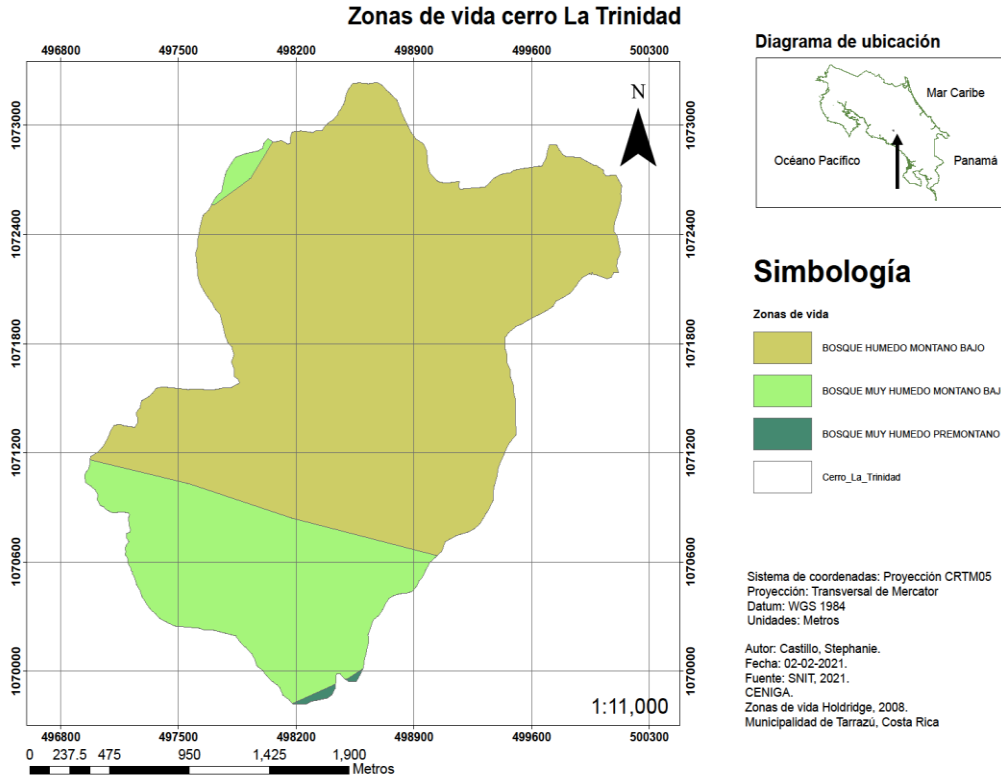


Figura 17. Mapa de zonas de vida cerro La Trinidad, Tarrazú

Bosque Húmedo Montano Bajo (Bh-MB): presenta un rango de precipitación promedio entre 1400 y 2000 mm anuales y un periodo efectivamente seco moderado de entre 2 a 4 meses. La biotemperatura anual media varía entre 12 y 17 °C (Bolaños *et al.* 2005). Según Porras *et al.* (2013) la temperatura máxima sucede en mayo con 21,9 °C y 13 °C en la mín, lo que produce una oscilación de 8,9 °C. La temperatura mínima ocurre en enero con 20,7°C como máx y 9,7°C mín, generando una oscilación de 11 °C.

En el Bh-MB la humedad es alta y estable a lo largo del año, con un promedio de 88% en la mayoría de los meses, excepto en marzo con 82% Porras *et al.* (2013).

Bosque muy Húmedo Montano Bajo (Bmh-MB): la precipitación promedio anual oscila entre 1850 y 4000 mm. La biotemperatura media varía entre 12 y 17 °C (Bolaños *et al.* 2005). La temperatura máxima sucede en abril con 22,5 °C en la máx y 12,8 °C en la mín. La temperatura mínima ocurre en enero con 22,5 °C como máx y 12,8°C mín Porras *et al.* (2013).

En el Bmh-MB la humedad es alta y constante, lo que aunado a los niveles de precipitación y altitud (msnm) propician la presencia de neblina a lo largo del año. El brillo solar en la época seca (febrero) es de 8,6 horas por día, mientras que en la lluviosa (setiembre) puede llegar a 3,2 horas (Porrás *et al.* 2013).

Bosque muy Húmedo Premontano (Bmh-P): la precipitación promedio anual varía entre 1200 y 2200 mm con un periodo efectivo seco de 3,5 a 5 meses (Bolaños *et al.* 2005) y una biotemperatura de 17 °C a 24 °C. La estación meteorológica Santa Lucía registró el máximo de temperatura en abril, con una máxima de 26,6 °C y una mínima de 11,6 °C. En la estación de Pérez Zeledón la máxima sucede en marzo con 31°C máx y 17m°C mín. Los niveles de humedad en esta zona se mantienen altos, pero no excesivos, siendo 79% el promedio anual en Santa Lucía y 85% en Pérez Zeledón Porrás *et al.* (2013).

5.1.1.1.6 Tipos de suelo

El 70% del área (4,04 km²) se encuentra conformada por suelos del orden Inceptisol, el restante 40% (1,72 km²) por ultisoles (Mata *et al.* 2013) (figura 18).

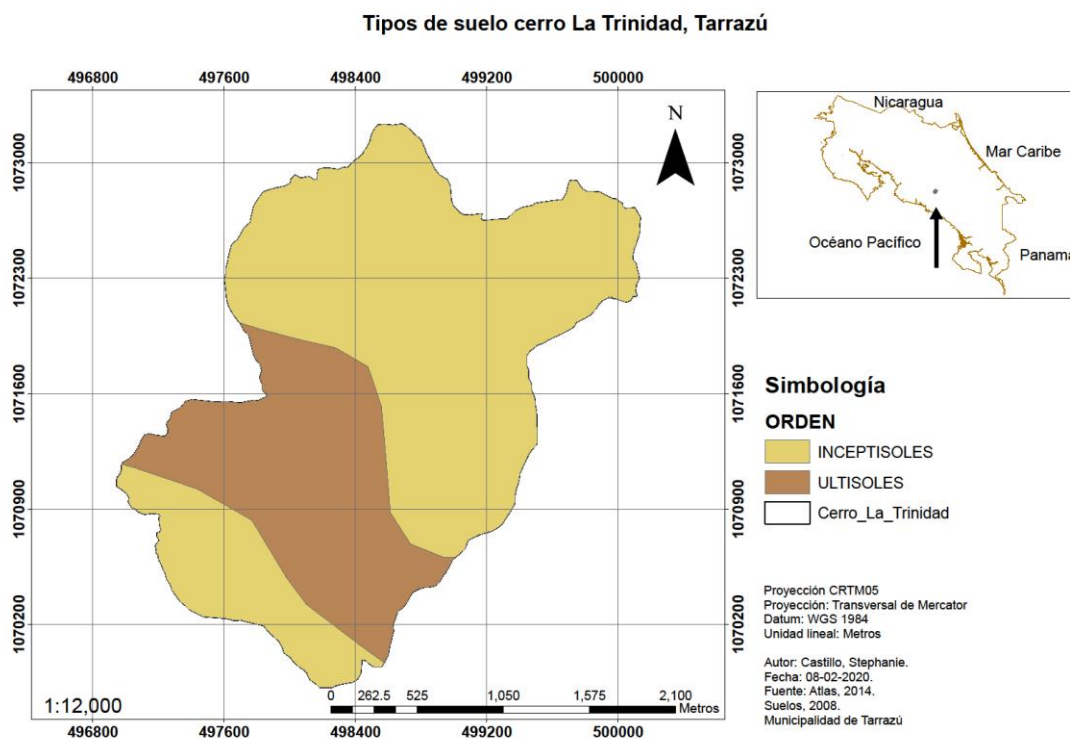


Figura 18. Mapa de tipos de suelo cerro La Trinidad, Tarrazú.

El primero es considerado un suelo reciente, una etapa juvenil de futuros suelos del orden de los ultisoles y oxisoles. Este se desarrolla generalmente en terrenos planos y ligeramente ondulados y se caracteriza por presentar un pH ácido y alto contenido de materia orgánica (INTA, 2015).

Los ultisoles son uno de los órdenes más viejos del país, su coloración se debe a la deshidratación o lixiviación del hierro, por lo que presenta tonalidades pardo rojizas o rojizas, o pardo amarillentas y amarillentas, esto cuando el suelo se encuentra hidratado. Son suelos profundos y bien drenados, que se desarrollan en relieves que van desde ligera a fuertemente ondulados (INTA, 2015).

5.1.1.1.7 Tipos de bosque y vegetación

El cerro La Trinidad posee bosque maduro (4,06 ha) y secundario (0,56 ha), lo que representa un 70% y 10% del área total, respectivamente, (figura 19).

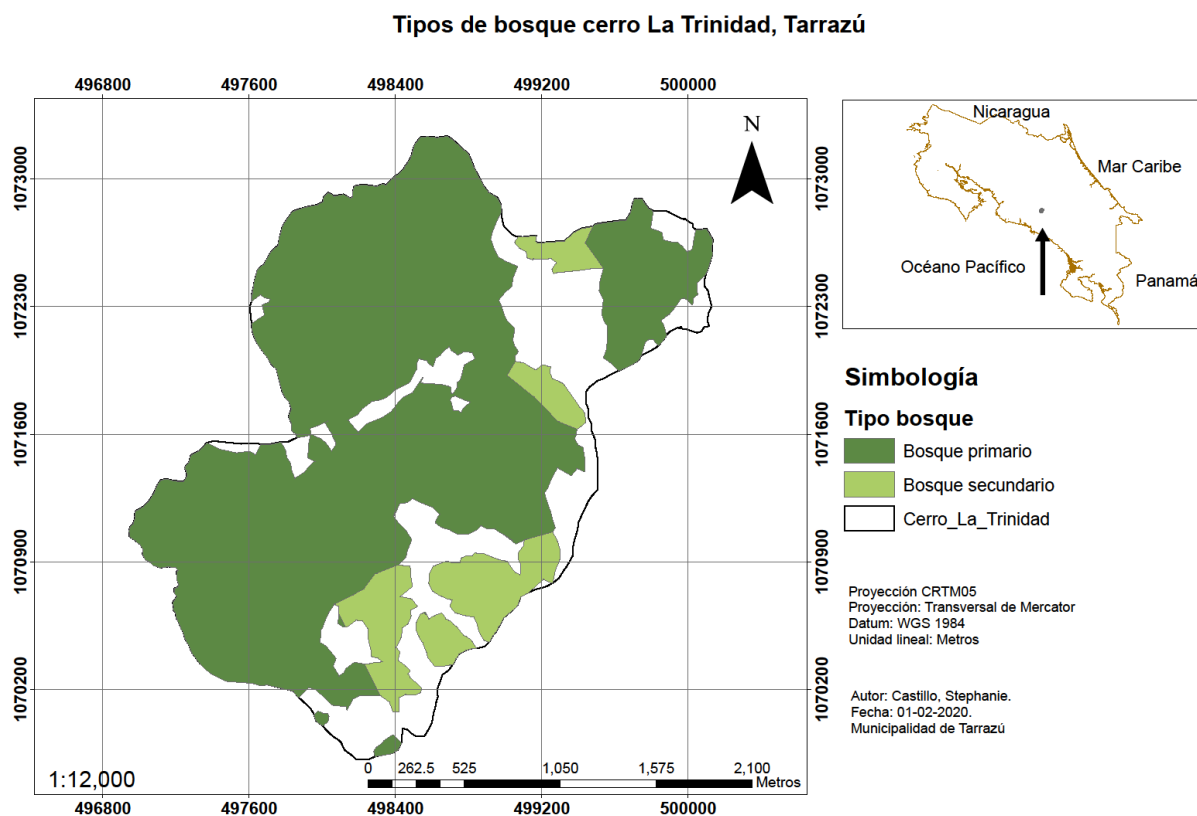


Figura 19. Mapa de tipos de bosque cerro La Trinidad, Tarrazú.

Como se mencionó anteriormente, dentro del cerro se encuentran tres zonas de vida (Bh-MB, Mmh-MB, Bmh-P) lo que permite relacionarlas con el tipo de vegetación presente en el mismo. Según Quesada (2007) el bosque natural del **Bh-MB** se caracteriza por ser de baja altura, poco denso, siempre verde, con dos estratos y presentar abundancia de epífitas.

En el dosel superior los árboles son generalmente *Quercus spp* de entre 30 y 35 metros de altura, el segundo estrato posee árboles siempre verdes de hasta 20 m y los arbustos son abundantes, de 2 a 5 m de altura. El estrato suelo es abierto con hierbas de hojas anchas y gran variedad de epífitas y musgos (Porras *et al.* 2013).

La vegetación del **Bmh-MB** presenta una estructura compuesta por individuos emergentes de *Quercus* que sobrepasan los 40 m de altura, un dosel medio denso de hasta 25 m y un sotobosque denso dominado por varias especies de cañuelas y carrizos (Quesada, 2007). Las especies características de estos sitios son más de 10 del género *Quercus*, *Alnus acuminata* (jaúl), *Cornus disciflora* (lloró), *Magnolia poasana* (magnolia), *Oreopanax xalapense*, *Trichilia havanensis*, entre otras (Quesada, 2007).

La vegetación del **Bmh-P** en bosques no alterados está compuesta por especies como *Scheffera morotoni* (fosforillo), *Vochysia allenii* (botarrama), *Ruopala montana* (carne asada), *Cedrela odorata* (cedro amargo), *Turpinia occidentalis* (falso cristóbal), *Ulmus mexicana* (tirá) (Quesada, 2007). También de especies del género *Nectandra*, *Persea*, *Cinnamomun* de la familia Lauraceae, *Cupania* de la familia Sapindaceae, *Eugenia* de la familia Myrtaceae, *Cedrela salvadorensis* (cedro), *Cedrela tonduzii* (cedro dulce), *Albizia adinocephala* (carboncillo), *Dendropanax arboreus* (fosforillo), entre otros (Quesada, 2007).

5.1.1.1.8 Subcuenca y microcuenca

El cerro La Trinidad se localiza dentro de la cuenca Costero Pacífico Central, la sub cuenca del Río Grande de Candelaria y la microcuenca del río Pirrís (Jiménez, s.f.). Son escasos los estudios realizados en la microcuenca, a pesar de la importancia de esta como unidad de manejo del territorio. Destacando el Diseño del Plan del Manejo de la Cuenca del Río Pirrís, elaborado por Meléndez (2009), cuyo objetivo fue promover el mejoramiento del uso del suelo y de la calidad de vida de los pobladores en la cuenca.

5.1.1.1.9 Riesgo

Por medio de las capas coronas de deslizamiento, deslizamientos, fallas paleontológicas e inundaciones de la Comisión Nacional de Emergencias, se determinó que dentro del cerro La Trinidad no existen puntos de alto riesgo. Sin embargo, con la finalidad de identificar zonas vulnerables, se desarrolló un mapa de riesgo por remoción de masa, identificando los suelos de baja pendiente, ubicados en los suelos del tipo Inceptisol y de uso bosque como los menos propensos a sufrir afectaciones por posibles deslizamientos. Por el contrario, los suelos de pendiente abrupta ubicados en suelos del tipo Ultisol y de uso productivo o desprovisto de vegetación son los más propensos verse afectados. La escala de riesgo puede observarse de forma detallada en el (figura 20).

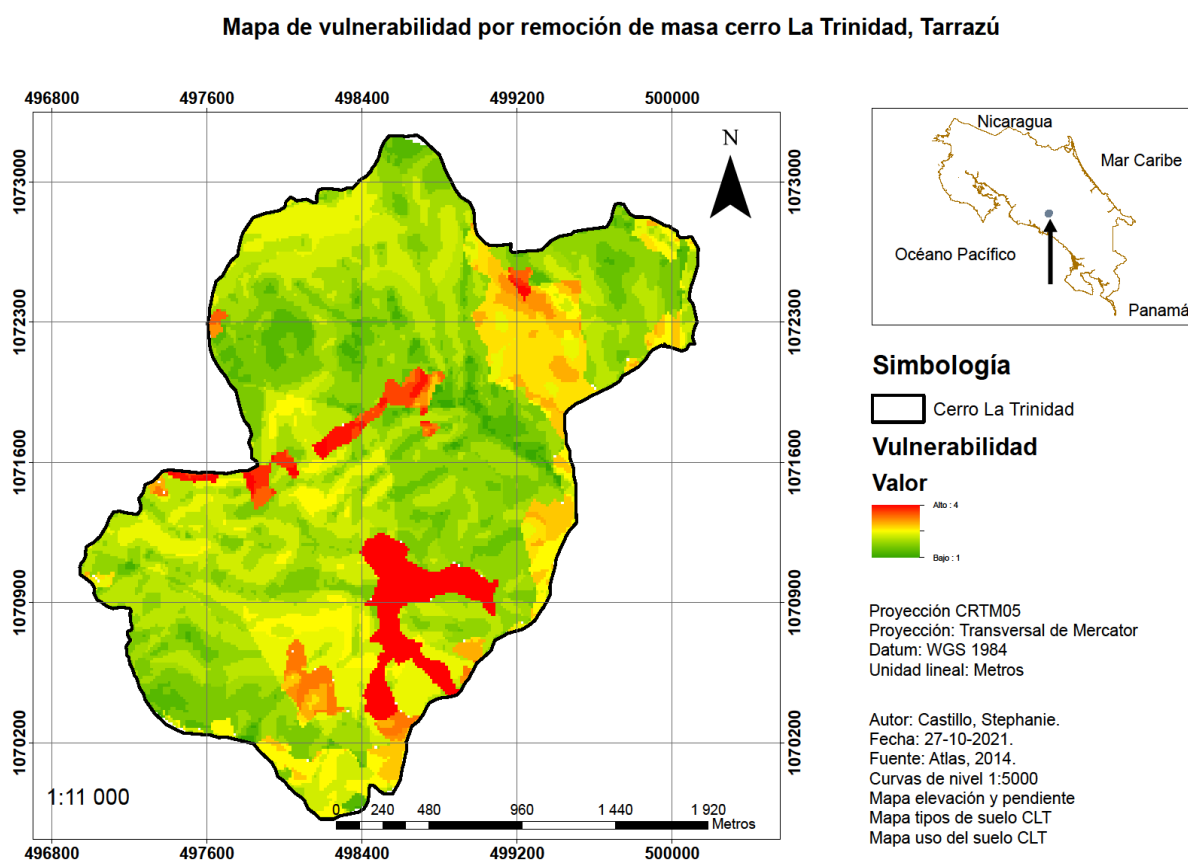


Figura 20. Mapa de vulnerabilidad por remoción de masa cerro La Trinidad, Tarrazú.

5.1.1.2 Cerro San Pedro, Tarrazú

5.1.1.2.1 Agua superficial y subterránea

Se localiza en el cerro San Pedro únicamente un cuerpo de agua, específicamente el río Parrita Chiquito, categorizado como permanente (Soto, 2007) (figura 21). Como agua subterránea se ubican dos manantiales (cuadro 14), utilizados como puntos de captación de la Asada San Pedro, San Luis y otros usuarios independientes (figura 22).

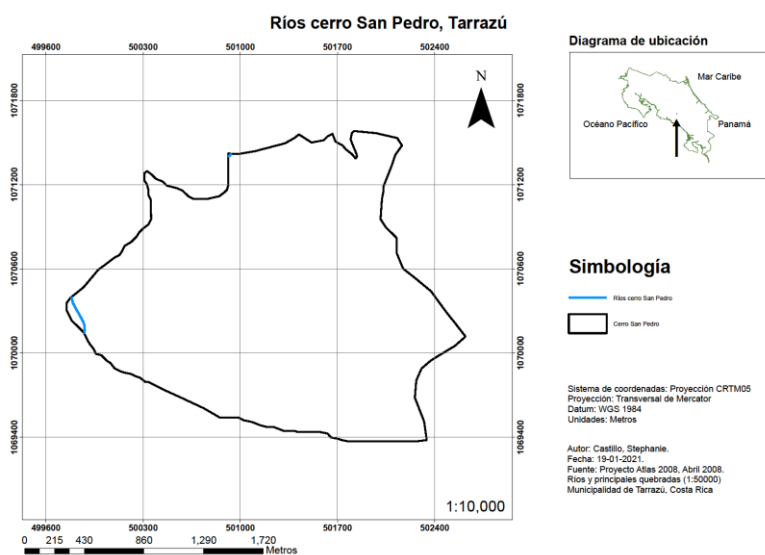


Figura 21. Mapa de agua superficial cerro San Pedro, Tarrazú

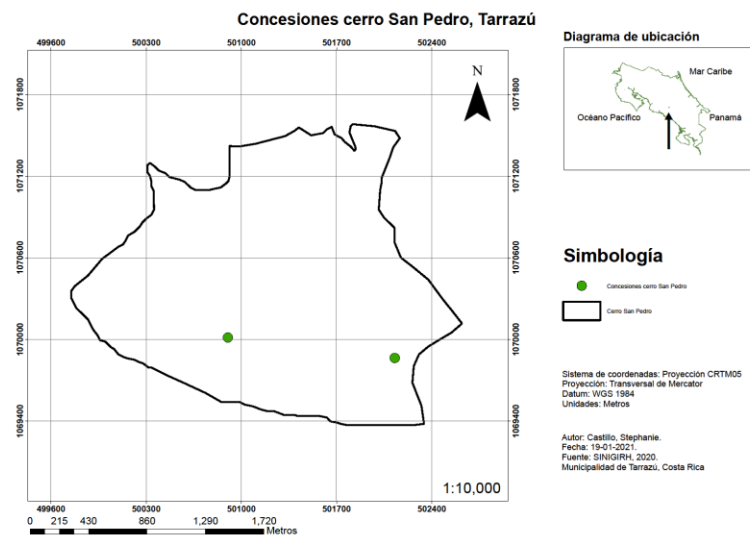


Figura 22. Mapa concesiones de categoría manantial cerro San Pedro, Tarrazú

La delimitación de las áreas de protección para cuerpos de agua (ríos y quebradas) se detalla en el apéndice 3.

Cuadro 14. Concesiones de categoría manantial en cerro San Pedro, Tarrazú, Costa Rica (SINIGIRH, 2020).

Concesión	ID	Nombre	Latitud	Longitud	Can on anual	Can on trim-estral	Caudal consumo humano	Cau dal riego	Tipo de fuente	Razón social
1	22	Nac	10700	500	37072,	9268	0,07	null	Mananti al	Asada San Pedro Y San Luis de Tarrazú
	25	Roque	13,422	901,	24	,06				
	9	Mora 8	52	742	585					
2	24	Sin	10698	502	2686,3	671,	0,05	null	Mananti al	Oscar y otros dos Madrigal Monge
	28	nombre	63,155	128,	9	6				
			5	381	516					

La disminución en la cantidad de manantiales se debe al área total bajo estudio, pues en este caso, parte del cerro se encuentra localizado en el cantón de Dota, por la que debió ser excluida de los análisis al no competerle a la Municipalidad de Tarrazú su cobertura.

5.1.1.2.2 Altitud y pendiente

La elevación oscila entre 1590 y los 2130 msnm (figura 23). La pendiente fue clasificada según el Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM, constituyendo el valor 30-50% la mayor parte del área, seguido por 50-75%. La distribución en el área de estudio se observa de forma detallada en el (figura 24).

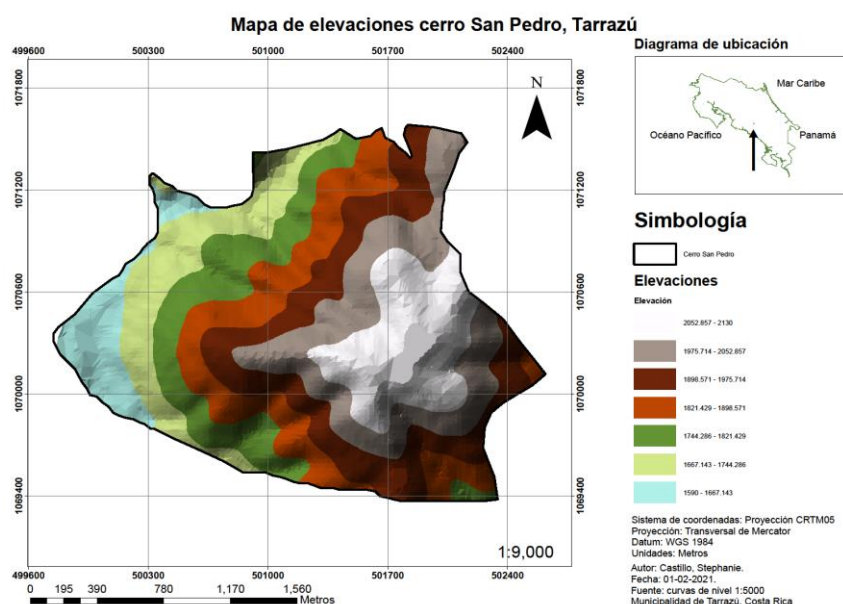


Figura 23. Mapa elevaciones cerro San Pedro, Tarrazú.

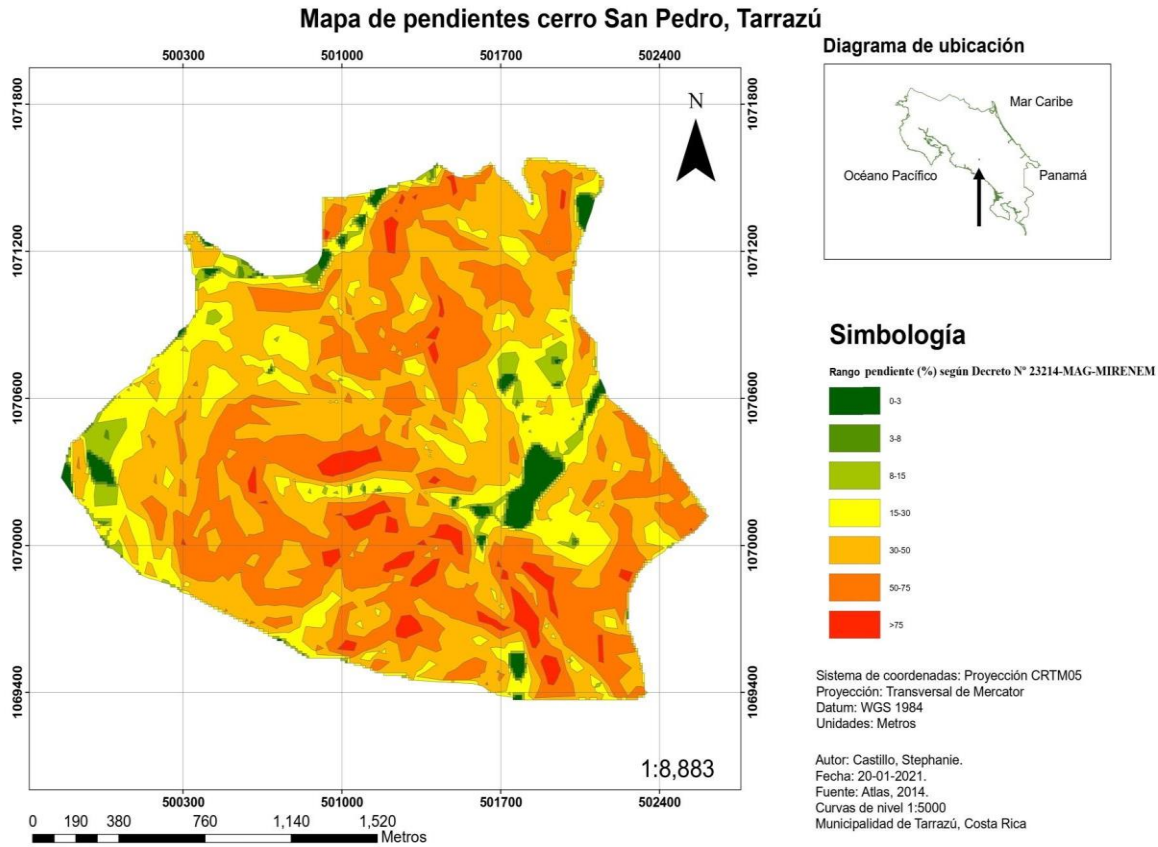


Figura 24. Mapa de pendientes cerro San Pedro, Tarrazú.

5.1.1.2.3 Precipitación y temperatura

El rango de precipitación promedio entre el periodo 2004-2014 fue de 14,8288-14,5778 (mm/día). La temperatura máxima oscila entre 25,4262-25,0297 °C, y la mínima entre 16,9715-16,5912 °C (figura 25, 26 y 27).

Rango precipitación diaria promedio del cerro San Pedro, Tarrazú en el periodo 2004- 2014.

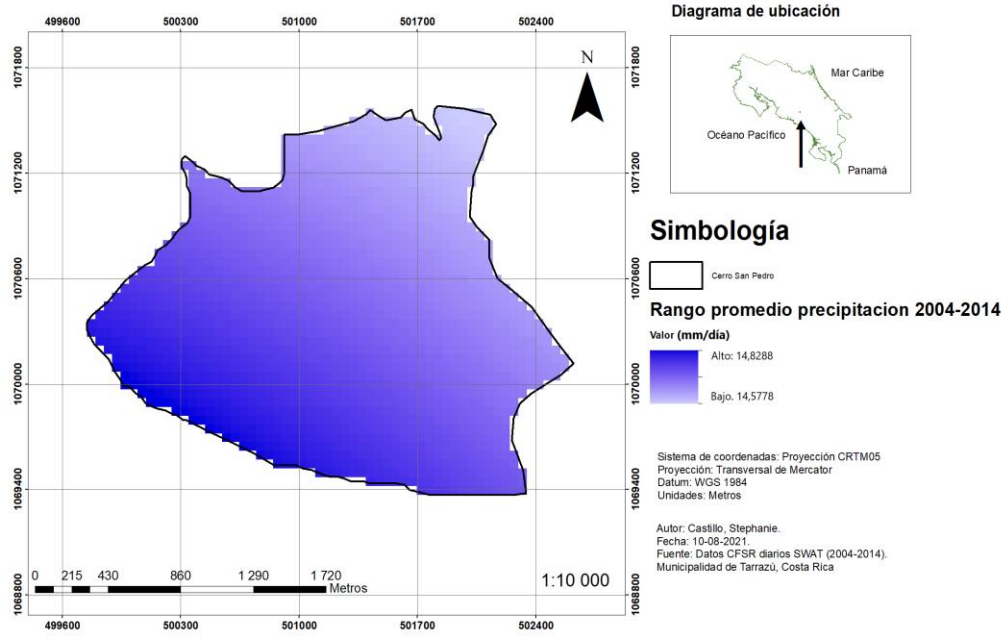


Figura 25. Mapa precipitación Cerro San Pedro, Tarrazú.

Rango temperatura máx diaria promedio del cerro San Pedro, Tarrazú en el periodo 2004- 2014.

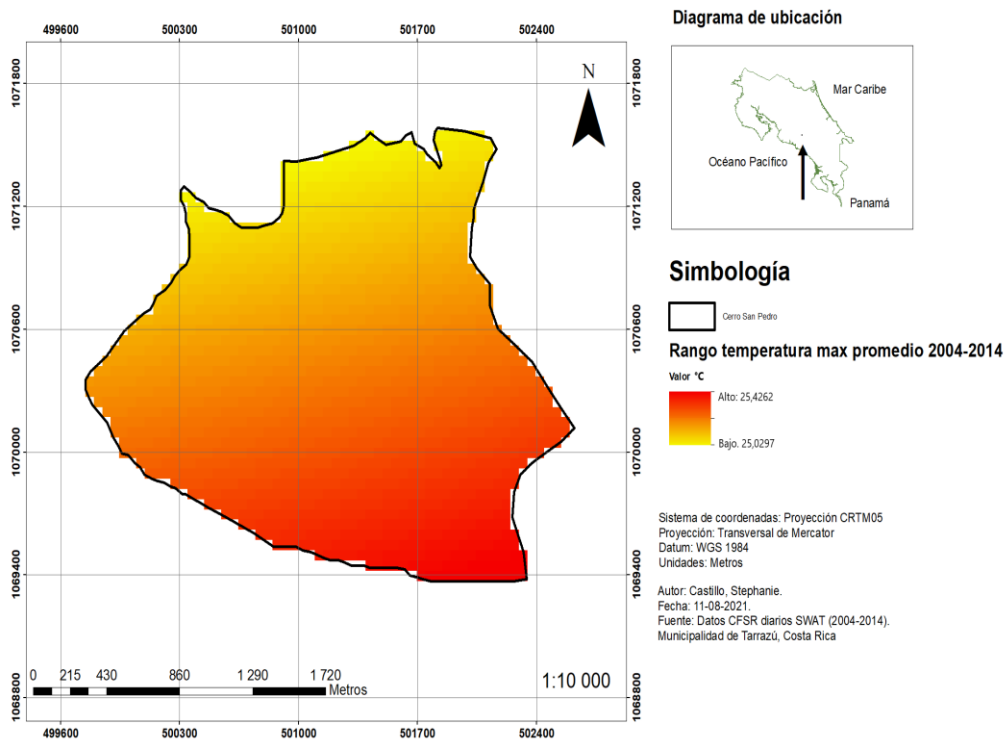


Figura 26. Mapa temperatura máxima Cerro San Pedro, Tarrazú.

Rango temperatura min diaria promedio del cerro San Pedro, Tarrazú en el periodo 2004- 2014.

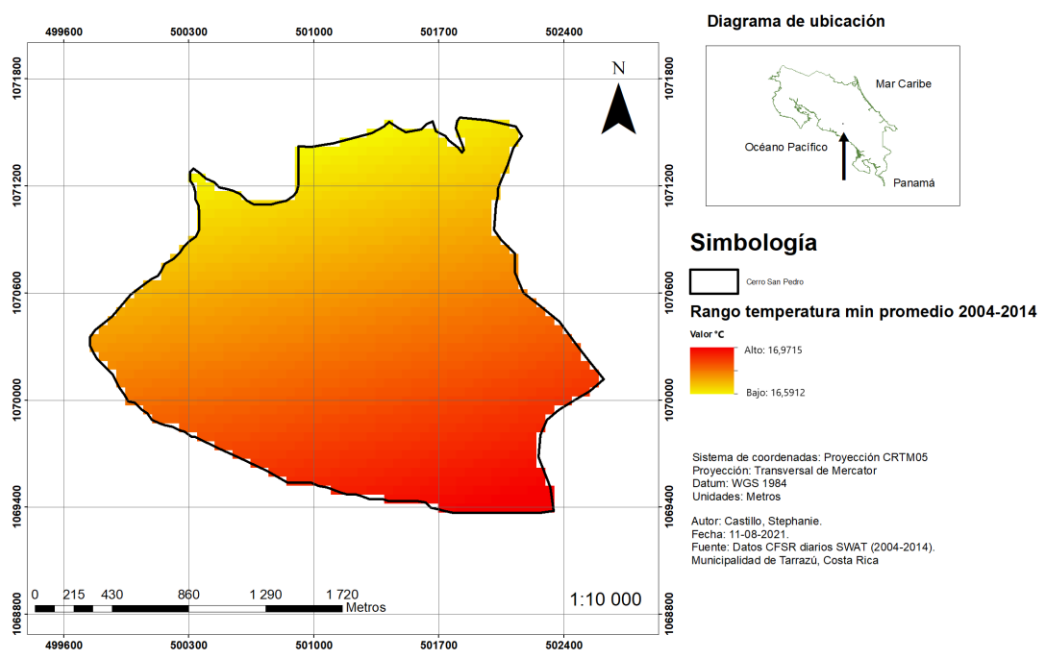


Figura 27. Mapa temperatura mínima Cerro San Pedro, Tarrazú.

5.1.1.2.4 Usos del suelo

El cerro San Pedro presenta tres usos del suelo, áreas productivas (café), zonas desprovistas de vegetación y bosque (cuadro 15), el último abarca la mayor extensión del territorio con un 72% aproximadamente.

Cuadro 15. Clasificación del uso del suelo en cerro San Pedro, Tarrazú, Costa Rica.

Categoría uso del suelo	Área (ha)	Cobertura (%)
Bosque	288,62	71,93
Cultivos	112,08	27,93
Desprovista vegetación	0,52	0,13
Total	401,22	100%

Su distribución en el área de estudio se observa en la figura 28.

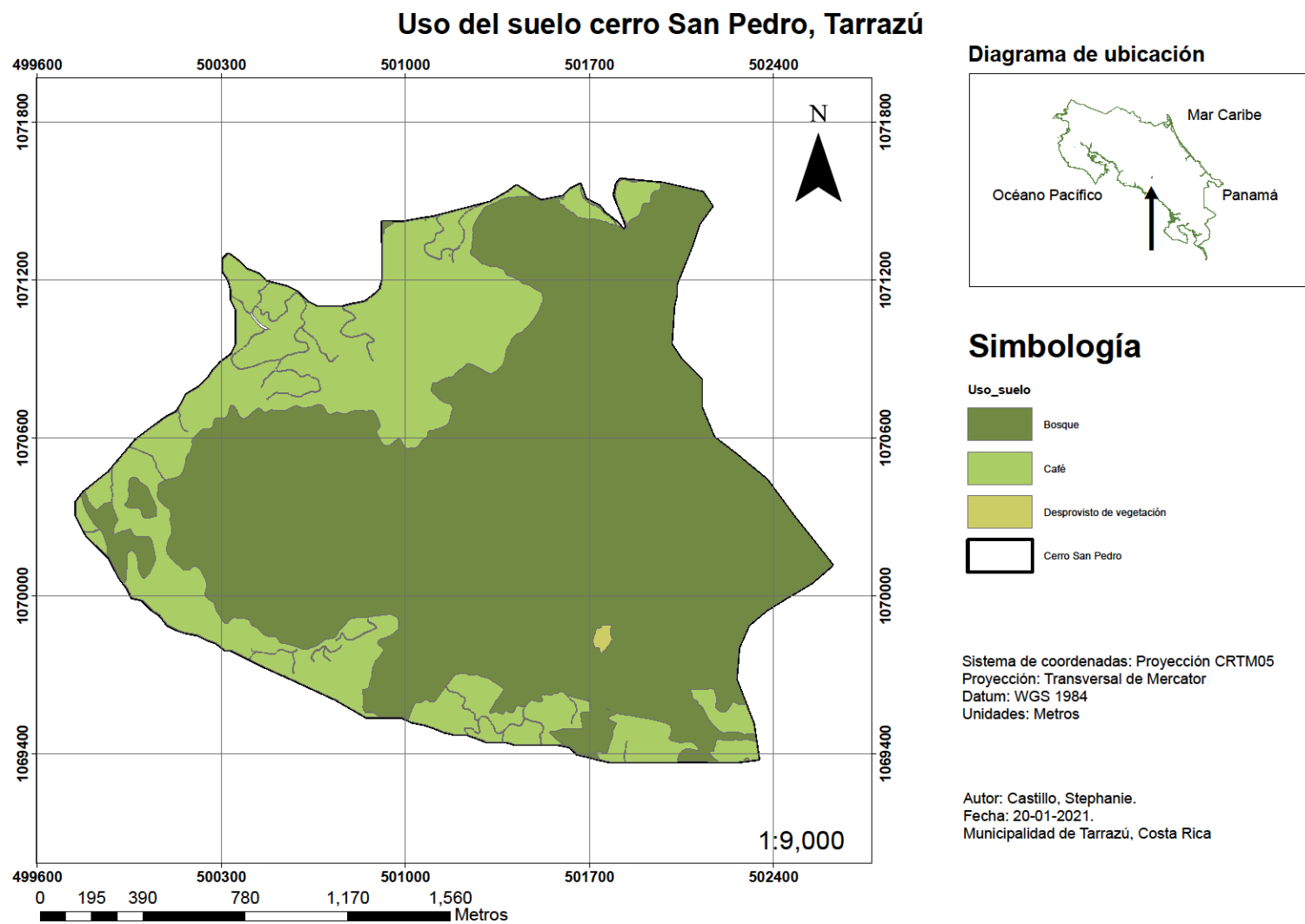


Figura 28. Mapa de uso del suelo cerro San Pedro, Tarrazú.

Al comparar el uso actual del cerro con los datos generados por el INTA para la zonificación de café var. Caturra y aguacate Hass en la Zona de los Santos (figura 29 y 30), se observó que la mayoría de las áreas boscosas se encuentran dentro de la categoría catalogada como restringida para el desarrollo de actividades productivas. Sin embargo, existen sectores (0,35 km²) que se clasifican con potencial productivo, por lo que debe analizarse su exclusión con el fin de asegurar el resguardo de los bienes y servicios ecosistémicos (figura 31).

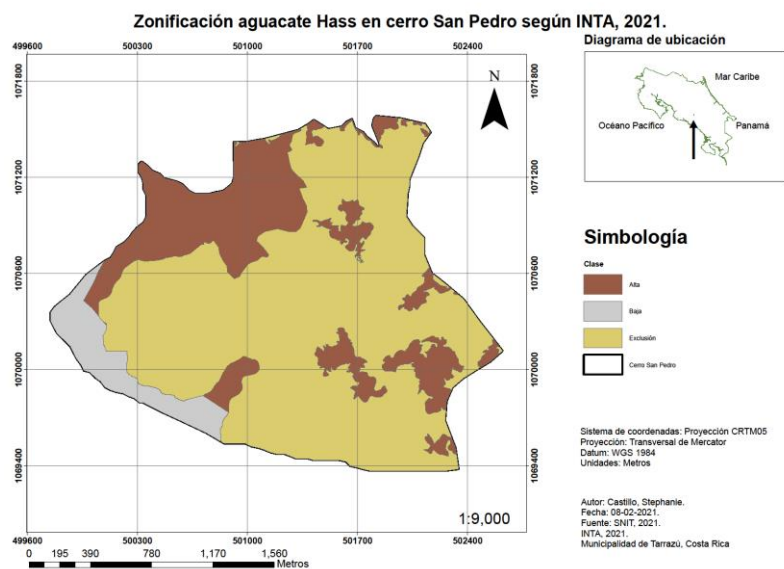


Figura 29. Mapa zonificación de aguacate Hass en cerro San Pedro según INTA, 2021.

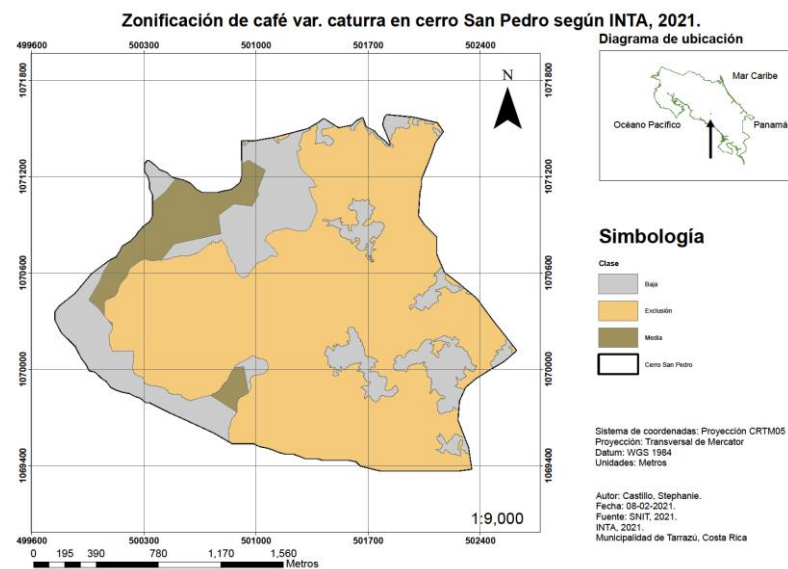


Figura 30. Mapa zonificación de café variedad caturra en cerro La San Pedro según INTA, 2021.

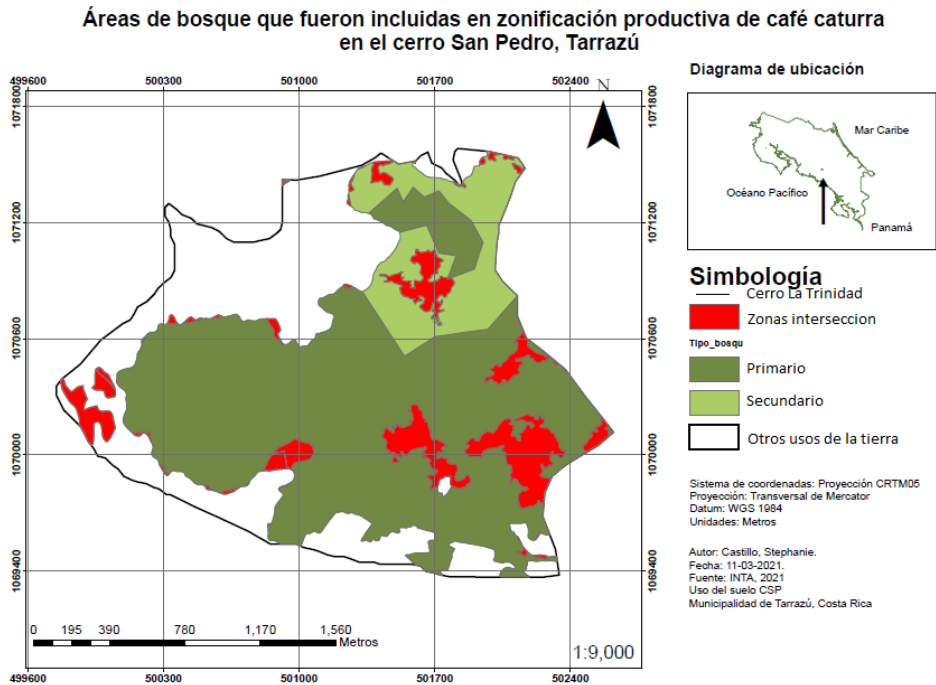


Figura 31. Áreas de bosque que fueron incluidas en zonificación productiva de café caturra en el cerro La Trinidad, Tarrazú.

Además, se delimitaron como sitios propensos a sufrir cambio de uso de suelo aquellos que colindan (100 metros) con áreas de vocación productiva (figura 32).

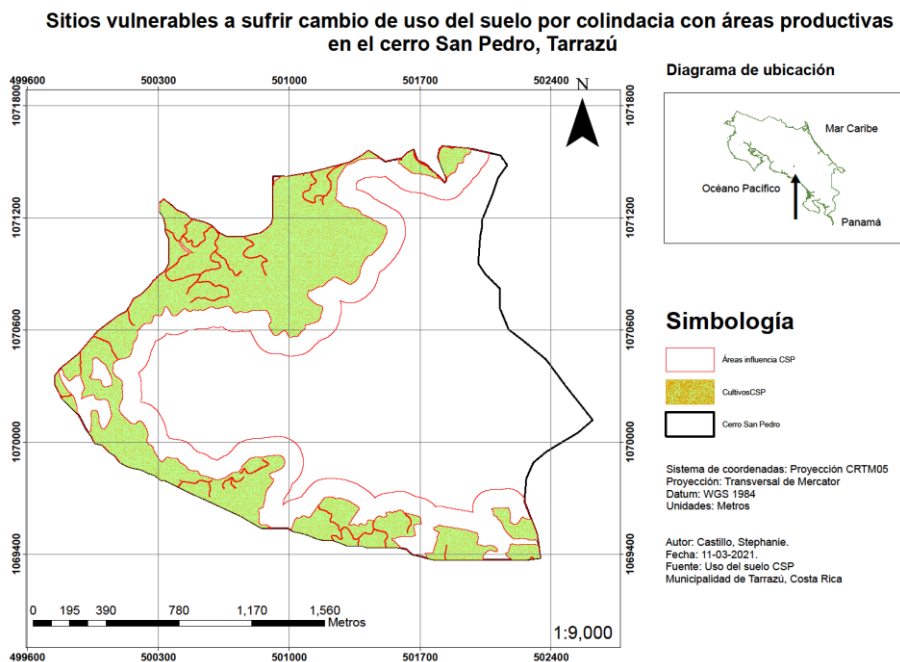


Figura 32. Mapa de sitios vulnerables a sufrir cambio de uso de suelo en cerro San Pedro, Tarrazú.

5.1.1.2.5 Zonas de vida

Se localizan en el cerro San Pedro dos zonas de vida, Bosque Húmedo Montano Bajo (Bh-MB), Bosque muy Húmedo Montano Bajo (Bmh-MB) (Centro Científico Tropical CCT y Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG, 2004) (figura 33). Sus atributos pueden observarse en la caracterización del cerro La Trinidad, ya que este se encuentra conformado por las mismas.

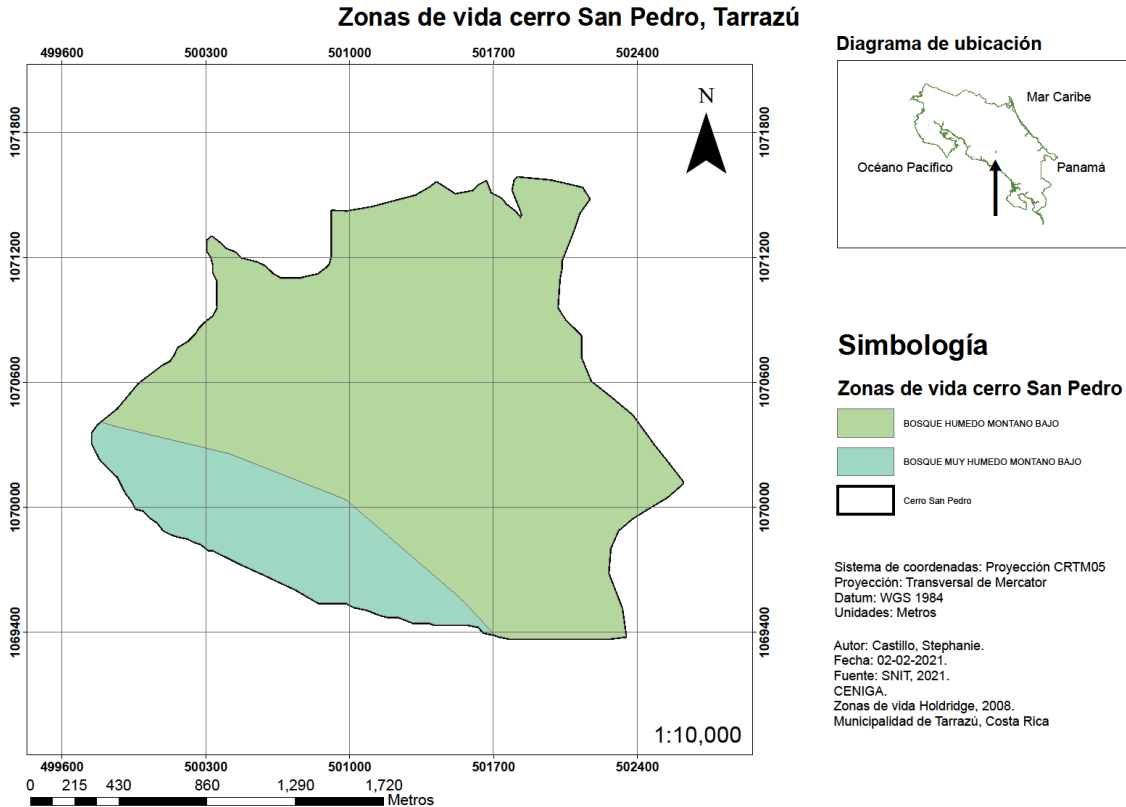


Figura 33. Mapa zonas de vida cerro San Pedro, Tarrazú.

5.1.1.2.6 Tipo de suelos

El cerro se encuentra conformado por suelos del orden Inceptisol y Ultisol (figura 34). El primero posee una extensión de 3,56 km² (88% del área) y se caracteriza por ser joven con horizonte b cámbico (apenas se forma un b), con abundante presencia de humus (Mata, *et al.* 2013). Los ultisoles representan el 12% del área (0,47 km²) y se caracterizan por presentar un horizonte argílico (20% de aumento en el contenido de arcillas) con menos del 35% de saturación de bases. Generalmente profundos, bien drenados de color rojo o

amarillo, relativa baja fertilidad, poseen baja saturación de bases y sus terrenos son escarpados con pendientes de más del 60% (Mata, *et al.* 2013).

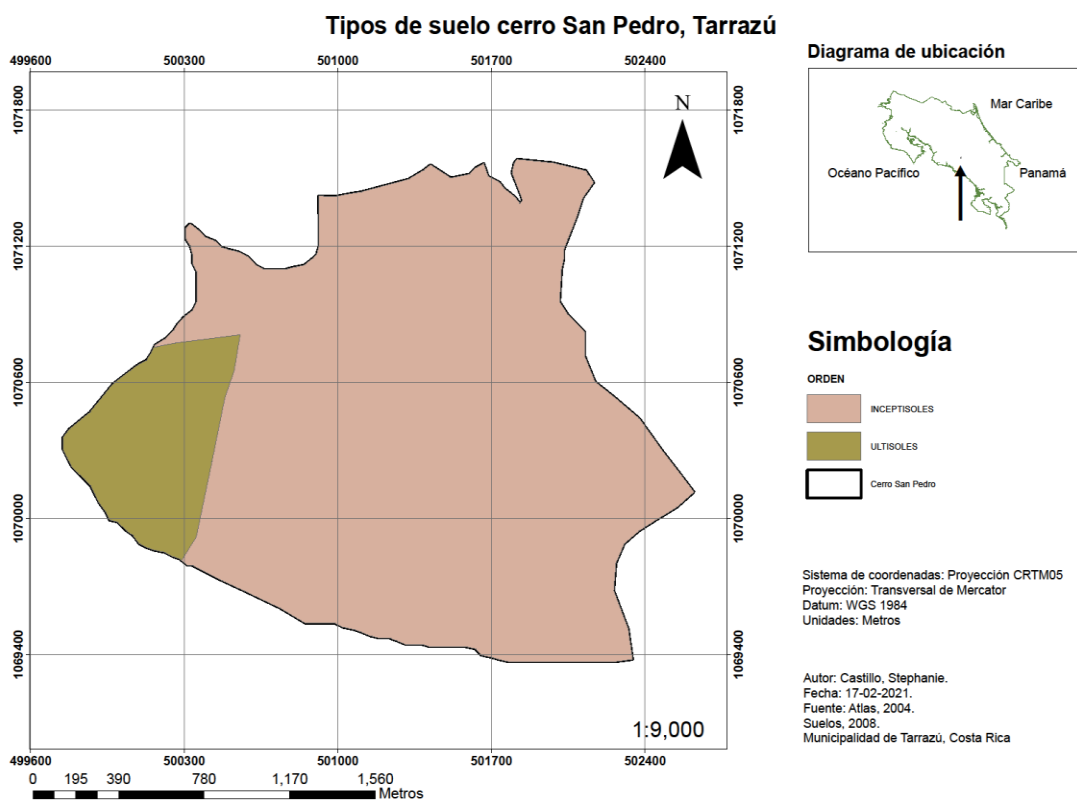


Figura 34. Mapa de tipos de suelo cerro San Pedro, Tarrazú.

5.1.1.2.7 Tipos de bosque y vegetación

El cerro San Pedro posee bosque maduro (2,36 km²) y secundario (0,52 km²), lo que representa un 59% y 13% del área total, respectivamente (figura 35) Las características vegetales del sitio son similares a las del cerro La Trinidad, ya que ambos comparten las mismas zonas de vida Bh-MB y Bmh-MB.

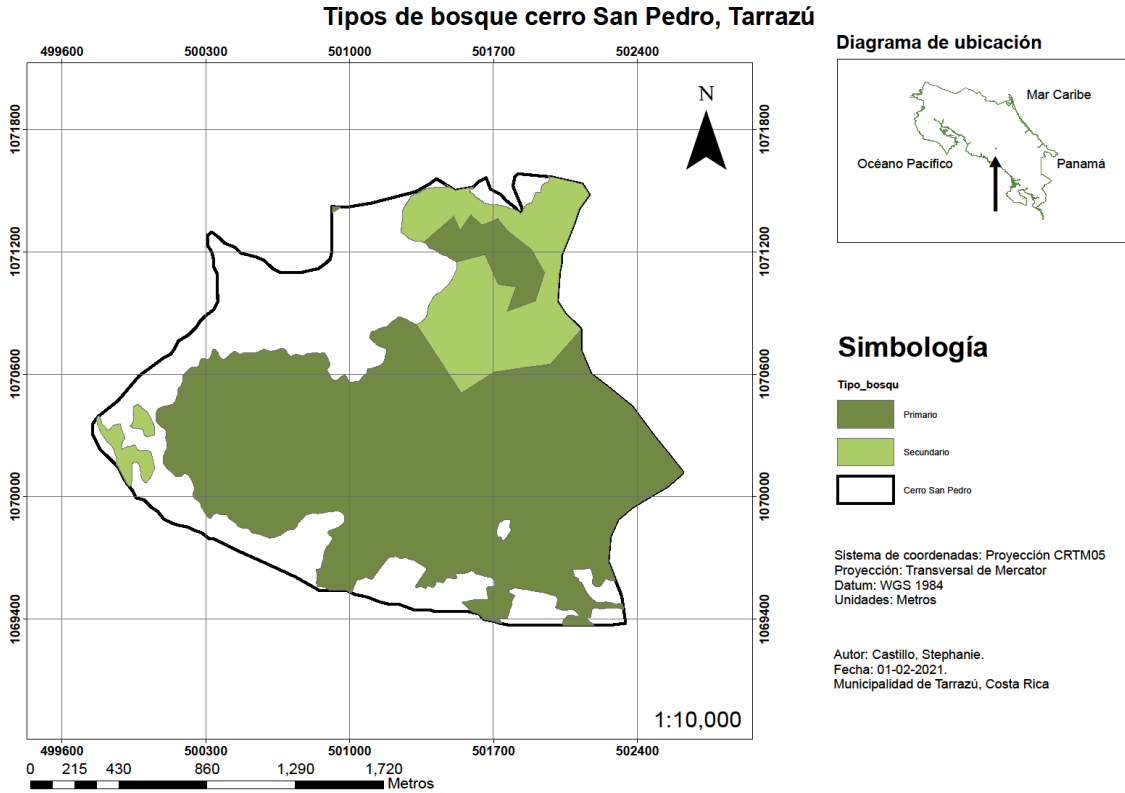


Figura 35. Mapa de tipos de bosque cerro San Pedro, Tarrazú.

5.1.1.2.8 Subcuenca y microcuenca

El cerro San Pedro se localiza dentro de la cuenca Costero Pacífico Central, la sub cuenca del Río Grande de Candelaria y la microcuenca del río Pirrís (Jiménez, s.f.).

5.1.1.2.9 Riesgo

Se determinó por medio de las capas coronas de deslizamiento, deslizamientos, fallas paleontológicas e inundaciones de la Comisión Nacional de Emergencias, que dentro del cerro San Pedro no existen puntos de alto riesgo. Sin embargo, a través del mapa de riesgo por remoción de masa, se identificó a los suelos de pendiente abrupta que se encuentran ubicados dentro de la categoría de uso (carente de vegetación o productiva) como los más susceptibles a sufrir afectaciones por deslizamientos y a los suelos de baja pendiente y ubicados en el uso bosque como los menos vulnerables (figura 36).

Mapa de vulnerabilidad por remoción de masa cerro San Pedro, Tarrazú

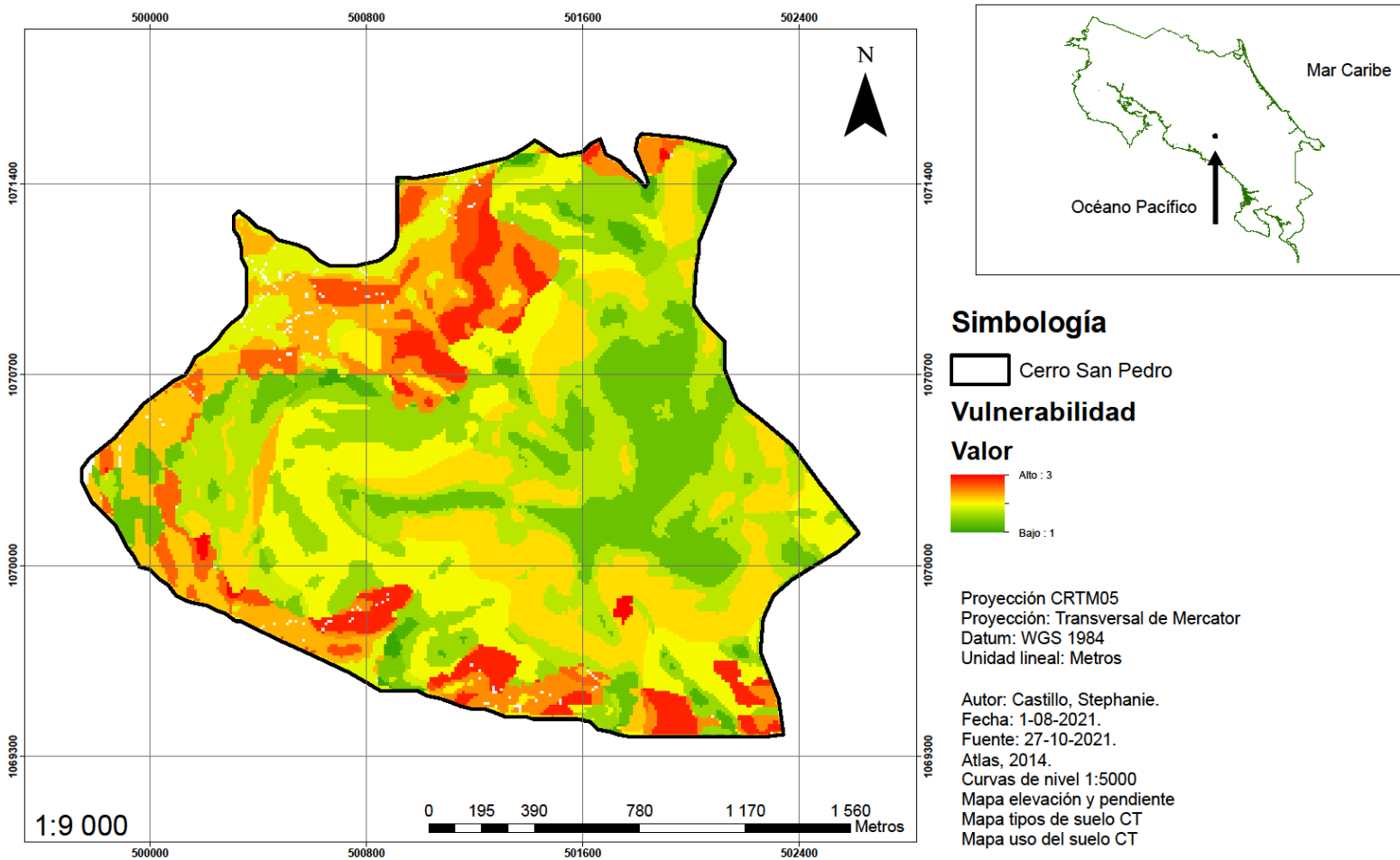


Figura 36. Mapa de vulnerabilidad por remoción de masa cerro San Pedro, Tarrazú.

5.1.2 Caracterización socioeconómica

Al no encontrar centros de población dentro del cerro La Trinidad y San Pedro se definió al elemento poblados aledaños (El Rodeo y San Pedro) como punto base para realizar el proceso de la caracterización socioeconómica.

5.1.2.1 Población

En total fueron encuestadas 30 personas, de las cuales 15 corresponden al poblado El Rodeo y 15 a San Pedro. En el primer caso la distribución por género fue de 8 femeninas y 7 masculinos, mientras que para el segundo fue de 7 y 8 respectivamente. La distribución por edad se observa en la figura 37.

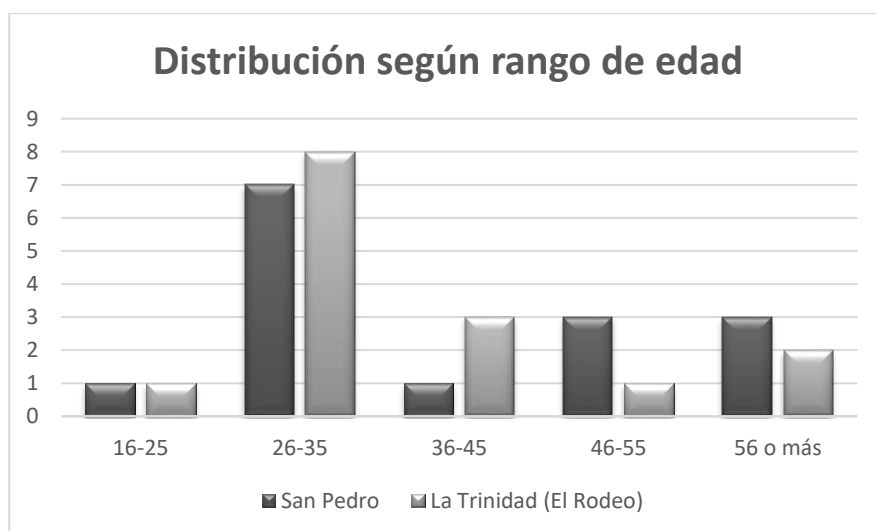


Figura 37. Distribución de la población encuestada según rango de edad.

En lo referente al nivel de escolaridad, un 30% cuenta con primaria incompleta, mientras que un 3% con universitaria (figura 38).

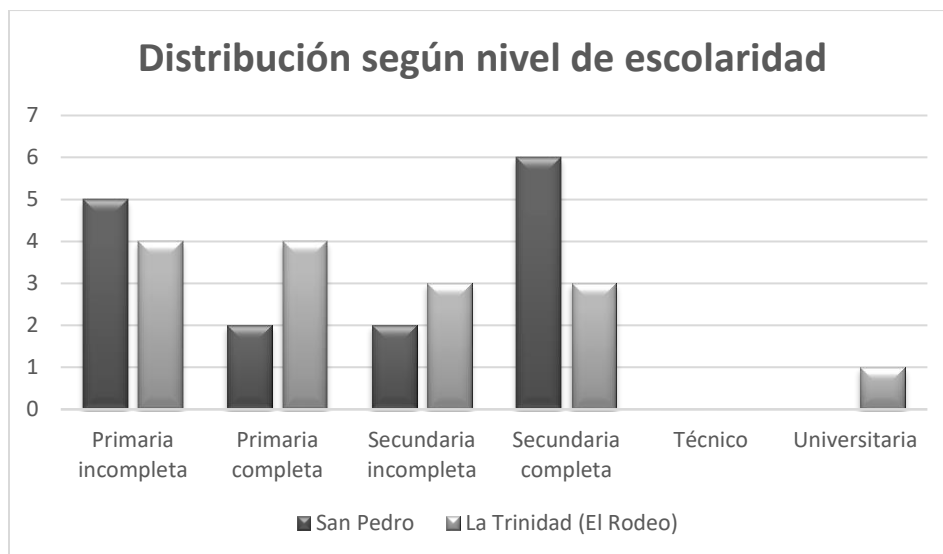


Figura 38. Distribución de la población encuestada según nivel de escolaridad.

Respecto a la cantidad de miembros por núcleo familiar, es la categoría 4-5 la que representa un mayor porcentaje con un 67% aproximadamente (figura 39).

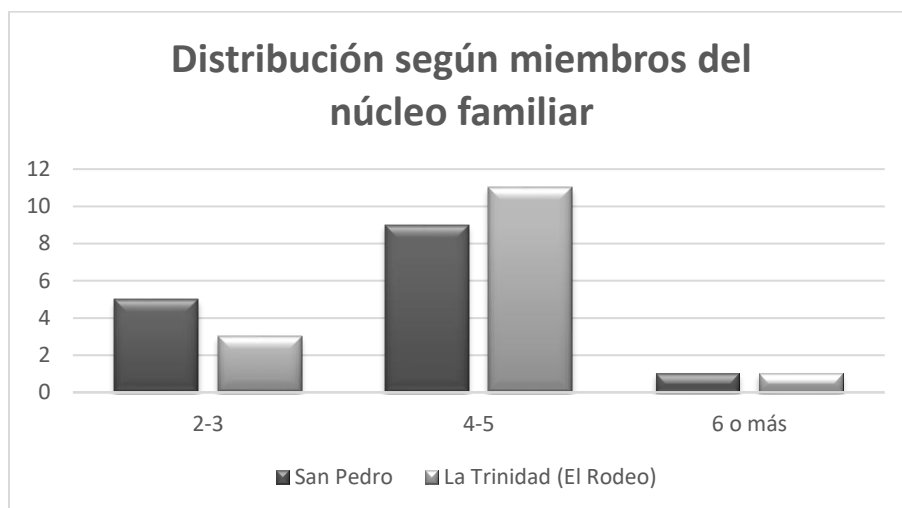


Figura 39. Distribución de la población encuestada según miembros del núcleo familiar.

En lo que refiere a servicios básicos el total de encuestados afirmó que en sus hogares se cuenta con acceso a agua potable, electricidad, cable y telefonía celular; siendo estos catalogados de alta calidad. En el caso de centros de educación (primaria, secundaria, técnica y universitaria), un 100% afirmó tener acceso a los mismos, ocurriendo lo mismo para el sistema de salud.

Ambos poblados cuentan con servicio de transporte público, la frecuencia en el caso de El Rodeo es de 1.5 horas, mientras que en San Pedro solo existen dos servicios diarios, a las 12 md y 4 pm. El estado de las vías es considerado como aceptable, exceptuando la parte más alejada de San Pedro en donde el camino es de lastre, por lo que consideran debe invertirse en su arreglo.

5.1.2.2 Principales actividades económicas

El café es considerado como la principal actividad productiva, sin embargo, en las partes bajas del cerro La Trinidad se encuentran actividades a menor escala como el cultivo de granadilla, mora y la apicultura. En el caso de San Pedro algunos productores se dedican, además, al cultivo de aguacate, berenjena y granadilla; dichos productos son empacados y llevados a ASOPRO, quienes los compran y se encargan de buscar mercados externos.

El sector construcción no cuenta con gran apertura en la zona, por lo que mencionan que este tiene una influencia leve en el desarrollo de ambos poblados. El mismo comportamiento ocurre con el sector comercial, el cual, si bien ha aumentado en los últimos años, aún requiere de un impulso.

5.1.2.3 Fuentes de empleo

Al ser el cultivo de café la principal actividad productiva de ambos poblados, las fuentes de empleo se ven condicionadas por esta, es decir, gran parte de los pobladores reciben ingresos gracias a la misma, ya sea como productor directo o como peón encargado de dar mantenimiento en la época de invierno o por las labores de recolección que dan inicio en el mes de noviembre. El ingreso promedio es de 8000 colones por jornal, lo que da como ingreso total mensual la suma de 192000 colones.

Los empleos generados por el sector comercio y construcción son muy pocos, en estos el salario mensual promedio percibido es de 280000-320000 colones.

5.1.2.4 Organizaciones locales

Dentro de la comunidad El Rodeo se encuentra La Asada local, La Asociación de Desarrollo Integral y en el sector (barrio los Mora) el grupo de vigilancia nocturna. En el caso de San Pedro se localizan La Asada, la Asociación de Desarrollo, Asociación de Productores (ASOPRO, Comité de Caminos y el Subcomité de Deportes. En el primer caso el nivel de participación ciudadana es catalogado como bajo, mientras que en el segundo este es bueno, muchos de los pobladores buscan involucrarse y mantenerse activos en grupos que trabajen en pro del desarrollo de la comunidad.

5.1.2.5 Percepción respecto a actividades económicas que se desarrollan en los cerros La Trinidad y San Pedro

La introducción del cultivo del café en las faldas de ambos cerros es una de las actividades que resaltan, sin embargo, esta no es vista de forma agradable por los ciudadanos, pues para ello se realizan cambios de uso de suelo ilegales, que pueden generar graves desequilibrios a nivel ambiental, como consecuencia de la sobre utilización del suelo.

Otra de las actividades mencionadas en el caso de La Trinidad es el turismo, el cual es desarrollado a muy baja escala por grupos organizados que incluyen el sitio La Cruz como uno de sus destinos. Las visitas al cerro actualmente no generan una remuneración económica a los poblados cercanos, ya que es visto principalmente como sitio de esparcimiento y recreación.

5.1.2.6 Beneficios percibidos de la conservación de los cerros

El 100% de los encuestados afirma obtener beneficios de la conservación de estos sitios, siendo representados principalmente en el ámbito social y ambiental. Dentro de algunos de ellos destacan:

- Varias de las fuentes de captación de agua que abastecen los poblados se localizan en de los cerros
- Belleza escénica que ofrece a la comunidad y visitantes
- Sitios en los que se llevan a cabo actividades recreativas, esparcimiento, compartimiento familiar, entre otros
- Aporte a la purificación del aire y diversos ciclos naturales

5.1.2.7 Actividades económicas propuestas para ser implementadas en los cerros

El 30% de la población encuestada considera que no deben implementarse actividades de carácter económico en estos sitios, justificando su postura con que esto podría perjudicar el estado actual de los recursos que ahí se encuentran. Sin embargo, la población restante sugirió algunas recomendaciones como el impulso del turismo rural, ya que a través de este se pueden generar mayores opciones para el desarrollo local, por medio del aumento de la afluencia de visitantes. Además, mencionan el acceso a mecanismos de incentivos por conservación como El Pago por Servicios Ambientales (PSA) o los planes de aprovechamiento sujetos a la ley.

5.1.2.8 Percepción respecto al valor de los cerros

Un 90% de los encuestados dijo tener un apego emocional con los cerros, que les motiva a promover la protección y conservación de los mismos. Dentro de algunas de las razones destacan:

- Recuerdos de infancia (paseos familiares, campañas de reforestación escuelas).
- Patrimonio de la comunidad
- Belleza escénica que otorga
- Símbolo de paz y tranquilidad
- Arraigamiento de conciencia ecológica
- Símbolo recreativo de los pobladores

A raíz de esto, la visión a futuro es que los cerros mantengan la cobertura actual, que las zonas de bosque sean las mismas o que inclusive aumenten, pues de esta forma también podrán conservarse los recursos o servicios ecosistémicos que brindan.

5.1.3 Caracterización ambiental

5.1.3.1 Bienes y servicios eco sistémicos presentes en el cerro La Trinidad y San Pedro, Tarrazú

Los principales servicios ecosistémicos del cerro La Trinidad y San Pedro fueron identificados por medio de consultas a expertos y representantes institucionales de la Zona, Maikel Gamboa Gestor Ambiental de la Municipalidad de Tarrazú, Alejandro Hernández miembro de la Asada San Pedro, José Fabio Zúñiga Gamboa encargado del Acueducto Municipal Tarrazú, Jorge Cordero Blanco representante de la Asada el Rodeo y miembros de los movimientos ambientalistas No más Deforestación en la Zona de los Santos y Tarrazú Verde (cuadro 16).

Cuadro 16. Principales bienes y servicios ecosistémicos del cerro la Trinidad y San Pedro.

Categoría	Bienes y servicios eco sistémicos
Abastecimiento	Medicinas naturales Suministro de agua potable
Regulación	Regulación de perturbaciones naturales Regulación del ciclo del agua Mejoramiento de la calidad del aire Control de la erosión Polinización Control biológico de las plagas
Apoyo	Provisión de hábitats Ciclo natural de nutrientes y agua Conservación de la diversidad genética
Cultural	Recreación y esparcimiento para la población Ecoturismo Educación ambiental Investigación científica

La belleza escénica del cerro La Trinidad es un atractivo turístico, el sector conocido como Alto La Cruz es visitado por locales y foráneos para el desarrollo de actividades de esparcimiento y recreación. También se ubican algunos de los principales puntos de captación de agua. Según M. Gamboa (comunicación personal, 25 de marzo de 2021) al

menos el 40% de la población del cantón es abastecida por dos nacientes captadas por la Municipalidad de Tarrazú y la Asada Santa Cecilia.

El cerro San Pedro posee fuentes de agua que abastecen parte de la población de San Marcos y San Pedro. Sus bosques albergan distintas especies de flora y fauna, y contribuyen con la protección del recurso suelo e hídrico. M. Gamboa (comunicación personal, 25 de marzo de 2021) señala la importancia de conservar estos sitios, pues hoy día son catalogados como pulmones del cantón de Tarrazú.

5.1.3.2 Problemática ambiental del cerro La Trinidad y San Pedro

Los recursos naturales presentes en el cerro La Trinidad y San Pedro no se encuentran exentos a verse afectados por algún tipo de perturbación. El crecimiento poblacional, el avance de la frontera agrícola y el escaso monitoreo son algunas de las amenazas más perceptibles, sin embargo, existen otras a las que debe prestársele atención, pues sus efectos podrían propiciar una alteración y por ende un posible deterioro de los mismos (cuadro 17).

Cuadro 17. Principales problemas ambientales del cerro La Trinidad y San Pedro.

Problema ambiental	Causas	Efectos
Cambio de uso del suelo	Cambio de uso de suelo sin permisos ni control por parte de las autoridades con fines de extensión de las áreas productivas	Alteración de ecosistemas Pérdida de hábitats Disminución de flora y fauna Alteración ciclo de nutrientes del suelo Erosión Riesgo a deslizamientos
Uso excesivo de agroquímicos en actividades productivas	Altas cantidades de agroquímicos utilizadas dentro de la producción de café, aguacate, entre otros (control de plagas, enfermedades, aumento niveles de producción)	Afectación a los mantos acuíferos, fuentes de captación, aguas superficiales Deterioro de las tierras y su nivel de productividad Enfermedades
Invasión áreas de protección	Irrespeto de las áreas de protección estipuladas por la legislación	Alteración de ecosistemas circundantes a sitios de captación

	Costarricense, principalmente para la expansión u ocupación cafetalera.	Contaminación fuentes de captación Tomas ilegales Disminución o pérdida del caudal disponible
Incendios forestales	Descuido de los pobladores a la hora de acampar o realizar actividades recreativas dentro de los cerros (mal manejo de fogatas). Uso de quemas para control de maleza o extensión de terrenos cultivables	Alteración de ecosistemas Pérdida de hábitats Disminución de flora y fauna Empobrecimiento de la fertilidad de los suelos Erosión
Toma ilegal de aguas	Conexiones ilegales de agua dentro de las fuentes pertenecientes al Acueducto Municipal de Tarrazú, Asada Santa Cecilia, entre otros. Daño de tuberías	Disminución o pérdida del caudal disponible Contaminación fuentes de captación
Ocupación ilegal de tierras	Construcción sin permisos, invasión de áreas de bosque	Cambios de uso del suelo Alteración y pérdida de hábitats
Mecanismos de educación ambiental limitados	Carencia de educación ambiental en ciertos sectores de la población	Aprovechamiento excesivo de los recursos naturales Malas prácticas productivas Irrespeto por los lineamientos base de la sostenibilidad ambiental

(Gamboa, Hernández, Zúñiga y Cordero, 2021).

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales problemas es el avance de la frontera agrícola. La ocupación de terrenos por plantaciones de café continúa en aumento, sitios de vocación forestal sufren el cambio de uso de suelo, poniendo en riesgo biodiversidad, fuentes de agua, sitios de recarga, entre otros recursos (figura 40 y 41).



Figura 40. Cambio de uso del suelo por cultivo de café en cerro La Trinidad, Tarrazú



Figura 41. Cambio de uso del suelo por cultivo de café en cerro San Pedro, Tarrazú

El incumplimiento de los lineamientos establecidos para las áreas de protección está propiciando el detrimento de las fuentes de captación pertenecientes al Acueducto Municipal y Asadas, pues, al disminuir las zonas de amortiguamiento son más propensas a la contaminación por desechos sólidos, sustancias químicas, entre otros) (A. Hernández, comunicación personal, 19 de marzo de 2021) (figura 42).



Figura 42. Problemática desechos sólidos en cerro La Trinidad, Tarrazú.

Si son perturbados los sitios de recarga, puede generarse una disminución del caudal de las fuentes superficiales y subterráneas. Castro *et al.* (2010) mencionan que los nuevos usos del suelo producto de las actividades antropogénicas atentan contra la recarga acuífera, debido a que se disminuye la retención de agua y la presencia de nacientes permanentes.

En respuesta a las problemáticas identificadas los expertos y representantes institucionales de la Zona plantearon acciones que permitan su cobertura de manera total o parcial, entre ellas:

- Trabajo conjunto entre comunidad y municipalidad para crear una red de información sobre las políticas de uso de suelo
- Mayor control sobre el otorgamiento de permisos para construcción.
- Restauración de sitios alterados que se encuentren cercanos a las fuentes de captación de agua.
- Adquisición de terrenos colindantes a tomas pertenecientes al Acueducto Municipal y Asadas.
- Crear una conciencia hacia los dueños de áreas naturales sobre el aprovechamiento en programas sostenibles, por ejemplo, ecoturismo.
- Campañas de educación ambiental orientadas a la población adulta, con un enfoque hacia las actividades de producción sostenibles.
- Asesoramiento por parte del MAG y Coopetarrazú hacia los productores sobre la aplicación de técnicas de producción de menor impacto.
- Mayor monitoreo por parte de las instituciones (SINAC, Municipalidad) sobre las actividades productivas y posibles infracciones a la ley como el cambio de uso del suelo.
- Que las autoridades encargadas ejecuten las acciones que se dictan en aquellos casos de daño ambiental.
- Elaboración y aplicación de un plan zonificación ambiental como herramienta de ordenamiento territorial.

5.1.3.3 Acciones de instituciones públicas Municipalidad de Tarrazú, SINAC, Acueductos, en beneficio de la conservación de los recursos naturales del cerro La Trinidad y San Pedro

Dentro de las acciones que realiza La Municipalidad de Tarrazú se encuentra la restauración de sitios degradados, rotulación de áreas de protección, gestión del centro de Acopio, campañas de educación ambiental y el seguimiento de denuncias ambientales. Además, actualmente se encuentra apoyando el desarrollo del presente proyecto “Propuesta

de Zonificación Ambiental del cerro La Trinidad y San Pedro, Tarrazú”. (M. Gamboa, comunicación personal, 25 de marzo de 2021).

La Asada Santa Cecilia ha realizado la compra de terrenos cercanos a los puntos de captación. Sin embargo, algunos propietarios se niegan a vender, razón por la que están implementando medidas para la protección de las tomas que se encuentran en zonas vulnerables (S. Alvarado, comunicación personal, 19 de marzo de 2021).

La Asada el Rodeo lleva a cabo campañas de reforestación en las áreas colindantes a las nacientes. Además, ha implementado el uso de mallas como barrera para la contaminación y de válvulas para el aprovechamiento sostenible del agua, ya que estas permiten devolver el exceso al cauce de la naciente. La Asada también imparte charlas en las escuelas de su localidad sobre la importancia de conservar el recurso hídrico (A. Hernández, comunicación personal, 19 de marzo de 2021).

Iniciativas ambientalistas como “no más deforestación en la Zona de Los Santos” han enrumbado sus labores a la información y concientización por medio de redes sociales. Además, de la participación en un pequeño proyecto de reforestación en el cantón (P. Camacho, comunicación personal, 22 de marzo de 2021).

5.2 Propuesta de zonificación ambiental

5.2.1 Cerro La Trinidad, Tarrazú

El proceso de zonificación y su análisis multicriterio permitió delimitar el cerro La Trinidad en cuatro categorías de conservación. Se determinó que la mayor área de terreno se encuentra en la categoría restringida (0) la que alcanza el 88.9% del área total (cuadro 18). La distribución del área cubierta por cada categoría de conservación se observa en la figura 43.

Cuadro 18. Extensión de las categorías de conservación del cerro La Trinidad, Tarrazú.

Cerro	Valor	Categoría	Área (ha)	Cobertura (%)
	0	Muy alta conservación (restringida)	509.446	88.9%

	2	Alta conservación	0.2	0.03%
La Trinidad	3	Media conservación	56.3	9.8%
	4	Baja conservación	7	1.2%
		Total	572.9	100%

Por las condiciones que presenta la categoría 0, esta requiere un nivel de conservación mayor; ya que ahí se encuentran todas las áreas a las que se le asignó un valor restringido dentro del proceso de zonificación. Es decir, todos aquellos sitios de pendiente abrupta, con el mayor grado de vulnerabilidad ante deslizamientos, ubicados en la categoría de uso del suelo de muy alta prioridad conservativa (bosque), y que se encuentran dentro del área de influencia directa de los ríos y nacientes.

La categoría 2 requiere un nivel alto de conservación, ya que está conformada por sitios con un grado elevado de vulnerabilidad ante deslizamientos, que, además, se encuentran ubicados en la categoría de uso “desprovisto de vegetación” que representa sitios de suelo expuesto, y localizados dentro del área de influencia media de los ríos y nacientes, entre otros factores.

Por sus características la categoría 3 requiere un nivel medio de conservación, ya que son zonas con rangos bajos de pendiente, que presentan un grado de vulnerabilidad medio ante deslizamientos y que se encuentran localizadas en la categoría de uso “pastos” y dentro del área de influencia indirecta de los ríos y nacientes.

Finalmente, la categoría 4 demanda un nivel bajo de conservación. Pues, se encuentra conformada por todas aquellas zonas con muy baja probabilidad de sufrir afectaciones por deslizamientos, que, además, se ubican dentro de la categoría “cultivos” y fuera del área de influencia de los ríos y nacientes.

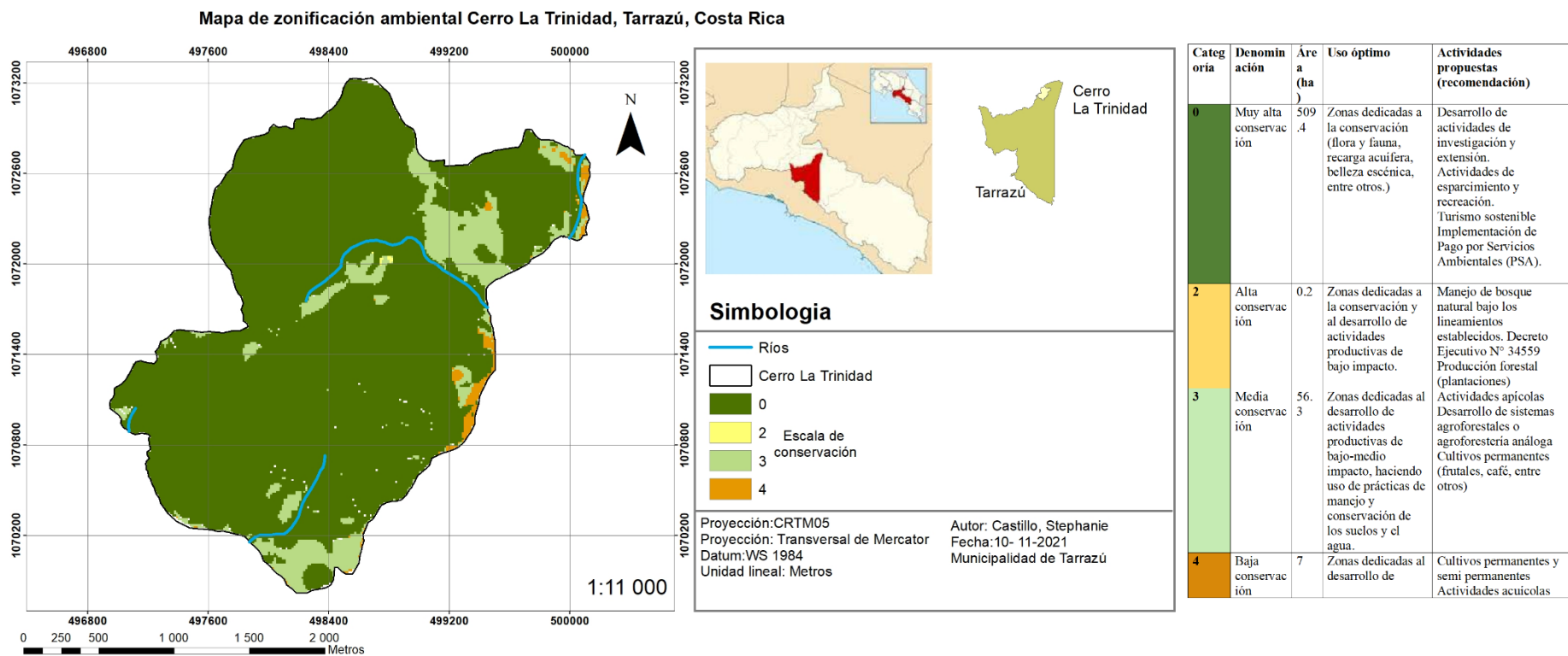


Figura 43. Mapa de zonificación ambiental cerro La Trinidad, Tarrazú.

Gran proporción del territorio se encuentra ubicada dentro de la categoría de mayor grado conservativo, esto en parte como resultado de la cantidad de bienes y servicios ecosistémicos que posee el Cerro. Según datos obtenidos en el proceso de caracterización biofísica este tiene trece fuentes de captación de agua, las cuales abastecen a los poblados de El Rodeo, Santa Cecilia y San Marcos de Tarrazú. En donde, por ejemplo, el manantial El Rodeo perteneciente a la Municipalidad de Tarrazú posee un caudal para consumo humano de 7,2 m³/s (SINIGIRH, 2020).

Garantizar en la medida posible la conservación del estado y disponibilidad de estas fuentes permitirá que los pobladores puedan seguir sufriendo sus necesidades fundamentales. Para ello fue que se definió dentro de la variable cuerpos de agua (ríos y nacientes) a la distancia como elemento evaluativo, en donde a mayor cercanía mayor nivel de restricción y viceversa. Buscando así que los puntos más vulnerables, en donde las perturbaciones puedan llegar a generar graves afectaciones se mantengan protegidos.

Otro elemento tomado en cuenta fue el uso del suelo, en donde los bosques resultaron de alta prioridad conservativa. Es por ello que si se compara el mapa de usos con el de zonificación se podrá observar como el área de bosque se encuentra en su mayoría dentro de la categoría 0 de conservación. Algo similar sucede con las áreas productivas, las cuales tienen el nivel más bajo de restricción, pues son zonas que ya se encuentran alteradas para cubrir una actividad específica.

Los elementos altitud, pendiente y riesgo por remoción de masa también fueron utilizados, por lo que los sitios de pendiente abrupta, ubicados en las elevaciones superiores y con el mayor riesgo a sufrir deslizamientos también se encuentran abordados dentro de la categoría 0.

En resumen, es la suma de factores biofísicos, socio ambientales y de riesgo los que propiciaron que casi la totalidad del cerro se encuentre en la categoría de muy alta conservación. Las actividades que se recomienda se desarrollen por categoría se detallan en el cuadro 20.

5.2.2 Cerro San Pedro, Tarrazú

En el cerro San Pedro fueron obtenidas tres categorías de conservación. Siendo también la categoría restringida (0) la que abarcó la mayor parte del territorio, con un 86.7% aproximadamente (cuadro 19). La distribución del área cubierta por cada categoría de conservación se observa en la figura 44.

Cuadro 19. Extensión de las categorías de conservación del cerro San Pedro, Tarrazú.

Cerro	Valor	Categoría	Área(ha)	Porcentaje
San Pedro	0	Muy alta conservación (restringida)	346	86.7%
	2	Media conservación	3.4	0.85%
	3	Baja conservación	49.4	12.3%
Total			399	100%

Nota¹- La reducción que se presenta en el área total de ambos cerros respecto a los archivos originales (shapefile) se debe a la transformación del archivo a formato ráster.

Nota²- Los shapefile son un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas (Esri, 2021).

Las características de la categoría 0 son las mismas que en el cerro La Trinidad, por lo que son estos sitios los que van a requerir el mayor nivel de resguardo. Los recursos o condiciones de alto valor conservativo se encuentran incluidos dentro de ella.

La categoría 2 requiere un nivel medio de conservación, ya que está conformada por todos aquellos sitios que presentan un grado de vulnerabilidad medio ante deslizamientos, y que, además, se encuentran ubicados en la categoría de uso “desprovisto de vegetación” y dentro del área de influencia indirecta de los ríos y nacientes, entre otros factores.

Por sus características la categoría 3 requiere un nivel bajo de conservación, ya que son zonas con rangos mínimos de pendiente, que presentan muy baja probabilidad de sufrir afectaciones por deslizamientos, y que se ubican dentro de la categoría “cultivos” y fuera del área de influencia de los ríos y nacientes.

Mapa de zonificación ambiental Cerro San Pedro, Tarrazú, Costa Rica

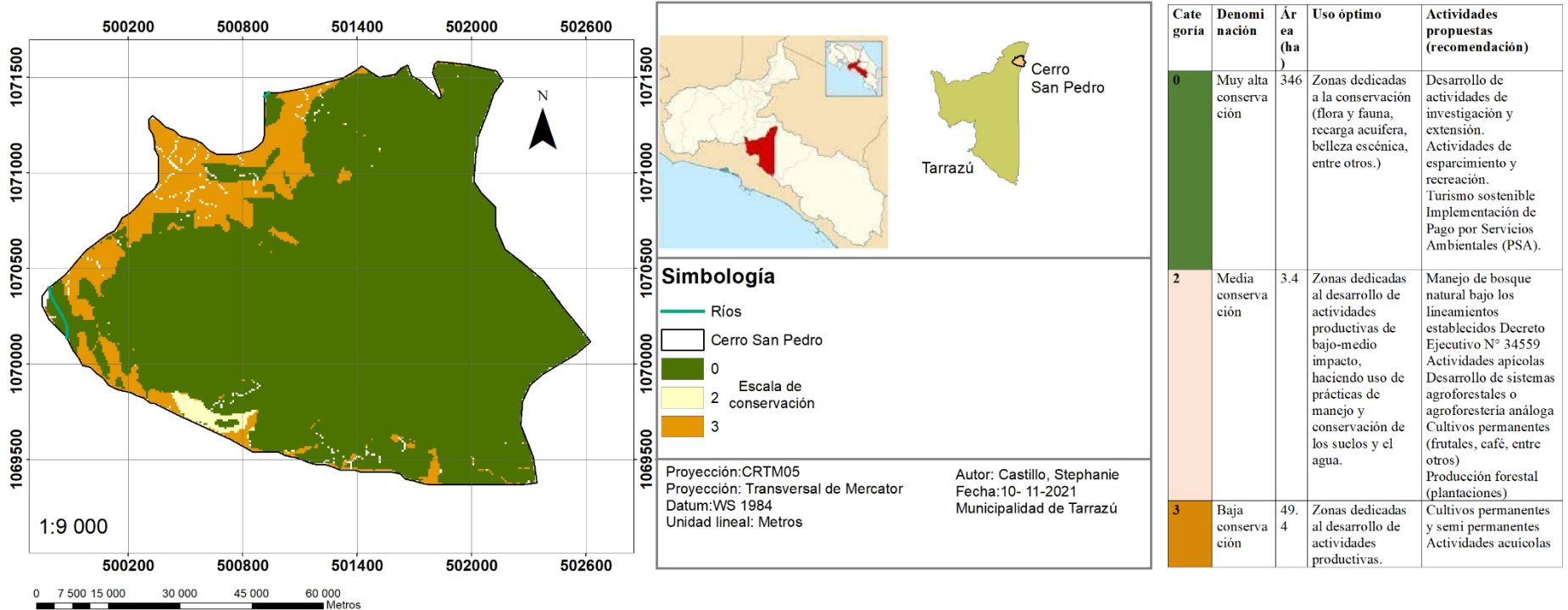


Figura 44. Mapa de zonificación ambiental cerro San Pedro, Tarrazú.

Al igual que La Trinidad el cerro San Pedro es fuente de múltiples bienes y servicios ecosistémicos, este cuenta con dos fuentes de captación de agua, las cuales pertenecen a La Asada San Pedro y San Luis de Tarrazú y a usuarios independientes (SINIGIRH, 2020). Si bien, cuenta con menos manantiales en comparación al cerro La Trinidad esto no quiere decir que no sean de gran importancia para el posible abastecimiento de agua potable a las comunidades aledañas. Por lo que su conservación resulta fundamental para asegurar la disponibilidad del recurso.

En este caso también fue el uso del suelo bosque el que más representación tuvo, seguido de cultivos y desprovisto de vegetación, dando como resultado lo observado en el mapa de zonificación, una mayor parte del cerro ubicada dentro de la categoría 0.

En términos generales el mapa abordó el uso del suelo bosque, las áreas cercanas a cuerpos de agua, las zonas con elevación superior y rangos de pendiente marcada, y los sitios con mayor riesgo a deslizamiento y los agrupó en la categoría de uso restringido. Esto en respuesta a la cobertura de las necesidades planteadas por la Municipalidad de Tarrazú, ente que buscaba delimitar los cerros según su capacidad de uso, pero haciendo énfasis en la conservación de los recursos que allí fueran identificados.

Por la cantidad de elementos que fueron abordados en la propuesta de zonificación de los cerros es esperado el resultado obtenido. Pues al definir diversos elementos como de alta prioridad conservativa el programa así lo va a reflejar, aún más cuando alguno de estos tiene la mayor representatividad (área) dentro del sitio bajo análisis.

Cabe destacar que la distribución del área por categorías de la zonificación es muy similar para ambos cerros, sin embargo, se observa como en este caso existe mayor representatividad de la categoría baja conservación (3). Lo que puede deberse a la escala de clasificación empleada, ya que para la Trinidad fueron 4 y para San Pedro 3.

5.2.3 Propuesta de actividades a desarrollar según categoría de zonificación

Cuadro 20. Propuesta de actividades según categoría de zonificación generada para el cerro La Trinidad y San Pedro

Zona (categoría)	Escala de conservación	Uso óptimo	Actividades propuestas (recomendación)
0	Muy alta conservación	Zonas dedicadas a la conservación (flora y fauna, recarga acuífera, belleza escénica, entre otras).	I. Desarrollo de actividades de investigación y extensión. II. Actividades de esparcimiento y recreación. III. Turismo sostenible. IV. Implementación de PSA
2	Alta conservación	Zonas dedicadas a la conservación y al desarrollo de actividades productivas de bajo impacto.	I. Manejo de bosque natural bajo los lineamientos establecidos. Decreto Ejecutivo N° 34559 II. Producción forestal (plantaciones)
3	Media conservación	Zonas dedicadas al desarrollo de actividades productivas de bajo-mediano impacto, haciendo uso prácticas de manejo y conservación de los suelos y el agua.	I. Actividades apícolas. II. Desarrollo de sistemas agroforestales. III. Cultivos permanentes (frutales, café, entre otros).
4	Baja conservación	Zonas dedicadas al desarrollo de actividades productivas.	I. Cultivos permanentes y semipermanentes. II. Actividades acuícolas. III. Actividades pecuarias.

Notas: ¹⁻ Las recomendaciones se mantienen para ambos cerros, exceptuando la categoría “alta conservación” para el cerro San Pedro, ya que este se encuentra conformado únicamente por muy alta, media y baja conservación.

²⁻ Las actividades deben mantenerse ajustadas a los lineamientos establecidos en el Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM. Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica.

³⁻ Las actividades presentan carácter acumulativo, cada categoría engloba a la anterior.

Cada elemento que compone las categorías requiere un manejo distinto, es por ello que resulta complejo aplicar actividades que aseguren la conservación o protección total de los mismos. A raíz de esto, se recomiendan acciones que logren en la medida posible resguardar el entorno de los recursos, evitando así que actividades de origen antropogénico puedan generar perturbaciones graves con consecuencias irremisibles.

5.2.3.1 Zonas dedicadas a la conservación de flora y fauna, recarga acuífera, belleza escénica, y otros recursos

Los bienes y servicios ecosistémicos que brindan los bosques resultan vitales para el bienestar y desarrollo de la sociedad. Lograr su conservación no solo asegura el acceso a estos por parte de las generaciones actuales, sino que mantiene la posibilidad de que las generaciones futuras también lo tengan.

El recurso hídrico es un elemento vital en el desarrollo del ser humano, este resulta indispensable para la vida, la salud, y el crecimiento socioeconómico. Velar por el resguardo de las zonas de influencia media y directa de los cuerpos de agua (sitios de recarga, afloramientos, ríos, quebradas, entre otros) evita que se ponga en riesgo su estado y disponibilidad, y por ende garantiza el bienestar de la población que se ve abastecida por esta. Para que se asegure el mantenimiento de la calidad y la continuidad del recurso hídrico se requiere de una regulación que aborde, con una buena base técnica, el ancho de las franjas ribereñas, el ancho y tipo de los cauces, aspectos hidrogeológicos de los acuíferos y los usos en terrenos adyacentes a los cuerpos de agua (Cepeda y Navarro, 2010). Para Costa Rica la Ley Forestal no. 7575 de 1996 define tres áreas de protección:

- a) Las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal.
- b) Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado.
- c) Una zona de cincuenta metros medida horizontalmente en las riberas de los lagos y embalses naturales y en los lagos o embalses artificiales construidos por el Estado y sus

instituciones. Se exceptúan los lagos y embalses artificiales privados. Es necesario que, además, de seguir con estos lineamientos, se procure la buena gestión del agua subterránea a través de la protección de las zonas de recarga, elemento fundamental para el alcance de la gestión integrada del recurso hídrico.

Cabe resaltar que en el país también existe la Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes 2020-2040, por medio de la que se pretende generar el marco estratégico y de acción nacional para la recuperación de la cobertura arbórea y el resguardo de las áreas de protección, facilitando a su vez los espacios y los mecanismos para un trabajo conjunto entre los diferentes actores sociales e institucionales (MINAE, 2020).

En el país existe todo un marco legal que vela por el manejo y protección del bosque, cuyas pautas van a variar según características y ubicación del sitio. Si las condiciones así lo permiten se pueden aprovechar los espacios de investigación y extensión que ofrecen Universidades, ONGS, además, de los beneficios que ofrecen los bosques a nivel recreativo y de bienestar social o económico (turismo sostenible). Una opción viable dentro de estas áreas es la implementación del turismo sostenible, ya que dentro de este se perciben beneficios de índole económica, social y ambiental, resultando las comunidades localizadas en el área de influencia de los proyectos las principales beneficiadas (SINAC, s.f.).

Otra opción es el acceso a mecanismos de financiamiento como el Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA), el cual reconoce cuatro servicios ambientales que brindan los bosques; mitigación de los gases de efecto invernadero, protección del recurso hídrico, protección de la biodiversidad y protección de la belleza escénica (Oficina Nacional Forestal ONF, 2020).

La esencia radica en velar por la conservación de los recursos, pero sin dejar de lado la cobertura de las necesidades de la población.

5.2.3.2 Zonas dedicadas a la conservación y al desarrollo de actividades productivas de bajo impacto.

Es posible desarrollar actividades económicas dentro de zonas boscosas y que no generan el detrimento de los recursos si se aplican de acuerdo con los lineamientos establecidos. Por ejemplo, se dispone de Los Estándares de Sostenibilidad para Manejo de Bosques Naturales, que según el Decreto Ejecutivo N° 34559-MINAE, publicado en la Gaceta N° 115 del 16 de junio de 2008, se realiza de acuerdo con los Principios numerados del 1 al 3 y sus respectivos Criterios e Indicadores, al Código de Prácticas y al Manual de Procedimientos. Por medio del cumplimiento de esos estándares se logra el aseguramiento del estado y conservación de las áreas de bosque sujetas a manejo.

Otra de las actividades es el establecimiento de plantaciones forestales en las zonas que así lo permitan, las cuales deben ir sujetas a calidades de sitio, condiciones biofísicas, bioclimáticas, tipo de especie, entre otras. Según Arias (2004) las plantaciones forestales constituyen una parte fundamental del modelo de conservación que el país ha decidido adoptar, por cuanto es la actividad forestal que, además, de producir importantes servicios ambientales, genera empleo y desarrollo económico en las áreas rurales de mayor pobreza.

5.2.3.3 Zonas dedicadas al desarrollo de actividades productivas de bajo-mediano impacto, haciendo uso prácticas de manejo y conservación de los suelos y el agua.

Existe un vínculo directo entre el estado de los recursos naturales y las actividades productivas que se desarrollan en un sitio, ya que, de las técnicas aplicadas, los productos empleados, el respeto por los límites establecidos, entre otros factores, va a depender el grado de presión y afectación que se genere sobre los mismos. Por ejemplo, en un estudio realizado por Menchaca y Alvarado (2011) sobre los “Efectos antropogénicos provocados por los usuarios del agua en la microcuenca del Río Pixquiac” se llegó a la conclusión de que era la actividad agrícola la que mayor número de impactos irreversibles generaba, como consecuencia del uso de agroquímicos para mejorar la eficiencia de sus cultivos a corto plazo, la implementación de cultivos que no son de la región y la no rotación de las tierras.

Por esta razón resulta fundamental la implementación de estrategias productivas ambientalmente sostenibles, que permitan obtener los recursos necesarios, pero sin poner en riesgo el estado de los otros. Entre algunas de ellas se encuentran (IICA, 2021):

- La rotación de cultivos
- Los sistemas multicultivos
- El uso de cultivos de cobertura
- Los sistemas de labranza cero y de labranza reducida
- El manejo integrado de plagas (MIP)
- Las prácticas agroforestales sostenibles y la agricultura de precisión, entre otras.

IICA (2021) señala que las prácticas sostenibles permiten reducir el impacto de la agricultura sobre el ambiente y aumentar su capacidad de adaptación al cambio climático, lo que a su vez contribuye a reducir la pobreza rural y a aumentar los niveles de seguridad alimentaria.

Además, como una opción a los sistemas tradicionales de producción se presenta la forestería análoga (FA), la cual, es una forma compleja y holística de silvicultura, que minimiza la aplicación de insumos externos, tales como agroquímicos y combustibles fósiles, y en su lugar fomenta las funciones ecológicas para aumentar la resiliencia y la productividad (Red Internacional de Forestería Análoga RIFA, 2022).

La implementación de los sistemas análogos permite mantener o mejorar el estado de los ecosistemas y a su vez impulsar el desarrollo local, por medio del mejoramiento de las condiciones de vida de los dueños de bosques, al promover la diversificación de productos y su comercialización con un enfoque de valor agregado.

5.2.3.4 Zonas dedicadas al desarrollo de actividades productivas

Aunque se trate de cultivos permanentes o semipermanentes debe mantenerse la aplicación de prácticas productivas de bajo impacto, ya que, el desarrollo de estas sin ningún tipo de restricción puede generar afectaciones graves como resultado del sobre uso de los suelos o de los productos químicos.

En el caso de las actividades pecuarias, para que estas no sean catalogadas con externalidades negativas sobre los recursos naturales deben procurar cumplir con una labranza conservacionista, el manejo apropiado de los desechos, uso controlado de agroquímicos y el mantenimiento de coberturas y ambientes protegidos (GFA Consulting Group S.A, 2010).

Entre las prácticas de ganadería sustentable resaltan: el sistema silvopastoril, el pastoreo racional, el pastoreo rotacional intensivo, el manejo holístico y la ganadería diversificada y otros. Estos aparte de ser productivos económicamente, permiten el uso racional de los recursos naturales, incrementando la cobertura vegetal y la captura de carbono, a la vez que reducen la compactación del suelo, la contaminación del agua y la dependencia de insumos externos (Cruz y Arellano, s.f.).

5.2.4 Papel de las organizaciones locales y gubernamentales en la implementación de la propuesta

Existen organizaciones locales, gubernamentales y grupos organizados que se verán involucrados de forma directa con la ejecución de la propuesta (cuadro 21), es por ello que resulta trascendental definir cuál sería el papel de estas para así poder impulsar el desarrollo óptimo de la misma.

Cuadro 21. Papel de las organizaciones locales y gubernamentales en la implementación de la propuesta de zonificación ambiental de los cerros La Trinidad y San Pedro, Tarrazú.

Organización	Papel dentro de propuesta
Municipalidad de Tarrazú	Ejecución, seguimiento y control de propuesta de zonificación de uso de la tierra.
MINAE	Apoyo en el resguardo y manejo de los bienes y servicios ecosistémicos presentes en los cerros.
Asociación de desarrollo (San Pedro y El Rodeo)	Propiciar espacios de diálogo y divulgación para que a través de estos se conozcan los objetivos y alcance de la propuesta entre los miembros de la comunidad. Identificación de puntos o sitios problemáticos que requieren intervención, además de la formulación o

	<p>presentación de iniciativas de cobertura.</p> <p>Promover el acogimiento de la propuesta por parte de los miembros de la comunidad.</p> <p>Labores de apoyo en la vigilancia de los cerros, en conjunto con la Municipalidad, Asadas y Asociaciones.</p>
ASADA (San Pedro y El Rodeo)	<p>Promover el acogimiento de la propuesta por parte de los miembros de la comunidad.</p> <p>Incentivar en los usuarios la importancia del resguardo del recurso hídrico y elementos relacionados a este.</p> <p>Aplicación de prácticas en función de la protección del recurso hídrico.</p> <p>Identificación de puntos o sitios problemáticos que requieren intervención, además de la formulación o presentación de iniciativas de cobertura.</p>
Asociación de productores de Granadilla (ASOPRO)	<p>Apoyo a pequeños productores (compra de productos cultivados en cerro San Pedro).</p> <p>Labores de apoyo en la vigilancia de los cerros, en conjunto con la Municipalidad, Asadas y Asociaciones.</p>
Otros grupos organizados (deportes, mantenimiento de caminos, entre otros)	<p>Apoyo en el acogimiento y ejecución de la propuesta.</p>

La Municipalidad de Tarrazú como ente rector cantonal debe proponer el establecimiento de una política local para el manejo de los cerros, basada en la zonificación de uso de la tierra en los cerros La Trinidad y San Pedro, además de velar por la ejecución oportuna del proyecto, definiendo las etapas de implementación del mismo, así como la apertura de procesos de divulgación, promoción de espacios de diálogo y participación entre actores involucrados, definición de mecanismos de seguimiento y control, entre otros factores.

Además, la Municipalidad puede tomar la iniciativa de establecer una coordinación intermunicipal con el ayuntamiento de Dota, buscando con ella una mejor gestión de las tierras que comparten las municipalidades, evitando en la medida posible la aparición de conflictos por diferencias o intereses.

Los espacios de diálogo y divulgación permiten es que instituciones de peso a nivel medio ambiental de la zona puedan verse involucradas, logrando así que estas sean un soporte para el desarrollo óptimo de los objetivos de la propuesta, tal es el caso del MINAE, ente cuya misión es contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del país mediante la promoción del manejo, conservación y desarrollo sostenible de los elementos, bienes, servicios y recursos ambientales y naturales del país (Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica MINAE, 2022).

Asimismo, las Asociaciones de Desarrollo, ASADAS, y demás grupos organizados tienen un papel fundamental, ya que recursos de alto interés se verían influenciados por la ejecución de la propuesta de zonificación. Las ASADAS con el resguardo de los sitios de captación y las Asociaciones con la promoción del bienestar social, económico y ambiental de la comunidad, entre otros. Por el rol que ambas cumplen dentro de la comunidad, tienen mayor facilidad de:

- Generar espacios de participación ciudadana
- Incentivar el involucramiento de la comunidad en los diferentes procesos relacionados con la mejora de las condiciones locales.
- Promover iniciativas para la protección de los recursos
- Promover iniciativas para el desarrollo local.

La propuesta como tal ya recomienda el tipo de actividades que podrían llevarse a cabo según la categoría de zonificación, sin embargo, se busca que por medio de estas instituciones o grupos se pueda generar un mayor alcance de la misma, logrando crear soluciones reales para los poblados circundantes, y no solo la aplicación lineamientos de carácter restrictivo. Es decir, que exista un acercamiento real, en donde la propuesta vele por el resguardo de los recursos y, que, a la vez, promueva el desarrollo social en los tres sentidos antes expuestos.

6. Conclusiones

Del análisis realizado en esta investigación, se concluyen los siguientes aspectos:

La propuesta desarrollada busca ser un instrumento para la gestión del territorio de los cerros La Trinidad y San Pedro, que fomenta el ordenamiento territorial, promueve el manejo y protección de los recursos naturales e incentiva el uso y apropiación de los espacios según las características biofísicas, ambientales y de riesgo que los conforman.

El proceso de zonificación por medio de su análisis multicriterio permitió identificar de una forma sencilla las potencialidades y limitaciones que presentan las diferentes zonas del cerro La Trinidad y San Pedro respecto a la capacidad de uso y nivel de conservación requerido. Siendo determinado a través del análisis que un 88,9% del territorio del cerro La Trinidad se encuentra en la categoría de conservación restringida (0), seguido de un 0,03% para alta conservación, 9,8% media y 1,2% baja conservación. Por su parte, los valores para el cerro San Pedro fueron de 86,7% en la categoría 0, 0,85% en media y 12,3% para baja conservación.

Los valores obtenidos en la categoría muy alta conservación de los cerros La Trinidad y San Pedro 88,9% y 86,7%, indican que la mayor parte de su territorio se encuentran conformado por sitios cuyas características denotan una asignación restringida; es decir, áreas de alto valor conservativo dentro del proceso de zonificación ambiental. Por su parte, las zonas de baja conservación o aptas para el desarrollo de cultivos semipermanentes y ganadería constituyen el 1,2 % y 12,3 % del área total lo que sugiere que son pocos los sitios con condiciones físicas, ambientales y de riesgo que propician el uso de carácter meramente productivo.

Ambos cerros son fuente de bienes y servicios eco sistémicos de alto valor para el desarrollo y bienestar de los poblados circundantes, a nivel de aprovisionamiento por las fuentes de captación de agua potable, de servicios de regulación climática, belleza escénica, valores recreativos y servicios esenciales. El aseguramiento del estado y disponibilidad de

estos bienes y servicios no supone una conservación absoluta de los cerros, ya que en ellos pueden implementarse actividades que no generen efectos adversos sobre los recursos y contribuyan con el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de los poblados aledaños, siendo las actividades recreativas, el turismo sostenible, los sistemas productivos diversificados en los sitios cuyas condiciones lo permitan, una alternativa viable.

Actualmente ambos cerros se están viendo afectados por problemáticas ligadas al cambio de uso de suelo, uso excesivo de agroquímicos en actividades productivas, invasión de áreas de protección, incendios, construcciones ilegales, entre otros. Dentro de algunas de las acciones que se plantean para una cobertura total o parcial de las problemáticas resaltan el trabajo conjunto entre comunidad y municipalidad para crear una red de información sobre las políticas de uso de suelo, asesoramiento por parte del MAG y Coopetarrazú hacia los productores sobre la aplicación de técnicas de producción de menor impacto, la restauración o posible adquisición de sitios alterados que se encuentren cercanos a las fuentes de captación de agua y un mayor control sobre el otorgamiento de permisos para construcción.

En lo referente a las actividades productivas de los cerros, es el café considerado la principal, seguido del cultivo de aguacate, berenjena y granadilla a escalas pequeñas. Por su parte las fuentes de empleo se encuentran cubiertas por la actividad cafetalera mayoritariamente, representando el sector comercio y construcción un porcentaje bajo en estos sitios.

7.Recomendaciones

Quedan como recomendaciones de este estudio las siguientes:

La zonificación ambiental permitió introducir elementos biofísicos, ambientales y de riesgo dentro de la planificación del uso de la tierra de los cerros La Trinidad y San Pedro, por lo que esta debería convertirse en una herramienta de consulta por parte de la Municipalidad de Tarrazú para la toma de decisiones en materia del otorgamiento de permisos de construcción, manejo o cobertura de denuncias ambientales, iniciativas de conservación, entre otras.

La propuesta es un instrumento de ordenamiento territorial novedoso y de aplicación sencilla, por lo que se sugiere que pueda ser replicado en otros cerros o ajustado a distintos sitios de interés (distrito, poblado, área protegida), ya que de esta forma se promoverá el ordenamiento de las tierras del cantón tomando como base criterios biofísicos, ambientales y de riesgo.

Se plantea la necesidad de incluir en próximos proyectos de zonificación ambiental más variables dentro de la categoría de análisis riesgo, ya que al incorporar además de remoción de masa o deslizamientos otros factores como vulnerabilidad ante inundaciones, riesgo a incendios, se estaría propiciando un análisis más diverso y completo.

Si bien, la zonificación ambiental es una herramienta que posibilita y fortalece el ordenamiento de las tierras (escalas medianas-pequeñas), esta debe encontrarse respaldada por un instrumento de planificación local como el Plan Regulador cantonal, ya que este permite un mejor control por parte de las autoridades locales al instituir los usos del suelo y al direccionarlos para que se promueva un desarrollo. La Municipalidad de Tarrazú como ente rector debe realizar los esfuerzos pertinentes para dar inicio al desarrollo del Plan Regulador, pues hasta el día de hoy Tarrazú se encuentra dentro de los 15 cantones que no han dado iniciado a ningún proceso.

Para una mejor recepción del proyecto entre los actores involucrados se sugiere sean implementados procesos divulgativos y espacios de diálogo y participación ciudadana, a fin de que sea conocido el objetivo de la propuesta y su alcance de forma directa, incentivando, además, la exposición de criterios o recomendaciones externas que podrían ser de gran utilidad para el éxito del proyecto.

El desarrollo de instrumentos de ordenamiento como la zonificación han tenido un crecimiento en los últimos años, sin embargo, aún debe existir un reforzamiento de estos, pues si bien existe un aumento y en Costa Rica se han realizado algunas aplicaciones a nivel urbano, cuencas, microcuencas y corredores biológicos, la cantidad se encuentra lejos de ser la deseable.

8.Referencias bibliográficas

- Alfaro, A. (2018). Zonificación de infraestructuras verdes para reducir el volumen de escorrentía y mitigar la vulnerabilidad a inundaciones, subcuenca río Páez, Cartago, Costa Rica [Tesis de grado, Universidad Nacional de Costa Rica].
- Ayala, M., y Márquez, R. (2022). Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible. *Proyección. Estudios Geográficos y de Ordenamiento Territorial*, 16(31), 1–8. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/proyeccion/article/view/603>
- Mora, M., y Ramírez, T. (2013). Propuesta de zonificación ambiental para las microcuencas de los ríos Blanco y Cuipilapa, Bagaces, Costa Rica [Proyecto de pregrado, Universidad Nacional de Costa Rica]. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2056>
- Alfaro, D. (2012). El Ordenamiento urbano y territorial en Costa Rica: una continuidad muy lenta. <https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/434>
- Alpízar, F., Madrigal, R y Salas, A. (2018). Retos ambientales de Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/asuntos-internacionles/Retos-ambientales-CostaRica.pdf>
- Antolín, M. (2010). Hacia una gestión sostenible del planeta: resumen del capítulo La gestión sostenible del Planeta Tierra en “Ciencias del Mundo Contemporáneo. Reflexiones sobre los contenidos de las ciencias y sobre nuestra forma de vida”. Universidad de Valencia. https://www.uv.es/aprjuv/quaderns/1/3_Gestion_sostenible
- Arias, G. (2004). Análisis del impacto económico y social de las plantaciones forestales en Costa Rica. https://www.sirefor.go.cr/pdfs/tematicas/Bosque/2004_Arias_analisis_impactoecon_plfor.pdf
- Astorga, A. (2018). Ordenamiento Ambiental del Territorio: situación y perspectivas en Costa Rica. <https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/2977>

- Barquero, M. (12 de agosto de 2011). Área sembrada de piña se duplicó en últimos cuatro años. Kioscos ambientales. <http://kioscosambientales.ucr.ac.cr/noticias/noticias-ambientales/1021-area-sembrada-de-pina-se-duplico-en-ultimos-cuatro-anos.html>
- 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 de L.R. Holdridge. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Carvajal, D., Cucunubá, P., Moreno, N., Ramírez, J., & Sastoque, L. (2018). Evaluación de impacto ambiental para el área de explotación minera bloque JG7-16511 para material de arrastre – Boyacá [Trabajo de grado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/4255>
- Castro, G., Chavarría, F., Cruz, J., Gelabert, C., Martínez, D., Paniagua, W., Sánchez, N., Sibaja, K., y Tejeda, A. (2010). *Cuadernos de Investigación UNED*, 3(1), 71-80. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/cuadernos/article/download/208/86/>
- Carazo, E. (2008). Esquemas de zonificación ambiental para la planificación regional urbana. *Revista Geográfica De América Central*, 1(41), 55-73. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/1697>
- Centro de Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina (CODS). (21 de setiembre de 2018). ¿Qué entendemos por desarrollo sostenible?. <https://cods.uniandes.edu.co/que-es-el-desarrollo-sostenible/>
- Centro Científico Tropical (CCT) y Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2004). Zonas de vida de Costa Rica según la clasificación de Holdridge [Conjunto de datos]. Atlas digital de Costa Rica 2014.
- Cepeda, C., y Navarro, G. (2010). Protección del recurso hídrico en Costa Rica: Propuesta para la reforma de los artículos 33 y 34 de la Ley Forestal.

https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8805/Proteccion_del_recurso_hidrico.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe. <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6143/BVE17109365e.pdf;jsessionid=30DE5DE913844084FF42627E54401A27?sequence=1>

Comisión Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas. (2008). Guía técnica de buenas prácticas: recursos naturales agua, suelo, aire y biodiversidad. https://www.conaf.cl/cms/editorweb/GEF-BM/Apendice-7_04-Guia_Buenas_Practicas_Recursos_Naturales.pdf

Comisión Nacional Permanente Peruana del tratado de Cooperación Amazónica (1998). Manual de zonificación ecológica-económica para la Amazonia Peruana, <http://www4.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/iiap/iiap3/iiap3-portada.htm#TopOfPage>

Cruz, M., y Arellano, L. (s.f.). ¿Se puede lograr una ganadería sustentable? Instituto de Ecología, AC. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/1008-se-puede-lograr-una-ganaderia-sustentable>

Decreto 23214 de 1994 [con fuerza de ley]. Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica. 13 de abril de 1994. D.O. No. 107.

Decreto 34559-MINAE de 2008 [con fuerza de ley]. Estándares de Sostenibilidad para Manejo de Bosques Naturales: Principios, Criterios e Indicadores, Código de Prácticas y Manual de Procedimientos. 16 de junio de 2008. D.O. No. 115.

Domínguez, S., Velásquez, S., Jiménez, F., & Faustino, j. (2008). Zonificación ambiental para el ordenamiento territorial de la subcuenca bimunicipal del río Aguas Calientes, Nicaragua. *Recursos Naturales Y Ambiente*, 55(1). http://kimuk.conare.ac.cr/Record/RCATIE_2a432ff5aba8143611c166b42f4e3c7a

- Echeverry, C. (2016). Delimitación y espacialización de unidades de paisaje para la gestión territorial utilizando la metodología GTP. [Proyecto de grado, Universidad de San Buenaventura Medellín. http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/4302/1/Delimitacion_Espacializacion_Unidades_Echeverri_2016.pdf
- Escobar, G. (2016). La relevancia de la agricultura en América Latina y el Caribe. <https://www.nuso.org/media/documents/agricultura.pdf>
- Esri. (2021). ¿Qué es un shapefile?. ArcMap. [https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm#:~:text=Un%20shapefile%20es%20un%20formato,l%C3%ADneas%20o%20pol%C3%ADgonos%20\(%C3%A1reas\).](https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm#:~:text=Un%20shapefile%20es%20un%20formato,l%C3%ADneas%20o%20pol%C3%ADgonos%20(%C3%A1reas).)
- Esri. (2021). ¿Qué son los archivos ráster?. ArcMap. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>
- Esri. (2021). TIN en ArcGIS Pro. ArcGis Pro. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/2.8/help/data/tin/tin-in-arcgis-pro.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2015). Agricultural Outlook 2015-2024 [Perspectivas agrícolas 2015-2024]. <https://www.fao.org/3/i4738e/i4738e.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2019). Chapter 2. Latin American Agriculture: Prospects and Challenges [Capítulo 2: Agricultura Latinoamericana: Perspectivas y Desafíos]. http://www.fao.org/3/CA4076EN/CA4076EN_Chapter2_Latin_American_Agriculture.pdf
- Faustino, J y Chaves, G. 2015. Análisis de contexto, caracterización y diagnóstico. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

- Fernández, L., y Gutiérrez, M. (2013). Bienestar Social, Económico y Ambiental para las Presentes y Futuras Generaciones. *Información Tecnológica*, 24(2), 121-130. 10.4067/S0718-07642013000200013
- FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal). (2021). Servicios OGS. Consultas a Servicios Geográficos– PSA, Capa de contratos 2021. [Conjunto de datos]. <http://sipsa.fonafifo.com/ppsa/geopsa/ogc/pages/ogcServicio.aspx>
- FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal). (2022). Servicios OGS. Consultas a Servicios Geográficos– PSA. Capa de Prioridades. [Conjunto de datos]. <http://sipsa.fonafifo.com/ppsa/geopsa/ogc/pages/ogcServicio.aspx>
- Giraldo, T., y Zumbado, F. (2021). Gestión Territorial y sus implicaciones con el ODS 11. Reflexiones desde Costa Rica y Colombia. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22 (2), 141–152. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.3033>
- GFA Consulting Group S.A. (2009). Estudio del estado de la producción sostenible y propuesta de mecanismos permanentes para el fomento de la producción sostenible. Informe final. http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/gfa_2010_-_estudio_del_estado_de_la_produccion_sostenible_y_propuesta_de_mecanismos.pdf
- Hernández, Y. (2010). El ordenamiento territorial y su construcción social en Colombia: ¿un instrumento para el desarrollo sustentable?. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 19 (1), 97-109. 10.15446/rcdg.n19.16854
- Herrera, P y Díaz, E. (2013). Ecología del paisaje, conectividad ecológica y territorio. Una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica *DOSSIER ciudades*, 1 (2013), 43 – 70. https://nanopdf.com/download/2-ecologia-del-paisaje-conectividad-ecologica-y-territorio-una_pdf
- Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). (2022). Estadísticas de la Caficultura de los Santos [Diapositiva de PowerPoint]. <http://www.icafe.cr/wp->

content/uploads/informacion_mercado/reportes_mercado/estadisticas_sector/Region
es%20Cafetaleras/Presentacion/STD-LS(Presentacion).pdf

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2021). El camino
hacia prácticas agrícolas sostenibles en América Latina y el Caribe.
[https://iica.int/es/prensa/noticias/el-camino-hacia-practicas-agricolas-
sostenibles-en-america-latina-y-el-caribe](https://iica.int/es/prensa/noticias/el-camino-hacia-practicas-agricolas-sostenibles-en-america-latina-y-el-caribe)

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2006). Censo Cafetalero 2006.
[Conjunto de datos]. <https://www.inec.cr/censos/censos-cafetalero>

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2011). Censo poblacional 2011.
[Conjunto de datos]. <https://www.inec.cr/poblacion>

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2014). Censo Agropecuario. [Conjunto
de datos]. <https://www.inec.cr/censos/censo-agropecuario-2014>

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2020). Encuesta Nacional Agropecuaria
2020. [https://inec.cr/estadisticas-fuentes/encuestas/encuesta-nacional-
agropecuaria?page=4](https://inec.cr/estadisticas-fuentes/encuestas/encuesta-nacional-agropecuaria?page=4)

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).
(2015). Suelos de Costa Rica orden inceptisol.
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1825.PDF>

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).
(2015). Suelos de Costa Rica orden ultisol.
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1604.PDF>

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).
(2019). Zonificación Agroecológica para el cantón de Alvarado de Cartago.
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E11-11092.PDF>

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).
(2021). Zonificación de café var. Caturra (Zona de Los Santos). Servicios OGC,

- Open Geospatial Consortium. [Conjunto de datos]. Sistema Nacional de Información Territorial.
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). (2021). Zonificación de aguacate Hass (Los Santos). Servicios OGC, Open Geospatial Consortium. [Conjunto de datos]. Sistema Nacional de Información Territorial.
- Jiménez, V. (s.f.). Cuencas y subcuencas hidrográficas en el territorio nacional [Conjunto de datos]. Atlas digital de Costa Rica 2014.
- Laurence, W., Sayer, J., y Classman, K. (2013). Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(2), 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.12.001>
- Ledezma, R y Granados, R. (2008). Degradación ambiental y caficultura en Tarrazú entre 1970 y 2006. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 36 (2). <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/8099/9125>
- Ley 4465 de 1969. Ley Forestal. (25 de noviembre de 1969). 2-908.
- Ley 7575 de 1996. Ley Forestal. (13 de febrero de 1996). D.O. No. 16.
- López, A., Lozano, P., y Sierra, P. (2012). Criterios de Zonificación Ambiental usando Técnicas Participativas y de Información: Estudio de caso Zona Costera del Departamento del Atlántico. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 41(1), 61-83. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemmar.2012.41.1.73>
- Lücke, O. (2014). “El desorden territorial impera en Costa Rica”. II Foro Institucional 2014. (26 de junio de 2020). <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2014/11/25/el-desorden-territorial-impera-en-costa-rica.html>
- Luna, C. (2018). La problemática de los pueblos originarios en la Argentina y el impacto social de la gestión de los bosques nativos. *Revista Latinoamericana de Derechos Humanos*, 29 (2). 10.15359/rldh.29-2.6

- Mata, R., Rosales, A., Vásquez, A., y Sandoval, D. (2013). Mapa Digital de suelos, órdenes y subórdenes. [Conjunto de datos]. Atlas digital de Costa Rica 2014.
- Mazonni, E. (2014). Unidades de paisaje como base para la organización y gestión territorial. *Estudios Socioterritoriales*, 16 (2), 51-81. <http://www.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-socioterritoriales/article/download/588/542>
- Meléndez, L. (2009). Diseño del Plan del Manejo de la Cuenca del Río Pirrís. [tesis de posgrado, Universidad para la Cooperación Internacional]. <https://biblioteca.uci.ac.cr/Tesis/PFGMAP764.pdf>
- Mora, M., y Ramírez, T. (2013). Propuesta de zonificación ambiental para las microcuencas de los ríos Blanco y Cuipilapa, Bagaces, Costa Rica [Proyecto de pregrado, Universidad Nacional de Costa Rica]. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2056>
- Menchaca, M., y Alvarado, E. (2011). Efectos antropogénicos provocados por los usuarios del agua en la microcuenca del río Pixquiac. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1, 85-96. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4221320.pdf>
- Méndez, H., y Pascale, C. (2014). Ordenamiento Territorial en el Municipio: una guía metodológica. <https://www.fao.org/3/i3755s/i3755s.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica (MINAE). (2020). Política Nacional de Áreas de Protección de ríos, quebradas, arroyos y nacientes, 2020-2040. https://da.go.cr/wp-content/uploads/2020/09/Politica-Nacional-de-Areas-de-Proteccion_2020-40.pdf
- Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica (MINAE). (2022). Misión y Visión. <https://minae.go.cr/acerca-de/acerca-del-minae/mision-y-vision>
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH). (2012). Política Nacional de Ordenamiento Territorial 2012 a 2040.

https://www.mivah.go.cr/Documentos/transparencia/Informes_Gestion/Inf_Ges_Min_Irene_Campos/PNOT_2012-10-22_Aprobada.pdf

Mora, M., y Ramírez, T. (2013). Propuesta de zonificación ambiental para las microcuencas de los ríos Blanco y Cuipilapa, Bagaces, Costa Rica [Proyecto de pregrado, Universidad Nacional de Costa Rica]. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2056>

Norma N° 26-2014-MINAE, artículo 11. Sistema Costarricense de Información Jurídica, San José, Costa Rica, 03 de febrero de 2015.

Oficina Nacional Forestal (ONF). (6 de enero de 2020). Programa de Pago por Servicios Ambientales. <https://onfcr.org/psa-2>

O'neal, K. (19 de julio de 2019). El problema ambiental más grave en Costa Rica es el consumo. Universidad de Costa Rica. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/07/16/el-problema-ambiental-mas-grave-en-costa-rica-es-el-consumo.html>

Pinedo, R. (2006). Zonificación como base para el ordenamiento territorial del municipio de Valle de Ángeles, Honduras (Tesis de Posgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4352>

Porras, J., Alfaro, A., Aymerich, N, Blanco, G., Bolaños, L., Campos, A., y Matarrita, R. (2013). Guía de diseño bioclimático según clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (Seminario de Graduación, Universidad Nacional de Costa Rica). <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2110/1/35332.pdf>

Quesada, R. (24-27 de agosto de 2007). Los Bosques de Costa Rica. IX Congreso Nacional de Ciencias. Cartago, Costa Rica.

Red Internacional de Forestería Análoga. (2022). ¿Qué es la Forestería Análoga? <https://www.analogforestry.org/about-us/analog-forestry/?lang=es>

Rodríguez, A., Castrillon, W., y Torres, S. (2013). La degradación ambiental, un factor de riesgo frente al cambio climático.

https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/gestion_riesgos/Gestion_del_Riesgo/Modulos/Modulo_V_260913_CAM_Alta.pdf

Ruiz, V. (2016). Ordenamiento territorial. <http://pridca.csuca.org/images/Noticias/A3/Cartilla---Ordenamiento-territorial.pdf>

Sáenz, F., Le Coq, J., Villalobos, C., & Cathelin, C. (23-26 de agosto de 2011). Ordenamiento territorial y conservación en Costa Rica. Congreso SEPIA XIV Piura, Perú.

Sánchez, D. (2012). Aproximaciones a los conflictos sociales y propuestas sostenibles de urbanismo y ordenación del territorio en México. *Revista de Estudios Sociales*, 42 (1), 40-56. <https://journals.openedition.org/revestudsoc/6906>

Sánchez, P., Escrivà, C., López R., y Lertxundi, A. (2016). Identificación y caracterización del paisaje. https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/donostialdea_etapa1/es_def/adjuntos/CP%20DONOSTIALDEA%20BAJO%20BIDASOA%20DII%20IDENTIFICACION%20Y%20CARACTERIZACION.pdf

Santos, J. (1997). El planteamiento teórico multiobjetivo/multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales, mediante los S.I.G. Ráster. *Geografía*, 10 (1997), 129-151. <http://revistas.uned.es/index.php/ETFVI/article/viewFile/2547/2420>

Serrano, D. (2012). Consideraciones en torno al concepto de unidad de paisaje y sistematización de propuestas. *Estudios Geográficos*, 73(272), 215-237. 10.3989/estgeogr.201208

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (s.f.). Conozca de turismo. <http://www.sinac.go.cr/ES/turismo/Paginas/conosturis.aspx>

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2018). Guía Rápida Para la Implementación de la Zonificación en Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica. Infoterra Editores S.A.

<https://www.sinac.go.cr/ES/publicaciones/Guas%20tcnicas/GU%C3%8DA%20ZONIFICACION%20DE%20ASP.pdf>

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2020). Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes, 2020-2040. San José, Costa Rica. 72pp.

Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRH). (2020). Catálogo de metadatos: D.A Concesiones. [Conjunto de datos]. <https://mapas.da.go.cr/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/2283a042-5281-4a92-a9d1-08269b30c8f9>

Sistema Nacional de Información de Información Territorial (SNIT). (2020). Servicios OGC: Nodos locales y externos. [Conjunto de datos]. https://www.snitcr.go.cr/ico_servicios_ogc

Solano, F. (2016). Propuesta de zonificación ambiental del corredor biológico interurbano río María Aguilar, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 51(1), 33-50. 10.15359/rca.51-1.3

Soto, C. (2007). Capa temática de ríos y principales quebradas de Costa Rica [Conjunto de datos]. Atlas digital de Costa Rica 2014.

Valdés, A y Hernández, J. (2018). Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México. *Revista Geográfica de América Central*, 60 (1), 189-229. 10.15359/rgac.60-1.7

Valenciano, J. (2008). La actividad cafetalera en Los Santos: diagnóstico para un análisis de los medios de vida en la agrocadena. https://www.repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/8626/sdt_002_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Verhulst, N., Francois, I., y Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables?. Agricultura

de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables?

Villegas, E. (2014). Las unidades de planificación y gestión territorial como directriz para la zonificación urbana. *EL AGORA.USB*, 14(2), 311-703.
<https://revistas.usb.edu.co/index.php/Agora/article/view/67>

Winograd, M. (1995). Indicadores ambientales para Latinoamérica y el Caribe: hacia la sustentabilidad en el uso de tierras. <http://repiica.iica.int/docs/B4099e/B4099e.pdf>

9.Apéndices

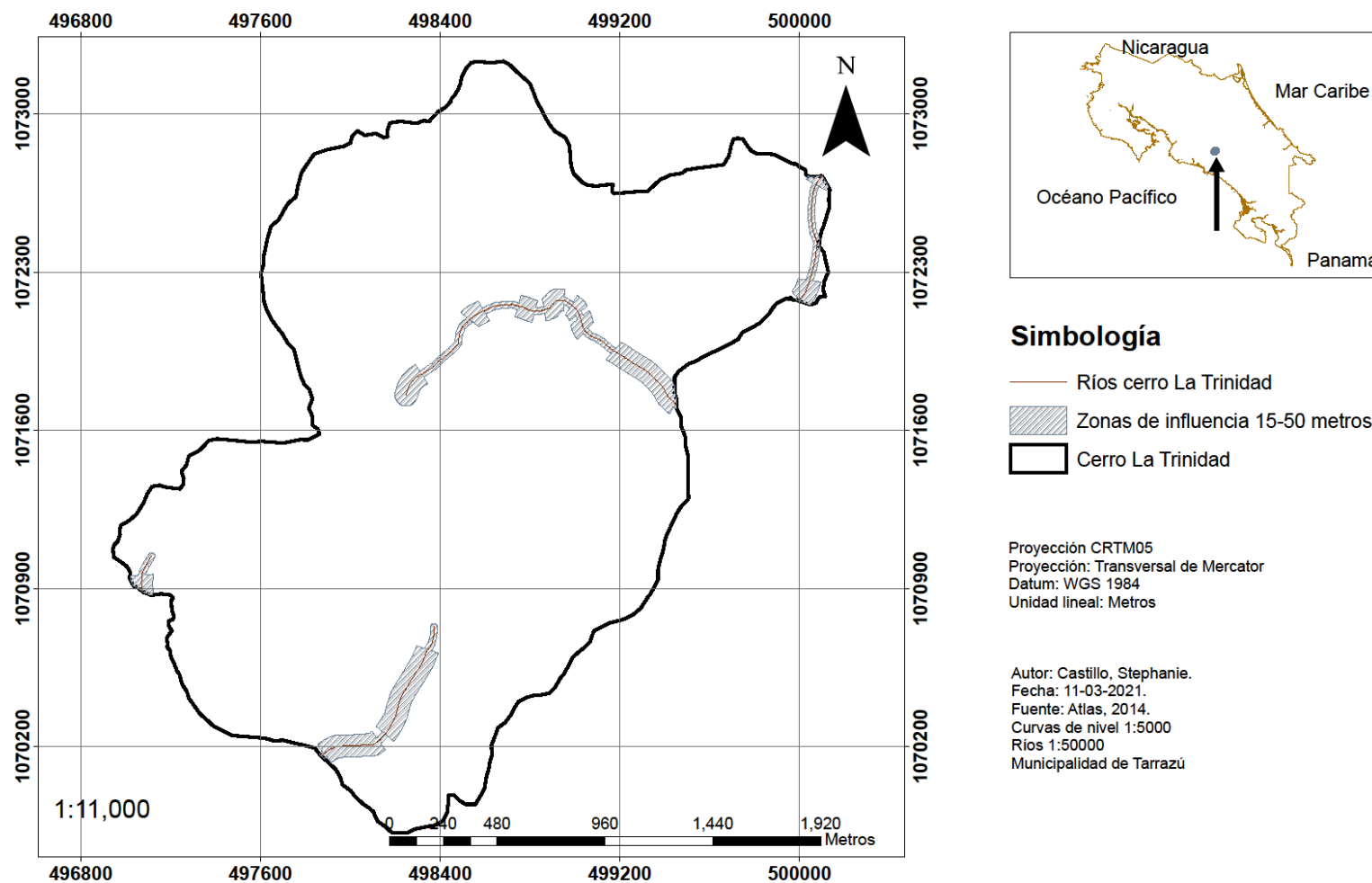
Apéndice 1. Resumen de los aspectos biofísicos del cerro La Trinidad y San Pedro, Tarrazú.

Componente	Cerro La Trinidad	Cerro San Pedro
Agua superficial	Se localizan cinco cuerpos de agua río Martínez, Quebrada Loro, Quebrada Santa Marta, uno sin identificar y quebrada Canet 3.	Se localiza únicamente el río Parrita chiquito.
Agua subterránea (concesiones manantiales)	Fueron identificados 12 manantiales: El Rodeo, Nac Rafaelon 1, F15, F2, F13, F14, F1, Nacimiento La Roca 7, Nacimiento La Roca 6 y tres sin nombre.	Fueron identificados 2 manantiales: Nac Roque Mora 8 y una sin nombre
Zonas de vida	Se localizan tres zonas de vida, Bosque Húmedo Montano Bajo (Bh-MB), Bosque muy Húmedo Montano Bajo (Bmh-MB) y Bosque muy Húmedo Premontano (Bmh-P).	Se localizan dos zonas de vida, Bosque Húmedo Montano Bajo (Bh-MB), Bosque muy Húmedo Montano Bajo (Bmh-MB)
Tipos de bosque	Posee bosque maduro (4,06 ha) y secundario (0,56 ha), lo que representa un 70% y 10% del área total.	Posee bosque maduro (2,36 km ²) y secundario (0,52 km ²), lo que representa un 59% y 13% del área total.
Tipo de suelo	El 70% del área (4,04 km ²) se encuentra conformada por suelos del orden Inceptisol, el restante 40% (1,72 km ²) por ultisoles.	Se encuentra conformado por suelos del orden Inceptisol y Ultisol. El primero posee una extensión de 3,56 km ² (88% del área) y los ultisoles representan el 12% del área (0,47 km ²).

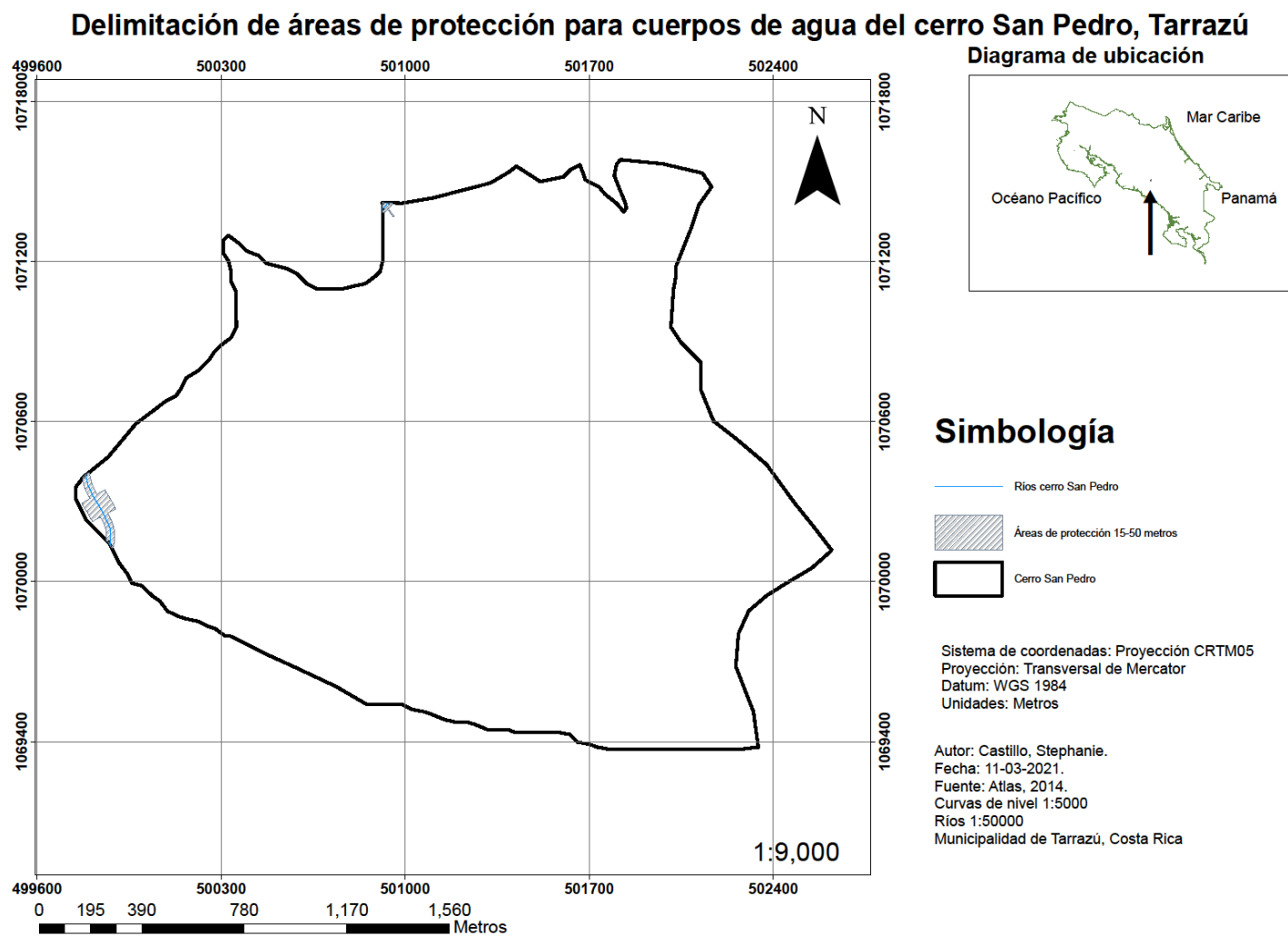
Cuenca hidrográfica	Se localiza dentro de la cuenca Costero Pacífico Central, la sub cuenca del Río Grande de Candelaria y la microcuenca del río Pirrís.	Se localiza dentro de la cuenca Costero Pacífico Central, la sub cuenca del Río Grande de Candelaria y la microcuenca del río Pirrís.
Altitud	La altitud oscila entre 1670 y 2240 msnm.	La altitud oscila entre 1590 y los 2130 msnm.
Pendiente	Los rangos de pendiente predominantes se encuentran dentro el rango 15-30, 30-50 y 50-75%.	El rango 30-50% abarca la mayor parte del área, seguido por 50-75%.
Precipitación	El rango de precipitación promedio entre el periodo 2004-2014 fue de 14,5391-14,9426 ((mm/día).	El rango de precipitación promedio entre el periodo 2004-2014 fue de 14,8288-14,5778 (mm/día).
Temperatura	La temperatura máxima oscila entre 25,2325-24,6258 °C, y la mínima entre 16,7647-16,1935 °C.	La temperatura máxima oscila entre 25,4262-25,0297 °C, y la mínima entre 16,9715-16,5912 °C.

Apéndice 2. Delimitación de áreas de protección para cuerpos de agua del cerro La Trinidad, Tarrazú

Delimitación de áreas de protección para cuerpos de agua del cerro La Trinidad, Tarrazú



Apéndice 3. Delimitación de áreas de protección para cuerpos de agua del cerro San Pedro, Tarrazú



Apéndice 4. Estructura de encuesta para caracterización socioeconómica del cerro la Trinidad y San Pedro.

Proyecto de graduación

Encuesta de proyecto: Propuesta de Zonificación ambiental del cerro La Trinidad y San Pedro, San Marcos, Tarrazú, Costa Rica.

Estudiante: Stephanie Castillo Herrera

I. Datos personales

1. Nombre: _____
2. Rango de edad: 16-25___ 26-35___ 36-45___ 46-55___ 56 o más___
3. Sexo: H: _____ M: _____
4. Estado civil: C___ S___ D___ UL___ otro: _____
5. Ocupación: _____
6. Nivel de escolaridad:
 - a. Primaria incompleta___
 - b. Primaria completa___
 - c. Secundaria incompleta___
 - d. Secundaria completa___
 - e. Técnico___
 - f. Universitaria___

II. Información complementaria

7. ¿Cantidad de miembros del núcleo familiar?

8. ¿A cuáles servicios básicos tiene acceso el núcleo familiar? ¿cuál es la calidad de los mismos? _____

9. ¿Los miembros del núcleo familiar cuentan con acceso a centros de educación?

Sí___ No___ (salte a la pregunta 12)

10. ¿A qué tipo de centros de educación corresponden?

a) Primaria

b) Secundaria

c) Técnica

d) Universitaria

e) Otros

11. ¿Distancia aproximada a la que se localizan? (tomando como base su hogar)

12. ¿Los miembros del núcleo familiar cuentan con acceso a centros de salud?

Sí___ No___ (salte a la pregunta 14)

13. ¿Distancia aproximada a la que se localiza? (tomando como base su hogar)

14. ¿Los miembros del núcleo familiar cuentan con acceso a medios de transporte público?

Sí___ No___ (salte a la pregunta 17)

15. ¿Cuál es la frecuencia de los servicios?

16. ¿A su criterio cual es el estado actual de las vías de transporte?

17. ¿Cuáles son las principales actividades productivas que se realizan en la zona? ¿Cuál es la unidad de producción empleada y el mercado meta?

18. ¿Cuáles son las principales fuentes de empleo de la zona? ¿Acorde con estas cual es el ingreso aproximado?

19. ¿Existen organizaciones locales en la zona? ¿Cuáles son sus funciones y el nivel de involucramiento actual de la población en las mismas?

III. Percepción respecto a actividades productivas del cerro La Trinidad-San Pedro

20. ¿A su criterio, cuáles son las actividades productivas más relevantes que se desarrollan en el cerro?

21. ¿Considera que estas aportan al desarrollo de su comunidad, familia?

Sí___ No___ (salte a la pregunta 23)

22. Mencione algunos beneficios que estas les brindan

23. ¿Considera que la conservación del cerro influye en el bienestar de su comunidad, familia?

_ Sí___ No___ ¿Por qué?

24. ¿Qué actividades considera podrían desarrollarse en el cerro, que contribuyan con la conservación de los recursos y el desarrollo local?

IV. Percepción respecto al valor del cerro

25. ¿Tiene algún valor el cerro para usted? (por ejemplo: representa un aspecto emocional o sentimental) _____

_ Sí___ No___ Indique la
razón_____

26. ¿Cómo imagina el cerro en un periodo de 20
años?_____

Apéndice 5. Estructura de encuesta para caracterización de situación ambiental del cerro la Trinidad y San Pedro.

Proyecto de graduación

Encuesta de proyecto: Propuesta de Zonificación ambiental del cerro La Trinidad y San Pedro, San Marcos, Tarrazú, Costa Rica.

Estudiante: Stephanie Castillo Herrera

I. Datos personales

1. Nombre: _____
2. Rango de edad: 16-25___ 26-35___ 36-45___ 46-55___ 56 o más___
3. Sexo: H: _____ M: _____
4. Estado civil: C___ S___ D___ UL___ otro: _____
5. Ocupación: _____
6. Nivel de escolaridad:
 - a. Primaria incompleta___
 - b. Primaria completa___
 - c. Secundaria incompleta___
 - d. Secundaria completa___
 - e. Técnico___
 - f. Universitaria___

II. Conocimiento general

7. ¿Conoce el significado de los siguientes términos? (sostenibilidad ambiental, ordenamiento territorial, zonificación ambiental)

Sí___ No___ (avance al apartado III) Alguno de estos___

¿A qué se refieren?

III. Problemáticas ambientales de la comunidad

8. ¿Considera usted que existen problemáticas ambientales en la comunidad?

Sí___ No___ (salte a la pregunta 13)

9. ¿A su parecer cuáles son las tres problemáticas principales?

10. ¿Qué piensa sobre las problemáticas ambientales que se están presentando en la comunidad? ¿Cree que afectan su bienestar de alguna manera?

11. ¿Cree usted que es necesario trabajar en la búsqueda de soluciones para estas problemáticas?

Sí___ No___ ¿Por qué?

12. ¿Mencioné al menos 3 acciones que usted considere pertinentes?

13. ¿Considera que el apoyo en el ámbito ambiental por parte de entes encargados (Municipalidad, SINAC, MINAE) ha sido el adecuado?

Sí___ No___

14. Del 1 al 10 qué tan comprometido se encuentra usted en temas de asuntos ambientales con la comunidad. _____

15. ¿Cuál es su percepción en relación con la actividad cafetalera de la zona, así como su impacto en el medio ambiente?

16. ¿Considera que es necesario implementar mecanismos de ordenamiento territorial en el cerro? Sí___ No___ ¿Por qué?.