

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ÁREA ACADÉMICA AGROFORESTAL  
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES Y  
TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN



**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**  
CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE CULTIVO POTENCIALES EN COSTA RICA  
PARA LA ESPECIE *STEVIA REBAUDIANA* BERTONI.

Trabajo Final de Graduación sometido al Tribunal del Área Académica Agroforestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica para optar por el grado de Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción

**ESTUDIANTE**

**TATIANA SALAZAR AGUILAR**

CARTAGO, 2014

# CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE CULTIVO ÓPTIMOS EN COSTA RICA PARA LA ESPECIE *STEVIA REBAUDIANA* BERTONI.

Tatiana Salazar Aguilar<sup>1</sup>

## RESUMEN

La especie *Stevia rebaudiana* produce glucósidos y esteviósidos, hasta 150 veces más dulce que el azúcar común, sin el inconveniente que genera su consumo en personas con sobrepeso, diabetes u otras complicaciones médicas ya que no tiene calorías. Además se le conoce usos medicinales como hipoglicémico, hipotensor y antioxidante. Su cultivo en Costa Rica es aún incipiente, en parte a la falta de información sobre los sitios óptimos para su crecimiento y desarrollo. Este trabajo tiene el objetivo de inferir sitios óptimos y potenciales para el cultivo de *S. rebaudiana* según parámetros como: temperatura, precipitación, altitud, tipo de suelo, capacidad de uso de suelo y cobertura. Se procedió primero a recopilar información bibliográfica sobre el perfil agroecológico de la especie; luego se modeló utilizando las herramientas QGIS, el Atlas de Costa Rica 2008 y 2014, y posteriormente se combinó la información existente y diseñó los mapas con la información disponible. Para cada mapa se detallaron los sitios Óptimos, Sub-óptimos y No Aptos, de acuerdo a lo esperado para la especie. Con la información generada se determinó que los cantones de Bagaces y Cañas en el pacífico norte reúnen condiciones actualmente óptimas para iniciar las investigaciones en campo. Así mismo otros cantones de la provincia de Guanacaste, Puntarenas, Alajuela, Heredia y Cartago poseen áreas Sub- óptimas para este cultivo. Se espera con esta información lograr establecer ensayos de campo para la evaluación agroproductiva de la especie y servir como alternativa de cultivo para la industria.

### **Palabras clave:**

*Stevia rebaudiana*, QGIS, SIG, sitios cultivo, mapas, Costa Rica.

---

INFORME DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN. ÁREA ACADEMICA AGROFORESTAL. MAESTRÍA DE RECURSOS HUMANOS Y TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN.

## **ACREDITACIÓN**

**Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por el Tribunal del Área Académica Agroforestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Magister en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción.**

**Ing. Edgar Ortiz Malavassi, PhD**

**Profesor Tutor**

**Silvana Alvarenga Venutolo, MSc**

**Profesor Lector**

**Ing. Rodolfo Canessa, MSc**

**Presidente del Tribunal**

**Ing. Tatiana Salazar Aguilar**

**Sustentante**

**2014**

## DEDICATORIA

*A mi bebé Daniel por crecer  
dentro de mi vientre  
mientras cursaba esta  
maestría y me dio las fuerzas  
para concluirla.*

*A mi esposo y padres por ser  
el motor de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por las bendiciones que me da cada día.

A mi familia, mis padres Miguel y Marlene por darme la oportunidad de estudiar, a mis hermanos y hermana por su ejemplo y soporte.

A mi esposo por su comprensión, tiempo y gran apoyo durante la realización de esta tesis.

Al Dr. Edgar Ortiz por su tiempo y guía en la ejecución de este trabajo.

A la MSc. Silvana por su guía, apoyo y por permitirme trabajar en este tema.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	ii
ACREDITACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE CUADROS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS .....	x
1. Introducción .....	1
2. Revisión de literatura. ....	2
2.1 Descripción del medio físico en Costa Rica.....	2
2.1.1 Zonas de vida.....	2
2.1.2 Clima. ....	3
2.1.3 Precipitación.....	3
2.1.4 Capacidad de uso de los suelos. ....	4
2.2 Cultivos en Costa Rica.....	5
2.3 Generalidades de <i>Stevia rebaudiana</i> . ....	6
2.3.1 Descripción de la especie. ....	7
2.3.2 Origen y distribución natural de <i>Stevia rebaudiana</i> .....	7
2.3.3 Cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> en el mundo.....	8
2.3.4 Rendimientos de la especie. ....	10
2.3.5 Distribución del género <i>Stevia</i> en Costa Rica .....	12
2.3.6 Cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> en Costa Rica.....	13
3. Objetivos .....	16
3.1 Objetivo general.....	16
3.2 Objetivos específicos .....	16
4. Materiales y métodos .....	17
4.1 Variables biológicas y bio-físicas idóneas para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> en Costa Rica....	17
4.2 Variables económicas ideales para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> en Costa Rica.....	17

4.2.1	Distancia máxima del sitio a los caminos.....	17
4.2.2	Distancia máxima del sitio a la industria. ....	17
4.2.3	Capacidad de uso de tierra.....	18
4.2.4	Uso actual.....	18
4.3	Capas de datos para modelar cada una de las variables identificadas. ....	18
4.4	Mapa de zonas potenciales mediante la combinación de las capas utilizando herramientas de geoprocesamiento. ....	19
4.4.1	Variables biológicas y físicas.....	19
5.	Resultados y Discusión.....	22
5.1	Definir las variables biológicas y físicas idóneas para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> en Costa Rica.....	22
5.1.1	Requerimientos ambientales.....	22
5.1.2	Precipitación.....	24
5.1.3	Altitud.....	25
5.1.4	Temperatura .....	27
5.1.5	Suelos .....	29
5.2	Determinar las variables económicas ideales para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> en Costa Rica. ....	30
5.2.1	Distancia máxima del sitio a los caminos.....	30
5.2.2	Distancia máxima del sitio a la industria. ....	31
5.2.3	Capacidad de uso de tierra.....	32
5.2.4	Uso Actual. ....	33
5.3	Mapa de zonas potenciales mediante la combinación de las capas utilizando herramientas de geoprocesamiento. ....	35
5.3.1	Características biológicas y bio-físicas .....	35
5.3.3	Zonas potenciales de cultivo de <i>S. rebaudiana</i> en Costa Rica. ....	37
6.	Conclusiones .....	42
7.	Recomendaciones .....	43
8.	Bibliografía .....	44
9.	ANEXOS .....	51

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución de las zonas de vida presentes en Costa Rica según piso y ámbito altitudinal. .	3
Cuadro 2. Índice de producción y rendimiento de caña de azúcar durante el período 2012/2013. ....	6
Cuadro 3. Distribución de especies del género de <i>Stevia</i> según el Manual de Plantas de Costa Rica.	12
Cuadro 4. Distribución de parcelas de <i>Stevia rebaudiana</i> en Costa Rica. ....	15
Cuadro 5. Criterios para clasificar los sitios de cultivo potencial de <i>S. rebaudiana</i> en Costa Rica según las variables biológicas. ....	20
Cuadro 6. Condiciones agroclimáticas óptimas para el cultivo de <i>S. rebaudiana</i> según fuentes bibliográficas. ....	23
Cuadro 7. Condiciones agroclimáticas óptimas para el cultivo de <i>S. rebaudiana</i> según Ramírez y colaboradores (2011). ....	24
Cuadro 8. Resultado de la consulta realizada para determinar el valor óptimo en la ubicación y topografía de un sitio para cultivar <i>S. rebaudiana</i> . Cartago, 2014. ....	30
Cuadro 9. Áreas óptimas y potenciales (Sub óptimas) para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> en Costa Rica.....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Regiones Climáticas de Costa Rica. Tomado de IMN, 2014. Temperatura. ....	4
Figura 2. Morfología de <i>Stevia rebaudiana</i> . ....	7
Figura 3. Mapa de distribución nativa de <i>Stevia rebaudiana</i> en América. ....	8
Figura 4. Mapa de producción de <i>Stevia</i> en el mundo. ....	9
Figura 5. Mapa de distribución del género <i>Stevia</i> en Costa Rica. Fuente: Base de Datos del Inbio y Tropicos del Jardín botánico de Missouri. ....	13
Figura 6. Parcelas experimentales de <i>Stevia rebaudiana</i> en Costa Rica. ....	14
Figura 7. Parcelas experimentales de <i>Stevia rebaudiana</i> en Costa Rica. A) Ujarrás, B) Navarro, Orosí y C) San Ramón de la Virgen de Sarapiquí. Imágenes suministradas por Brenes, 2014. ....	14
Figura 8. Sitios óptimos para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> según la precipitación. ....	25
Figura 9. Sitios óptimos para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> según la altura sobre el nivel del mar. ....	27
Figura 10. Sitios potenciales para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> según la temperatura. ....	28
Figura 11. Sitios óptimos para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> según los tipos de suelos. ....	29
Figura 12. Sitios potenciales para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> según la distancia máxima del sitio a caminos. ....	31
Figura 13. Sitios potenciales para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> según la distancia máxima del sitio a la industria. ....	32
Figura 14. Sitios potenciales para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> según la capacidad de uso de suelo. ....	33
Figura 15. Sitios potenciales para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> según la capa vectorial Cobertura, 2005. ....	34
Figura 16. Sitios potenciales para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> según las características biológicas y bio-físicas. ....	35
Figura 17. Sitios potenciales para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> según cobertura y capacidad de uso de Tierra. ....	36
Figura 18. Sitios potenciales para el cultivo de <i>Stevia rebaudiana</i> según variables biológicas, bio-físicas y económicas: cobertura y capacidad de uso de tierra. ....	37

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa Físico-Político de Costa Rica. Tomado de: <a href="http://www.guiageo-americas.com/mapas/costarica.htm">http://www.guiageo-americas.com/mapas/costarica.htm</a> .....	51
---	----

## 1. Introducción

*Stevia rebaudiana* (Asteraceae), conocida como “yerba dulce”, ha sido empleada por siglos por los guaraníes de Paraguay como edulcorante (producto para endulzar). Sus propiedades provienen de la presencia de un glucósido denominado esteviósido. Además de su poder edulcorante sin calorías, se ha documentado el uso medicinal de los esteviósidos como hipoglucémicos (Jeppesen *et al.*; 2002), hipotensor (Chan *et al.*; 2000), antioxidante (Xi *et al.*; 1998) y antibiótico (Goettmoeller y Ching, 1999). Los esteviósidos tienen la capacidad de estimular la secreción de insulina del páncreas, por lo que se pueden utilizar en tratamientos de diabetes y otros disturbios del metabolismo del azúcar (Jeppesen *et al.*; 2003). Actualmente se ha reportado la propiedad antiviral de extractos de hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni, además del efecto terapéutico en tratamientos de neuralgia, anemia, reumatismo, dermatitis y otras patologías (Takahashi *et al.*; 2001).

Por el creciente interés económico de esta especie, actualmente su cultivo se ha extendido a muchos países como China, Taiwan, Malasia, Canadá, Japón y Sur América (Pontoriero, 2005; Brandle *et al.*; 1998). Probablemente, por tratarse de una especie exótica, en Costa Rica no ha sido cultivada para la explotación comercial, a pesar de que existe interés de varias empresas y de grupos de agricultores en su comercialización.

En Costa Rica, en el año 2004 se realizaron las primeras pruebas con plantaciones de *Stevia sp*, localizadas en El Millón de Guápiles y en el Campus del ITCR, Cartago. A partir de ahí se han realizado pruebas de siembra en diferentes zonas, que incluyen San Rafael de Alajuela, San Ramón de la Virgen de Sarapiquí, Puerto Viejo de Heredia, Orosí y Ujarrás de Paraíso (Brenes, 2013). De esta forma se ha generado una base de conocimiento y experiencia que hacen factible el establecimiento plantaciones a mayor escala en el país, con el fin de procesar y comercializar productos a partir de *Stevia*.

Actualmente se dispone de un conocimiento base para planificar a mediano plazo el desarrollo de una cadena agroindustrial con la utilización del cultivo comercial de esta especie.

## **2. Revisión de literatura.**

### **2.1 Descripción del medio físico en Costa Rica.**

La *Stevia rebaudiana* es una planta herbácea de poco crecimiento, originaria de Paraguay en Suramérica, sobrevive en regiones tropicales y subtropicales, desde nivel del mar hasta los 1200 msnm, bajo diferentes condiciones ambientales, entre las que interaccionan diferentes variables como el clima, el suelo, la altitud, precipitación y temperatura (INIFAP, 2011; INIFAP, 2012).

#### **2.1.1 Zonas de vida.**

En Costa Rica se utiliza la clasificación descrita por Holdridge (1982), la cual distingue 12 zonas de vida. Las zonas de vida son un grupo de asociaciones, relacionadas entre sí a través de los efectos de la temperatura, la precipitación y la humedad (Holdridge, 1978). Estas zonas de vida se distribuyen en cinco pisos altitudinales: basal, premontano, montano bajo, montano y subalpino (Quesada, 2007). En el Cuadro 1, se indican los pisos altitudinales, las diferentes zonas de vida descritas y los rangos de temperatura y altitudinal correspondiente.

**Cuadro 1.** Distribución de las zonas de vida presentes en Costa Rica según piso y ámbito altitudinal.

<b>Piso altitudinal</b>	<b>Límites de temperatura (°C)</b>	<b>Rango altitudinal (msnm)</b>	<b>Zonas de vida</b>
Basal	+24	0-700	Bosque seco Bosque Húmedo Bosque muy húmedo
Premontano	24-18	700-1400	Bosque Húmedo Bosque muy húmedo Bosque pluvial
Montano Bajo	18-12	1400-2700	Bosque Húmedo Bosque muy húmedo Bosque pluvial
Montano	12-6	±2400-3700	Bosque muy húmedo Bosque pluvial
Subalpino (Montano alto)	6-3	2800-4000	Páramo Pluvial

Tomado de Quesada, 2007.

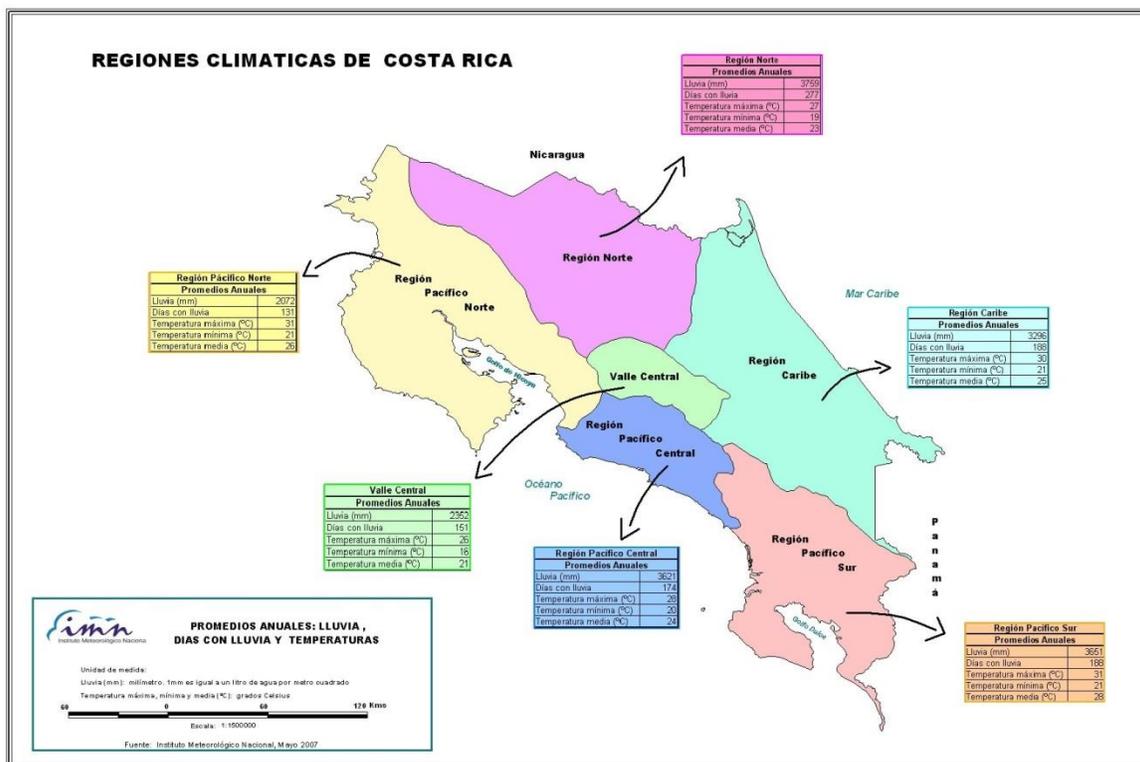
### **2.1.2 Clima.**

El clima consiste en factores meteorológicos importantes para el desarrollo vegetativo. Para caracterizar las limitaciones por el clima el sistema emplea las zonas de vida de Holdridge (1982), el período seco, el viento y la neblina (Cortés, 1994).

### **2.1.3 Precipitación.**

La precipitación es un indicador de humedad disponible para las plantas (Cortés, 1994). El patrón de precipitación anual varía desde los 1.850 mm en San José hasta los 3.500 mm en Puerto Limón, y es por ello que los regímenes de precipitación de nuestro país están divididos en dos vertientes: Caribe y Pacífica. La Pacífica se caracteriza por poseer una época seca (diciembre a marzo) y lluviosa bien definidas (mayo a octubre), mientras la Caribe no posee una estación seca, ya que mantienen entre 100-200 mm en los meses de febrero-marzo y setiembre-octubre (IMN, 2014).

Además de esta división, existen siete grandes regiones climáticas: Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur, Región Central, Zona Norte, Caribe Norte y Caribe Sur, cuyos principales características se detallan en la siguiente Figura 1 (IMN, 2014).



**Figura 1.** Regiones Climáticas de Costa Rica. Tomado de IMN, 2014. Temperatura.

En los trópicos la temperatura atmosférica promedio anual es el resultado de la interacción de la latitud, la altura sobre el nivel del mar y la distancia del mar. El promedio de temperatura en nuestro país varía desde los 15-25°C en el Valle Central, hasta los 22-35°C en las costas. Así también por elevación, existen sitios que la temperatura puede descender bajo cero, como lo es el caso del Volcán Irazú y el Cerro Chirripó (IMN, 2014).

### 2.1.4 Capacidad de uso de los suelos.

La clasificación de la capacidad de uso de las tierras se establece con base a los conceptos básicos del Manual 210 del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Klingebiel y Montgomery, 1961), con modificaciones a las condiciones locales. Según este

sistema, las categorías de clasificación por la capacidad de uso, son tres: Clases, Subclases, Unidad de Capacidad. En ese mismo orden, aumenta la especificidad sobre las condiciones de capacidad, la información cada vez más detallada que contienen y por lo tanto la seguridad en las predicciones acerca de su uso, comportamiento y manera adecuada de su manejo y conservación (MAG y SEPSA, 1991).

El tipo de suelos es el resultado de la interacción de factores del ambiente sobre los suelos y la roca madre (Núñez, 2001). En Costa Rica actualmente se utiliza el manual del MAG para clasificar los suelos en clases según su capacidad de uso de suelo (Cubero, 2001). Este manual clasifica en ocho clases representadas en números romanos. Conforme aumenta la clase incrementan las limitaciones para el desarrollo de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales. Por ejemplo las clases del I al III permiten el desarrollo de cualquier actividad, incluyendo la producción de cultivos anuales. En las clases de la IV al VI se restringe el uso a cultivos semipermanentes y permanentes. La clase VII se recomienda bosque primario o secundario debido a sus grandes limitaciones. La clase VIII no permite desarrollo agrícola, pecuario o forestal por lo que únicamente se aprueba la protección de recurso hídrico, forestal, vida silvestre o recreación (Núñez, 2001; Cubero, 2001).

## **2.2 Cultivos en Costa Rica.**

Dentro de las principales actividades agrícolas del país se encuentra la producción de cultivos industriales, frutas frescas, granos básicos, hortalizas, raíces tropicales y plantas, flores y follajes, las cuales cubrieron al 2013 un área de 486.222 hectáreas, con un total producido de 11.935.332 toneladas métricas (SEPSA, 2014). Los mayores cultivos producidos en toneladas métricas son la caña de azúcar, piña, banano y palma aceitera, representando un 37,9%, 19,8%, 17,3% y 10,9%, respectivamente. El azúcar producido y exportado generó un equivalente a \$90 millones, que comparado con cultivos como el banano (\$828 millones), piña (\$823 millones) y café (\$302 millones) es bajo, representando el 2,1% del total generado. Según SEPSA (2014), el rendimiento de producción de azúcar a partir de la caña para el 2013 tuvo un porcentaje de 73,6 toneladas/hectárea, con una

relación de Caña/Azúcar de 9,5 toneladas métricas (Cuadro 2). El mismo es vendido en el mundo a \$0,39/Kg.

**Cuadro 2.** Índice de producción y rendimiento de caña de azúcar durante el período 2012/2013.

Área sembrada (ha)	Producción total (ton)	Rendimiento (ton/ha)
63.316	447.541	7,77

Fuente: SEPSA, 2014.

### **2.3 Generalidades de *Stevia rebaudiana*.**

De acuerdo con Shock (1982), la planta de *Stevia rebaudiana* Bertoni es originaria de la parte selvática subtropical de Alto Paraná en Paraguay, donde era empleada por sus aborígenes Guaraníes como edulcorante “ka'a he'ë” en su bebida mate y como medicina.

Su nombre deriva de los redescubridores y científicos que la clasificaron y domesticaron (EPE, 2009). El primero europeo en reconocerla fue el botánico y médico español Pedro Jaime Esteve (1500–1556) en Paraguay. Posteriormente el naturalista suizo Moisés Santiago Bertoni (1857-1929) describió la especie. En el año 1900 el químico paraguayo Ovidio Rebaudi (1860-1931) publica el estudio del aislamiento de los dos principios activos del estevioglucósido: un esteviósido y otro rebaudiósido, más de 200 veces más dulce que el azúcar refinado, estable al calor, no fermentan ni dañan el cuerpo. Alrededor de 1964 Vera Bertoni y su esposo Juan. B. Aranda comenzaron a domesticarla en Paraguay, y en 1968 fue introducida en Japón por el botánico Tetsuya Sumida. Desde entonces se ha introducido en Argentina, Francia, España, Colombia, Bolivia, Perú, Corea, Chile, Brasil, México, Estados Unidos, Canadá y sobre todo en China, hoy el principal productor (EPE, 2009).

### 2.3.1 Descripción de la especie.

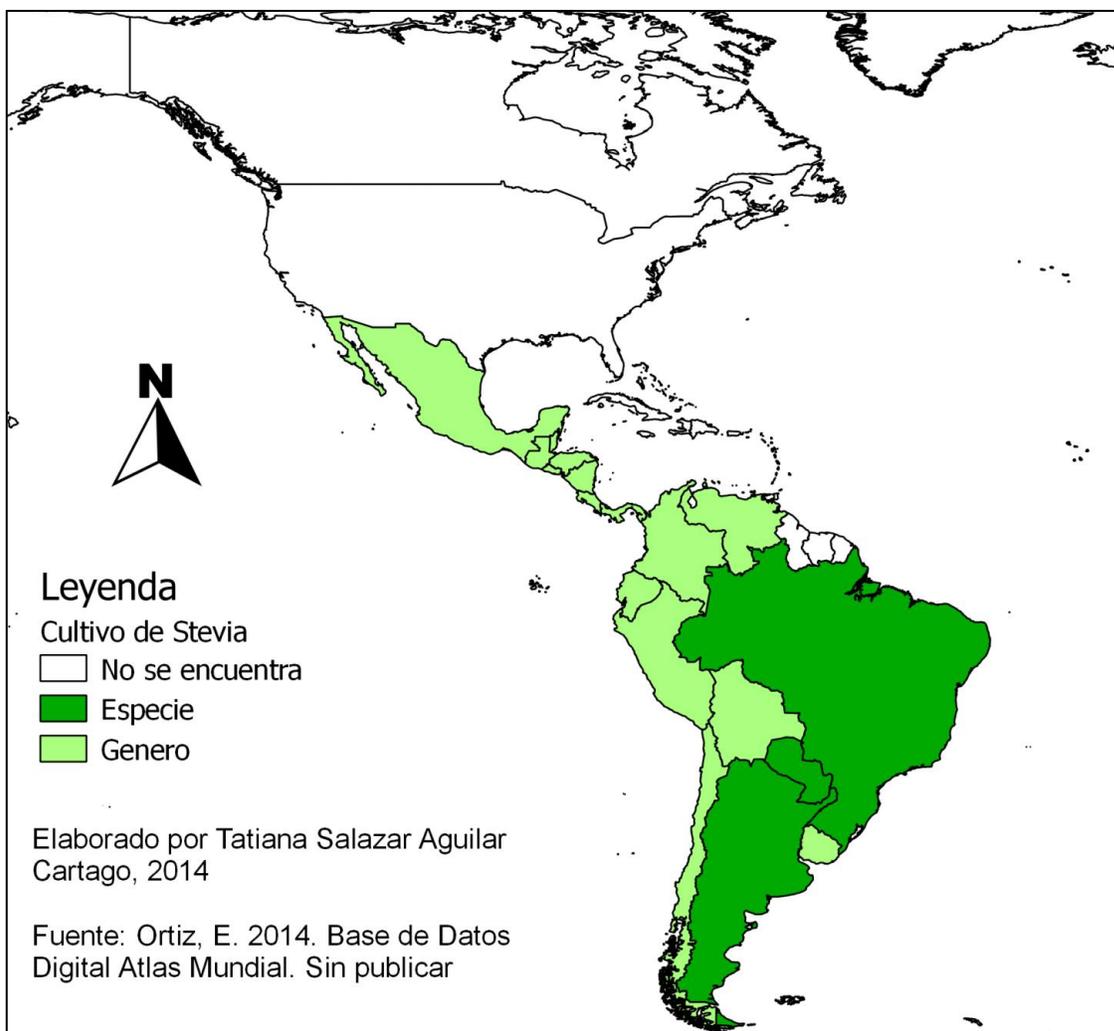
El género *Stevia* pertenece a la familia botánica Asteraceae. *S. rebaudiana* es una de las más de 240 especies del género, distribuida en América. La planta es de hábito herbáceo, perenne, de tallo recto subleñoso, pubescente, con hojas lanceoladas o elípticas de hasta 5 cm de largo, dentadas, colores verdes oscuros, en posición simples y alternos (Figura 2) (EPE, 2009). Es hermafrodita, con flores de color blanco, su corola es tubular, pentalobulada, en capítulos pequeños terminales o axilares, agrupados en panículas corimbosas (Shock, 1982). La planta es autoincompatible (protandria) y de tipo esporofítico, por lo que la polinización es entomófila; y clasificada como apomítica obligatoria (Monteiro, 1982; citado por EPE, 2009). El fruto es un aquenio que puede ser claro si es estéril u oscuro si es infértil; y es diseminado por el viento (Gattoni, 1945; citado por EPE, 2009). Se clasifica como una planta de día corto, situando el fotoperiodo crítico de 12 a 13 horas según el ecotipo (EPE, 2009).



**Figura 2.** Morfología de *Stevia rebaudiana*.

### 2.3.2 Origen y distribución natural de *Stevia rebaudiana*

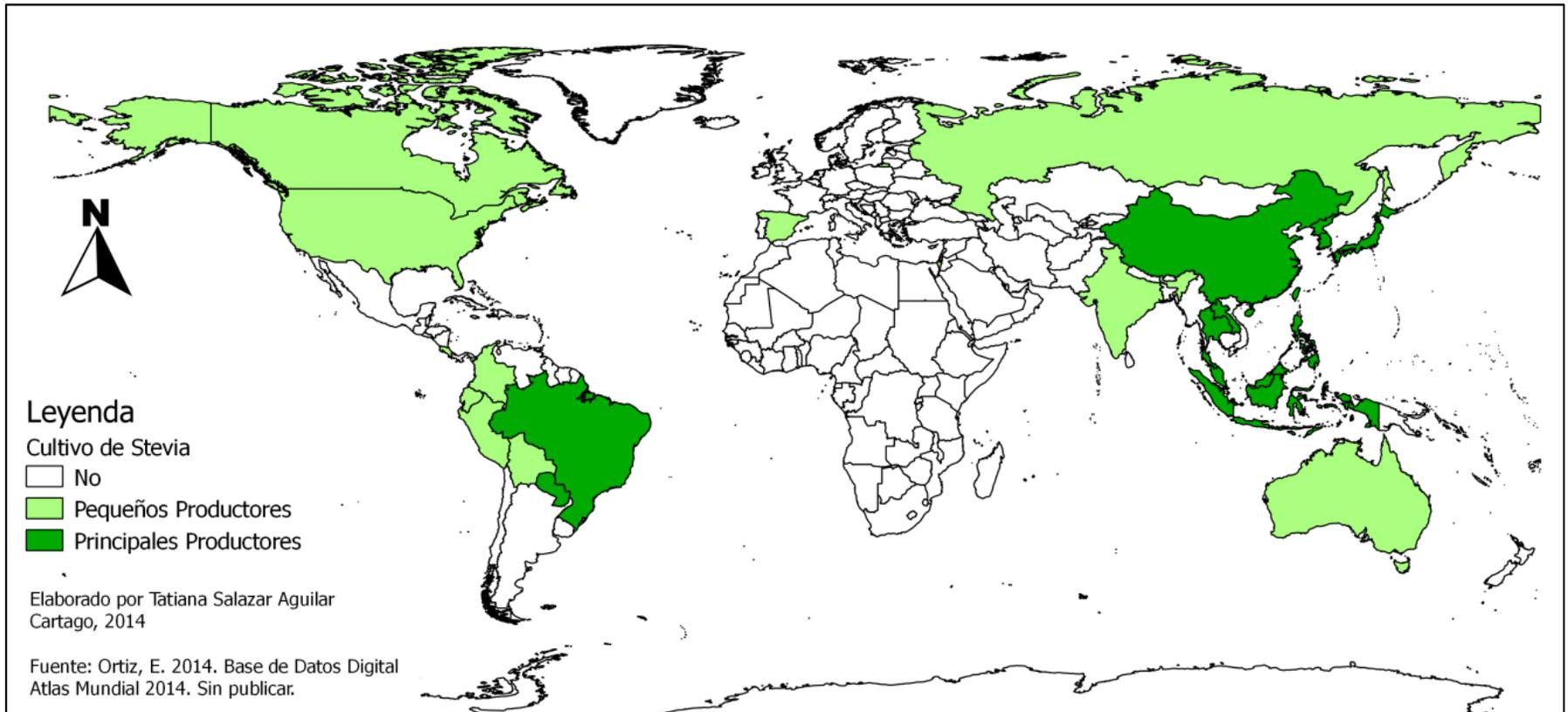
El género *Stevia* comprende más de 240 especies de plantas nativas de Sudamérica, Centroamérica, México y el sur de Estados Unidos. Se cree que *Stevia rebaudiana* es nativa del sudeste de Paraguay, en la región subtropical de Amambay. Crece silvestremente en Paraguay, Brasil y Argentina (Figura 3) (Gallego, 2011).



**Figura 3.** Mapa de distribución nativa de *Stevia rebaudiana* en América.

### 2.3.3 Cultivo de *Stevia rebaudiana* en el mundo.

La producción actual de estevia en todo el mundo oscila entre 100.000 y 200.000 toneladas de hoja seca, aproximadamente el 70% es cultivado en China, el otro 30% se distribuyen en países como Paraguay, Japón, Taiwán, Tailandia, Indonesia, Laos, Filipinas, Corea, Brasil y Malasia. En otros países como, Argentina, Australia, Bolivia, Canadá, Colombia, Ecuador, India, Perú, Rusia, Israel, Estados Unidos y España, el cultivo apenas está iniciando (Figura 4). La superficie total de *Stevia* en el mundo es alrededor de 30.000 y 50.000 hectáreas (Gallego, 2011).



**Figura 4.** Mapa de producción de *Stevia* en el mundo.

### 2.3.4 Rendimientos de la especie.

El rendimiento de producción de *Stevia rebaudiana* varía de acuerdo a la variedad, la densidad de siembra (Jarna *et al.*; 2012), el área geográfica, las condiciones ambientales, los aspectos genéticos de la planta de origen, estado de maduración de la planta, cultivo, procesamiento (Montoro *et al.*, 2013 y Gardana *et al.*; 2010), fotoperiodo (Ceunen y Geus, 2013), y estado nutricional de la planta (Pal *et al.*; 2013).

Según Cortés (2012), la siembra entre 125 mil y 250 mil plantas por hectárea, conlleva a rendimientos productivos de 1100 a 1800 Kg de hoja seca por hectárea, dependiente de la variedad utilizada. Existe interacción del genotipo (Morita I y Morita II) con la densidad, lo cual evidencia que la correcta escogencia de la variedad y densidad es limitante para la producción.

En cuanto al rendimiento del contenido de esteviol, Jarna y colaboradores (2012) señalan que puede rondar entre el 4-20%, dependiendo de las condiciones ambientales, del cultivo, genotipo y momento de colecta. Esto se debe a que la parte útil de la planta son las hojas, las cuales representan el 50% de la biomasa de la planta, y cuya relación en peso fresco a seco es de 5:1 veces (Rodríguez *et al.*, 2007).

El rendimiento productivo puede estar asociado con el volumen del producto o la calidad. Por ejemplo, Jarna y colaboradores (2012) señalan que el crecimiento vegetativo, área foliar, peso seco de hojas y rendimiento de glucósidos está en función del ambiente, pero también relacionados con la duración del día, los cuales pueden aumentar significativamente con respecto a días cortos. Días con menos de 12 horas luz y menores a 20°C reducen el crecimiento vegetativo y la producción de esteviósidos. Por otro lado, señalan que una alta relación hoja/tallo está más relacionada con el genotipo, por lo que correlacionado con la producción en biomasa bajo condiciones óptimas, un buen genotipo dependería más del aprovechamiento fotosintético que la temperatura. Esto se debe en parte por lo señalado por Gunther y colaboradores (1994) citado por Jarna y colaboradores (2012), ya que los esteviosidos dependen de la síntesis del isopentenil pirofosfato IPP, sintetizado por dos rutas diferentes: la ruta del mevalonato que derivan los isoprenoides mitocondriales y citosólicos (ubiquinona, esteroides, citoquininas y brasinosteroides) que

parten del Acetil-CoA y que tiene lugar en el citosol y/o en el retículo endoplasmático; y la ruta alternativa que consiste en la condensación de gliceraldehído-3-fosfato (3-GAP) e hidroxietilamina, producto de la descarboxilación del piruvato durante la respiración celular (Dellas *et al.*, 2013).

González y colaboradores (2014) señalaron por su parte que la variedad Morita II, cultivada en dos sitios (Venezuela y Colombia), no difiere estadísticamente de la producción de esteviósido y rebaudiósido A, por lo que su estabilidad genética influye más fuertemente que la ambiental, o bien, no existen condiciones limitantes significativas en ambos sitios. Jarma y colaboradores (2011) señalan que la producción de estevia se ve favorecida por ambientes donde existe mayor radiación, la cual repercute en la producción de mayores fotosintetatos, y con ello mayor producción de biomasa vegetal y metabolito secundario.

Debido al patrón cambiante de las condiciones climáticas actuales, el estimar las variables climáticas asociadas a la fisiología de las plantas, puede ser crucial para la producción vegetal (Lobell y Gourdjji, 2012; Valkonen, 2012). La temperatura puede afectar la planta de diversas maneras, por ejemplo, se estima que un aumento en la temperatura generaría un desarrollo más rápido y por ende, reducción del ciclo del cultivo y los rendimientos. Además, el aumento de temperatura afecta la presión de vapor por saturación de aire. Las temperaturas extremas pueden dañar directamente células vegetales y los cambios de temperatura afectan la fotosíntesis, respiración y el llenado del fruto (Lobell y Gourdjji, 2012).

Montoro y colaboradores (2013) determinaron que existían diferencias en el contenido de esteviósidos de acuerdo a la procedencia de las semillas. Se evaluaron 24 muestras de *S. rebaudiana* de las cuales, 10 provenían de Brasil, 13 de Paraguay y 1 de Italia. Las muestras con mayor contenido de esteviósidos totales fueron las de Brasil y las de Italia. Probablemente esta última esté relacionada con las provenientes de Brasil.

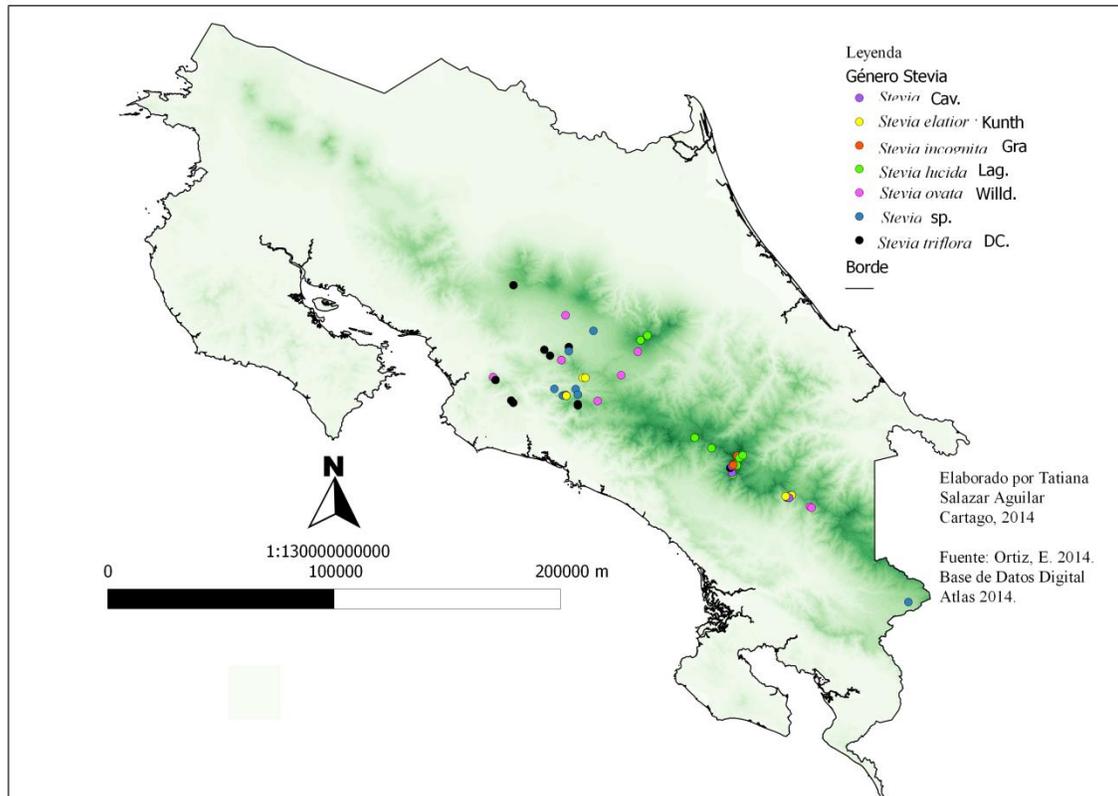
### 2.3.5 Distribución del género *Stevia* en Costa Rica

El género *Stevia* tiene 240 especies de las cuales 6 se encuentran creciendo de manera silvestre en Costa Rica. En el cuadro 3 y la Figura 5 se puede observar cada una de las especies y su distribución. Las especies *S. incognita* Grashoff y la *S. westonii* R.M. se encuentran en el parque Nacional Chirripó a alturas de 3400 y 3600 msnm respectivamente. *S. lucida* Lag., crece en el páramo del Parque Nacional Chirripó de 2700 a 3500 msnm, mientras que *S. ovata* Will se desarrolla en Bosques fluviales de 1700 a 2300 msnm. *S. elatior* Kunth se encuentra en bosques fluviales a 1900 msnm. *S. triflora* D.C. es la que crece a menor altitud se ha encontrado de 300 a 1500 msnm (Rodríguez, 2014).

**Cuadro 3.** Distribución de especies del género de *Stevia* según el Manual de Plantas de Costa Rica.

<b>Especie</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
<i>Stevia elatior</i> Kunth	Bosques Fluviales, vertiente Pacífica de la Cordillera de Talamanca. Cerro Amú en Újarras de Buenos Aires.	1900
<i>Stevia incognita</i> Grashoff	Páramo, vertiente Pacífica de la Cordillera de Talamanca. En parque Nacional Chirripó.	3400-3500
<i>Stevia lucida</i> Lag.	Páramo, ambas vertientes de la Cordillera de Talamanca. En parque Nacional Chirripó.	2700-3500
<i>Stevia ovata</i> Will.	Bosques Fluviales, vertiente Pacífica de la Cordillera Central, en las faldas del Volcán Irazú, vertiente Pacífica de la cordillera de Talamanca en el Cerro de la Muerte y en las sabanas de la cuenca del río Cabagra en Buenos Aires.	1700-2300
<i>Stevia triflora</i> DC.	Bosques húmedos, vertiente Pacífica del Valle Central Occidental, Puriscal- Los Santos. Vertiente Pacífica de la cordillera de Guanacaste.	300-1500
<i>Stevia westonii</i> R.M.	Parque Nacional de Chirripó.	3600

Fuente: MNCR, 2014. Rodríguez, 2014.

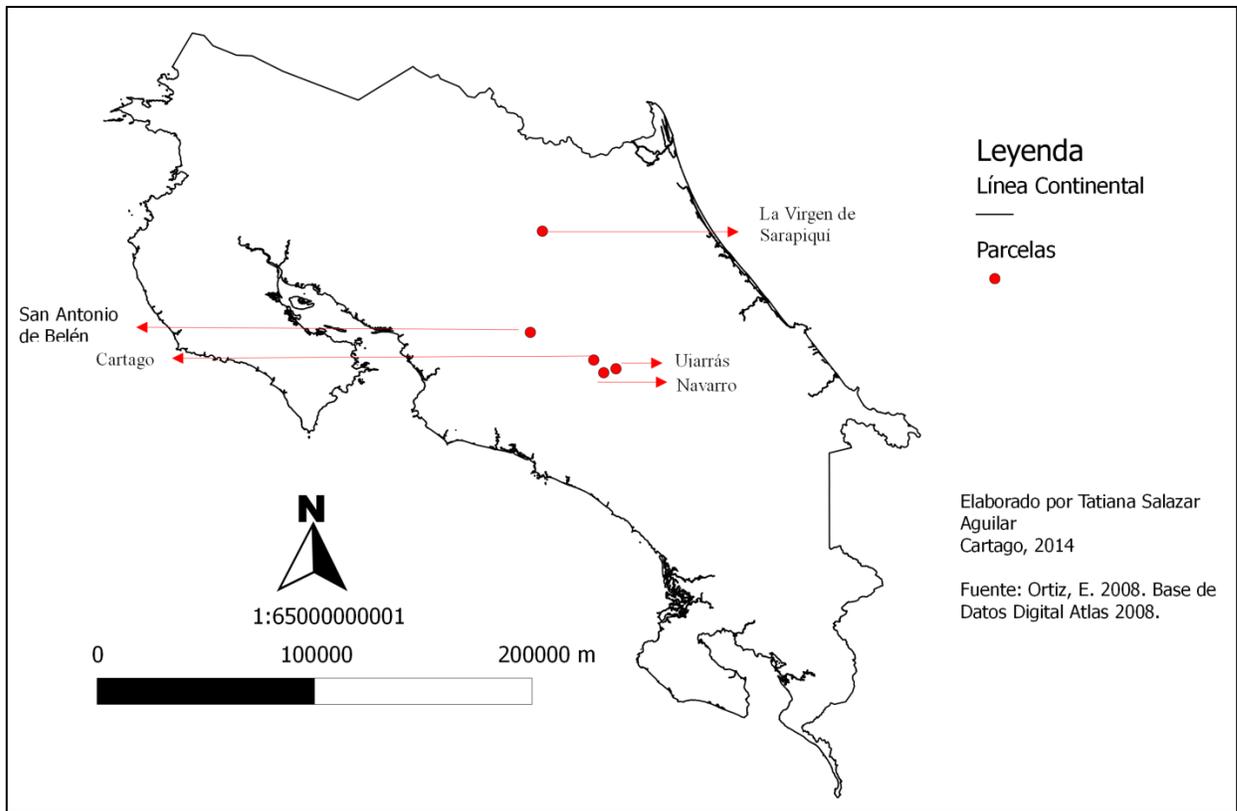


**Figura 5.** Mapa de distribución del género *Stevia* en Costa Rica. Fuente: Base de Datos del Inbio y Tropicos del Jardín botánico de Missouri.

### 2.3.6 Cultivo de *Stevia rebaudiana* en Costa Rica

Debido a que la planta de *Stevia* proviene de condiciones de subtrópico húmedo, con precipitaciones que oscilan entre los 1500-1800 mm anuales, con una temperatura promedio de 23°C, nuestro país ofrece grandes posibilidades para iniciar su siembra y comercialización (Pande y Priyanka, 2013).

Según Brenes (2014) se han cultivado cinco parcelas de *Stevia rebaudiana* en el país, dos de ellas en la provincia de Heredia específicamente en San Antonio de Belén y en La Virgen de Sarapiquí, las otras tres se cultivaron en la provincia de Cartago en Orosí, Ujarrás y Cartago Centro (Cuadro 4, Figura 6). En la Figura 6 se puede ver la ubicación de las parcelas. Se observó la presencia de plagas, la floración y sobrevivencia, sin embargo el crecimiento de las plantas de *Stevia rebaudiana* no fue evaluado en cuanto a rendimiento.



**Figura 6.** Parcelas experimentales de *Stevia rebaudiana* en Costa Rica.



**Figura 7.** Parcelas experimentales de *Stevia rebaudiana* en Costa Rica. A) Ujarrás, B) Navarro, Oroquí y C) San Ramón de la Virgen de Sarapiquí. Imágenes suministradas por Brenes, 2014.

**Cuadro 4.** Distribución de parcelas de *Stevia rebaudiana* en Costa Rica.

Lugar	Área	Propietario	Número de Plantas	Observaciones	Condiciones agroclimáticas.
San Antonio de Belén	700 m <sup>2</sup>	Instamasa, Johanna Víquez. jviquez@instamasa.com	515	Baja floración. Inundación por quebrada. Altas precipitaciones.	Temperatura: 18-24 Precipitación: 2500 Altitud: 900 Tipo de suelo: Inceptisoles Dystrandep.
Ujarrás	200 m <sup>2</sup>	B y C exportadores	180	Buen crecimiento.	Temperatura: 18-24 Precipitación: 2000 Altitud: 1200 Tipo de suelo: Ultisoles
Navarro, Orosí	1400 m <sup>2</sup>	Viviana Tinoco	1500	Problemas de floración, zompopas y mal del talluelo, problemas con el secador	Temperatura: 18-24 Precipitación: 2000 Altitud: 1200 Tipo de suelo: Inceptisoles Dystrandep.
ITCR, Cartago	200 m <sup>2</sup>	ITCR	200	Déficit de agua, alta incidencia de sol, zompopas.	Temperatura: 12-18 Precipitación: 1500 Altitud: 1900 Tipo de suelo: Inceptisoles Dystrandep.
San Ramón, La Virgen de Sarapiquí.	3000 m <sup>2</sup>	Ligia Gómez Román	5000	Algunas plantas no crecieron, problemas de floración	Temperatura: 24-30 Precipitación: 5000 Altitud: 200- 400 Tipo de suelo: Inceptisoles Dystrandep.

**Fuente:** Comunicación personal Brenes, 2014. Condiciones agroclimáticas tomadas de Ortiz, 2008. Atlas Digital de Costa Rica 2008.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Identificar los sitios con condiciones potenciales para el cultivo comercial de *Stevia rebaudiana* Bertoni en Costa Rica.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Definir las variables biológicas y físicas idóneas para el cultivo de *Stevia rebaudiana* en Costa Rica.
- Determinar las variables económicas ideales para el cultivo de *Stevia rebaudiana* en Costa Rica.
- Generar las capas de datos para modelar cada una de las variables identificadas.
- Obtener el mapa de zonas óptimas mediante la combinación de las capas utilizando herramientas de geoprocésamiento.

## **4. Materiales y métodos**

### **4.1 Variables biológicas y bio-físicas idóneas para el cultivo de *Stevia rebaudiana* en Costa Rica.**

Se realizó el perfil ecológico de *Stevia rebaudiana* con la información obtenida en la revisión de literatura. Se elaboró una matriz (Cuadro 7) con la información obtenida de las variables más determinantes en el crecimiento de la especie y con las cuales se cuenta información digital en el Atlas Digital de Costa Rica 2008 (Ortiz, 2008) y Atlas Digital de Costa Rica 2014 (Ortiz, 2014).

### **4.2 Variables económicas ideales para el cultivo de *Stevia rebaudiana* en Costa Rica.**

Se consideraron otras variables desde el punto de vista económico para determinar la viabilidad del cultivo de la *Stevia rebaudiana* en Costa Rica. Las variables fueron: distancia máxima del sitio a caminos, distancia máxima del sitio a la industria y capacidad de uso de tierra (Campos, 2000).

#### **4.2.1 Distancia máxima del sitio a los caminos.**

Esta variable corresponde a la distancia máxima del sitio a cultivar *S. rebaudiana* a los caminos nacionales y cantonales, la imagen digital de los caminos utilizada se encuentra en el Atlas Digital de Costa Rica 2014. Para definir cuál sería la distancia máxima de los sitios a los caminos, se consultó a profesionales en biotecnología, ingeniería forestal y agronomía con conocimientos en comercialización de otros cultivos. Así mismo se consultó con empresarios con experiencia en la comercialización.

#### **4.2.2 Distancia máxima del sitio a la industria.**

Primeramente se determinó cuáles serían las potenciales industrias interesadas en la comercialización de la materia prima de *S. rebaudiana* y posteriormente se definió cuál sería la distancia máxima rentable de la plantación a estos sitios. Esto se determinó mediante la consulta a expertos. Sin embargo esta variable no se usó para el mapa de condiciones económicas ópticas debido a que cerca de una plantación se podría procesar la materia vegetal, disminuir volumen y por lo tanto disminuir costos.

#### **4.2.3 Capacidad de uso de tierra.**

La capacidad de uso de Tierra se tomó en cuenta las clases I, II, III y IV como óptimas para el cultivo de *S. rebaudiana* mientras que las otras clases se denominaron no aptas (Ortiz, 2014). Se utilizó la base de datos de la capa de capacidad de uso de tierra del Atlas Digital de Costa Rica 2008 (Ortiz, 2008).

#### **4.2.4 Uso actual.**

Se buscó identificar las áreas que no fueran de uso urbano, ni áreas boscosas. Esto se logró con la información en las capas cobertura 2005, contenidas en el Atlas Digital de Costa Rica 2014 (Ortiz, 2014).

#### **4.3 Capas de datos para modelar cada una de las variables identificadas.**

Para la realización de operaciones cartográficas de cada una de las variables biológicas, físicas y económicas se utilizó el software libre QGIS y las bases de datos Atlas Digital de Costa Rica 2008 y 2014 (Ortiz, 2008; Ortiz, 20014). En el programa se cargó cada capa vectorial correspondiente, luego se agregó una columna adicional a la tabla de atributos a la que se denominó Aptitud. La información de esta columna se completó mediante el uso de la calculadora de campos en el cual se introdujo la función correspondiente para clasificar las variables en tres tipos: Óptimo, Sub óptimo y No apto. Posteriormente se le asignó una coloración a cada clasificación en el mapa, para ello se utilizó la función de clasificación basado en reglas. Esta función se localiza en la ventana de propiedades y en la pestaña de estilo. Los colores asignados fueron verde oscuro para Óptimo, verde claro para Sub óptimo y blanco para No Apto. Finalmente se diseñaron los mapas para cada una de las variables.

#### **4.4. Mapa de zonas potenciales mediante la combinación de las capas utilizando herramientas de geoprocésamiento.**

##### **4.4.1 Variables biológicas y físicas.**

Para generar un mapa con las zonas potenciales de cultivo de *S. rebaudiana* según las características de precipitación, altitud, temperatura y tipos de suelos se adicionan todas las capas vectoriales y luego se unen los datos mediante la función de "Intersección" que se encuentra en la función Herramientas de Geoprocésamiento de la pestaña vectorial. Esta opción solo permite unir dos capas vectoriales a la vez, por lo que se unió primero precipitación y temperatura, luego altitud y por último tipos de suelos.

Luego se agregó una columna adicional a la tabla de atributos a la que se denominó "Aptitud Biológica". La información de esta columna se completó mediante el uso de la calculadora de campos en el cual se introdujo la función correspondiente para clasificar las variables en tres tipos: Óptimo (Todas las características Óptimas), Sub óptimo (Al menos una Sub Óptima) y No apto (Al menos una No apto) (Cuadro 5).

Posteriormente se le asignó una coloración según la metodología descrita anteriormente. Finalmente se diseñó el mapa de cultivo potencial de *S. rebaudiana* según las variables biológicas.

**Cuadro 5.** Criterios para clasificar los sitios de cultivo potencial de *S. rebaudiana* en Costa Rica según las variables biológicas.

Combinación	Temperatura	Tipo de Suelo	Precipitación	Altitud	Criterio
1	O	O	O	O	O
2	O	O	O	SO	SO
3	O	O	O	NA	NA
4	O	O	SO	O	SO
5	O	O	SO	SO	SO
6	O	O	SO	NA	NA
7	O	O	NA	O	NA
8	O	O	NA	SO	NA
9	O	O	NA	NA	NA
10	O	NA	O	O	NA
11	O	NA	O	SO	NA
12	O	NA	O	NA	NA
13	O	NA	SO	O	NA
14	O	NA	SO	SO	NA
15	O	NA	SO	NA	NA
16	O	NA	NA	O	NA
17	O	NA	NA	SO	NA
18	O	NA	NA	NA	NA
19	SO	O	O	O	SO
20	SO	O	O	SO	SO
21	SO	O	O	NA	NA
22	SO	O	SO	O	SO
23	SO	O	SO	SO	SO
24	SO	O	SO	NA	NA
25	SO	O	NA	O	NA
26	SO	O	NA	SO	NA
27	SO	O	NA	NA	NA
28	SO	NA	O	O	NA
29	SO	NA	O	SO	NA
30	SO	NA	O	NA	NA
31	SO	NA	SO	O	NA
32	SO	NA	SO	SO	NA
33	SO	NA	SO	NA	NA
34	SO	NA	NA	O	NA
35	SO	NA	NA	SO	NA

Combinación	Temperatura	Tipo de Suelo	Precipitación	Altitud	Criterio
36	SO	NA	NA	NA	NA
37	NA	O	O	O	NA
38	NA	O	O	SO	NA
39	NA	O	O	NA	NA
40	NA	O	SO	O	NA
41	NA	O	SO	SO	NA
42	NA	O	SO	NA	NA
43	NA	O	NA	O	NA
44	NA	O	NA	SO	NA
45	NA	O	NA	NA	NA
46	NA	NA	O	O	NA
47	NA	NA	O	SO	NA
48	NA	NA	O	NA	NA
49	NA	NA	SO	O	NA
50	NA	NA	SO	SO	NA
51	NA	NA	SO	NA	NA
52	NA	NA	NA	O	NA
53	NA	NA	NA	SO	NA
54	NA	NA	NA	NA	NA

O: Óptimo, SO: Sub óptimo y NA: No apto.

#### 4.4.2 Variables Económicas.

Para generar un mapa con las zonas potenciales de cultivo de *S. rebaudiana* según las características de: distancia máxima del sitio de cultivo a caminos principales, distancia máxima del cultivo a la industria, capacidad de uso de tierra y uso actual. Se adicionaron todas las capas vectoriales y luego se unieron los datos, mediante la función de Intersección siguiendo el procedimiento que se mencionó para variables biológicas y físicas. Se elaboró un mapa de capacidad de uso de tierra, uso actual y distancia a caminos principales. La distancia a citios industriales potenciales de procesamiento no se tomó en cuenta ya que las distancias pueden ser solventadas creando nuevos centros de procesamiento.

Luego se agregó una columna adicional a la tabla de atributos, a la que se denominó: Aptitud Económica. La información de esta columna se completó mediante el uso de la calculadora de campos en el cual se introdujo la función correspondiente para clasificar las variables en tres tipos: Óptimo y No apto.

Posteriormente se le asignó una coloración a cada clasificación en el mapa, para ello se utilizó la función de clasificación basado en reglas. Esta función se localiza en la ventana de propiedades y en la pestaña de estilo. Los colores asignados fueron verde oscuro para Óptimo, verde claro para Subóptimo y blanco para No Apto. Finalmente se diseñó el mapa de cultivo potencial de *S. rebaudiana* según las variables económicas.

## **5. Resultados y Discusión.**

### **5.1 Definir las variables biológicas y físicas idóneas para el cultivo de *Stevia rebaudiana* en Costa Rica.**

#### **5.1.1 Requerimientos ambientales.**

En el cuadro 6 se hace referencia a otras fuentes donde se mencionan los sitios óptimos de cultivo, sin embargo, se utilizó la clasificación de Ramírez y colaboradores (2011) (Cuadro 7), ya que son los únicos que describen los tres niveles: Óptimo, Sub óptimo y No apto.

**Cuadro 6.** Condiciones agroclimáticas óptimas para el cultivo de *S. rebaudiana* según fuentes bibliográficas.

<b>Parámetro</b>	<b>Ramírez <i>et al</i>, 2011</b>	<b>Carrascal, 2014</b>	<b>Cortés, 2002</b>	<b>Farinango, 2013</b>	<b>Capa a usar</b>
Clima	Trópico y Subtrópico	Subtropical			Zonas de vida
Temperatura (°C)	18-30	15-30	18-34	18-34	Zonas de vida
Precipitación (mm/anuales)	1000-1400	1400-1800	1400-1800	1400-1800	Precipitación
Altitud (msnm)	0-500		Paraguay + 1700. Ecuador 2100-2750. Colombia hasta 2500.		Relieve2008
Profundidad del suelo (cm)	20 a 50				No hay información
Drenaje	Bueno				No hay información
Textura del suelo	Franco y Franco Arenoso	Areno-arcillosa	Franco arenosos- Franco arcillosos		Suelos
Tipos de suelo	Luvisoles, Nitosoles, Regosoles y Fluvisoles				Suelos
pH del suelo	5,0 a 7,0	4 a 5	5.5 a 7,5	5.5 a 7,5	No hay información

**Cuadro 7.** Condiciones agroclimáticas óptimas para el cultivo de *S. rebaudiana* según Ramírez y colaboradores (2011).

Parámetro	Óptimo	Subóptimo	No apto
Clima	Trópico y subtropical	Templados	Fríos
Temperatura (°C)	15-18 y 30-43	Menor de 15, Mayor de 43	
Precipitación (mm/anuales)	1000-1400	500-1000;1400-2000	Menor de 500; Mayor de 2000
Altitud (msnm)	0-500	500-1200	Mayor de 1200
Profundidad del suelo (cm)	Mayor de 20 a 50	Menor de 20	Deficiente
Drenaje	Bueno	Regular	Deficiente
Textura del suelo	Franco y F. arenoso	Pesada	Pesada
Tipos de suelo	Luvisoles, nitosoles, regosoles y fluvisoles	Cambisoles y Rendzimas	Solonchank's, vertisoles y litosoles
pH del suelo	5.0 a 7.0	4.0 a 4.9; 7.1 a 7.5	Menor de 4.0; Mayor de 7.5

Fuente: Ramírez *et al.*, 2011.

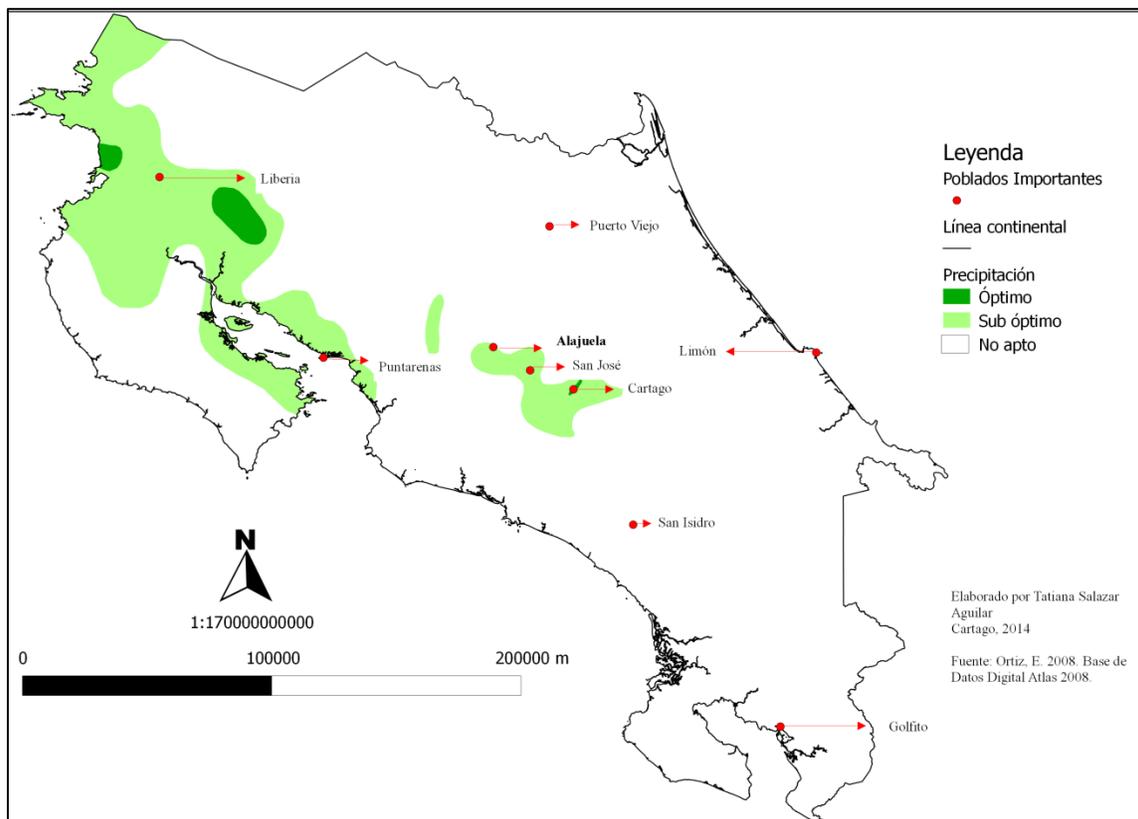
### 5.1.2 Precipitación

En su estado natural *Stevia*, crece en la región subtropical, semihúmeda de América, con precipitaciones que oscilan entre 1400 a 1800 mm, distribuidos durante todo el año (Landázuri y Tigrero, 2009; Cortés, 2012). En la clasificación de la aptitud de los sitios para el cultivo de *Stevia rebaudiana* se consideró un rango óptimo entre 1000 y 1400 msnm, sub óptimas de 1400 a 2000 msnm y no aptas mayores a 2000 msnm. En Costa Rica al ser un país del trópico, las precipitaciones medias anuales son más altas en la mayoría de los sitios, con un rango que oscila entre los 1850 y 3500 mm; sin embargo, algunos puntos presentan periodos de sequía como lo es el Pacífico Norte y Central (IMN, 2014), por lo que se recomienda tener sistema de riego adecuado, para suplir la demanda hídrica durante dichos periodos, porque esta especie es muy susceptible a la sequía.

La humedad relativa por su parte, asociada con el nivel de retención del agua en la atmósfera, fue establecida como óptima desde los 75% a 85%.

En la Figura 8 se señalan en color verde oscuro los sitios óptimos según la precipitación: Cartago, distrito Oriental, en Guanacaste cerca de la Bagaces, Cañas y el distrito de Nacascolo en Liberia. El color verde claro señala los sitios considerados como subóptimos:

Valle Central comprendiendo Cartago, San José, Atenas, Alajuela y en la Provincia de Guanacaste y Puntarenas alrededor del Golfo de Nicoya y en los cantones de la Cruz, Liberia, Carrillo, Bagaces y Abangares.



**Figura 8.** Sitios óptimos para el cultivo de *Stevia rebaudiana* según la precipitación.

Debido a la posible influencia que a futuro se presente dentro de los escenarios del cambio climático, el tiempo climático no será estático, y por ende, zonas que actualmente son subóptimas, podrían ser óptimas, o viceversa, por tanto el contemplar dichas opciones a corto y mediano plazo, son de suma relevancia (Thornton *et al.*, 2014; Salvo *et al.*, 2013).

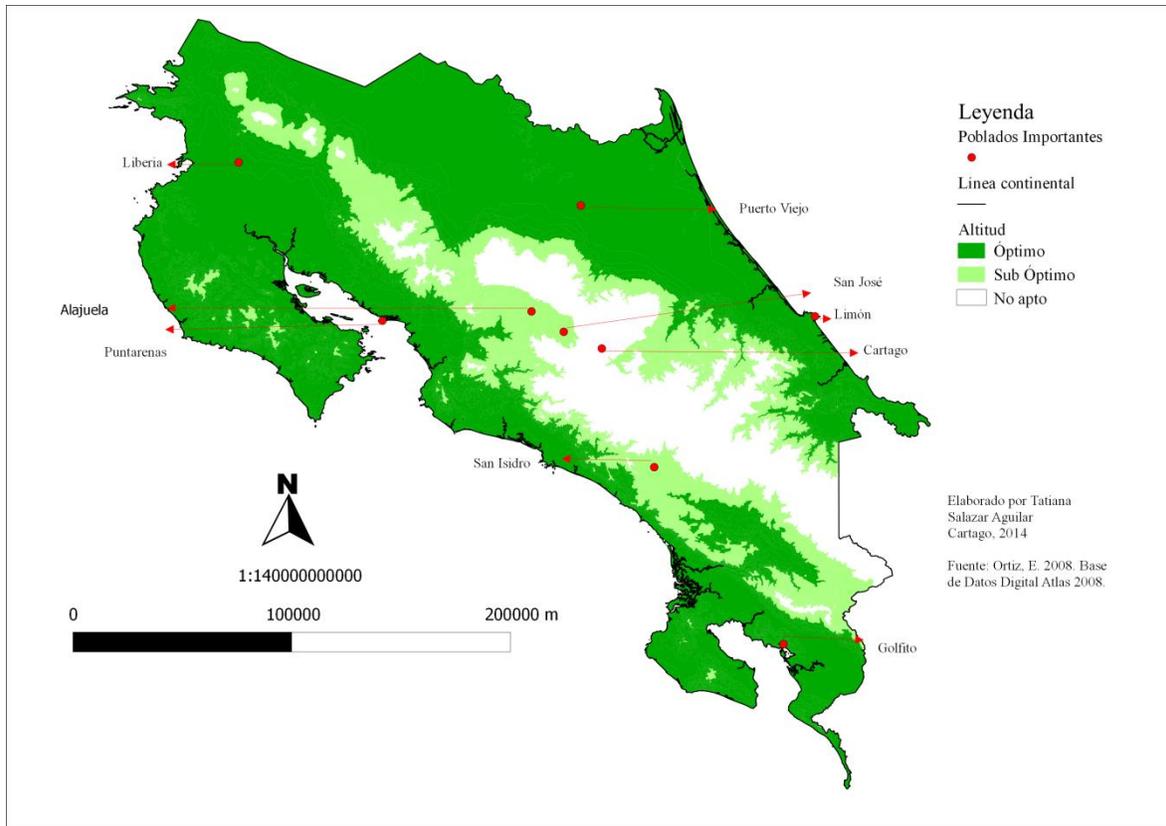
### 5.1.3 Altitud

En Bolivia, la *Stevia* crece a más de 1700 msnm, mientras que en Ecuador se ha visto la adaptabilidad de esta planta entre los 2100 y 2750 msnm. En Colombia soporta una gran variedad de climas ya que se desarrolla bien al nivel del mar hasta los 2500 msnm. Sin

embargo es muy susceptible a enfermedades en la raíz y hojas, en las zonas de alta precipitación y suelos pesados (Cortés, 2012).

En el trópico, *Stevia* presenta un rango de adaptación entre los 0 y los 1200 metros sobre el nivel del mar. Se han reportado las mayores producciones de follaje a los 800 msnm (Ramia, 2002). La altitud incide sobre el crecimiento de las plantas, la longitud de los entrenudos, el tamaño de las hojas y el contenido de los esteviosidos. Se reporta que en altitudes mayores a 1200 msnm la concentración de esteviosidos disminuye (Ramírez, *et al.*, 2011). Para elaborar el mapa con los sitios con potencial óptimo para el crecimiento de *Stevia rebaudiana* se determinó como rango de altura de los 0 a los 500 msnm, el subóptimo de 500 a 1200 msnm y la no apta las alturas mayores a 1200 msnm.

En la Figura 9 se muestra los sitios potenciales para el cultivo de *S. rebaudiana* según la altitud. Como se mencionó en la metodología, este no es un factor limitante puesto que entre 2000 y 3000 msnm la planta encontraría las condiciones semejantes a su habitat natural según el diagrama de Holdridge (1978) de las fajas altitudinales en el trópico. Además a esto existen en el país plantas silvestres pertenecientes al género *Stevia* en su mayoría distribuidas en zonas altas (Cuadro 3).

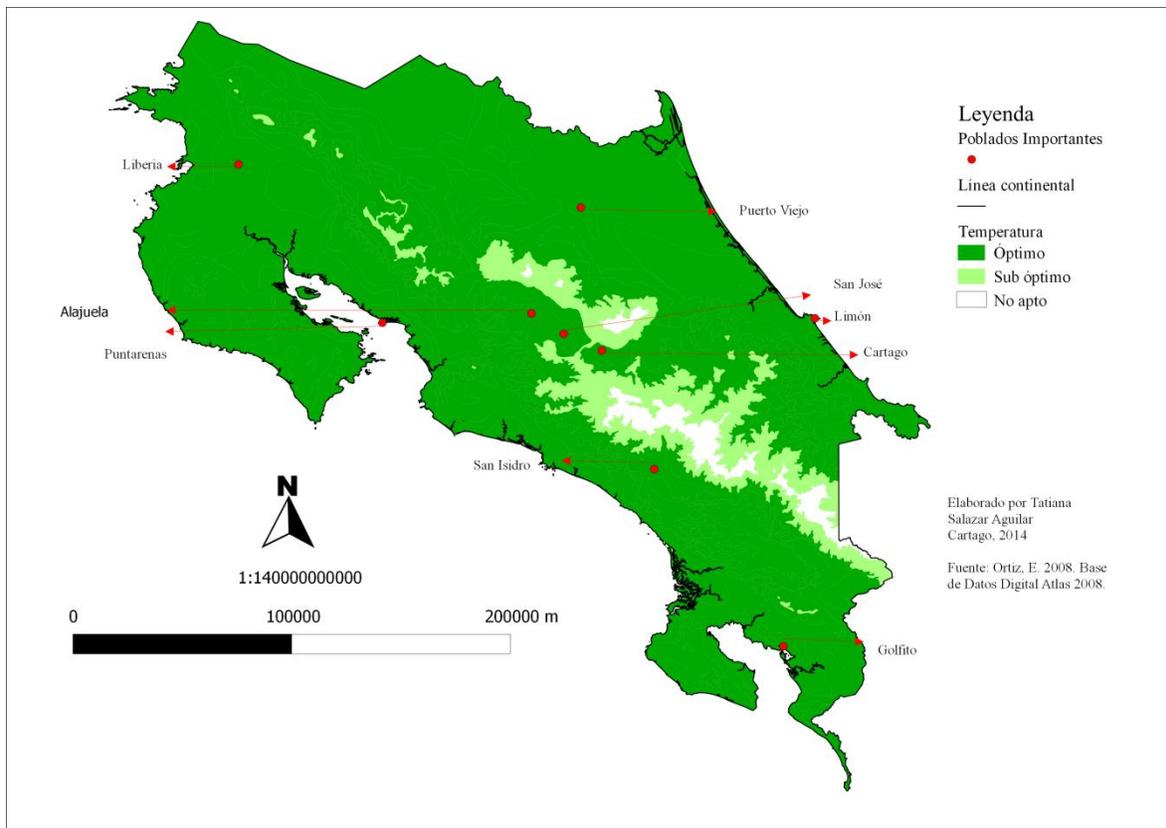


**Figura 9.** Sitios óptimos para el cultivo de *Stevia rebaudiana* según la altura sobre el nivel del mar.

### 5.1.4 Temperatura

La temperatura óptima para el crecimiento de *Stevia* está entre los 18 y 34°C. Resiste y prospera hasta los 43°C acompañado de precipitaciones frecuentes. Temperaturas entre los 5 y 15 °C inhiben o detienen su desarrollo foliar, inferior a éstas temperaturas pueden ocasionar la muerte de la planta. Además de ello, la planta requiere de días largos y alta intensidad solar (heliófila) (Landázuri y Tigero, 2009; Cortés, 2012), por lo que se definió como temperatura óptima de 18 a 30°C, subóptima de 15 a 18°C y la no apta menor a 15°C.

En la Figura 10 se distingue los sitios potenciales según la temperatura, este mapa está muy relacionado con la Figura 9 de la altitud. Solamente los sitios más altos de la Cordillera Volcánica Central y la Cordillera de Talamanca alcanzan temperaturas inferiores a 15°C que se clasificó como No Apto, similar a la Figura 9.

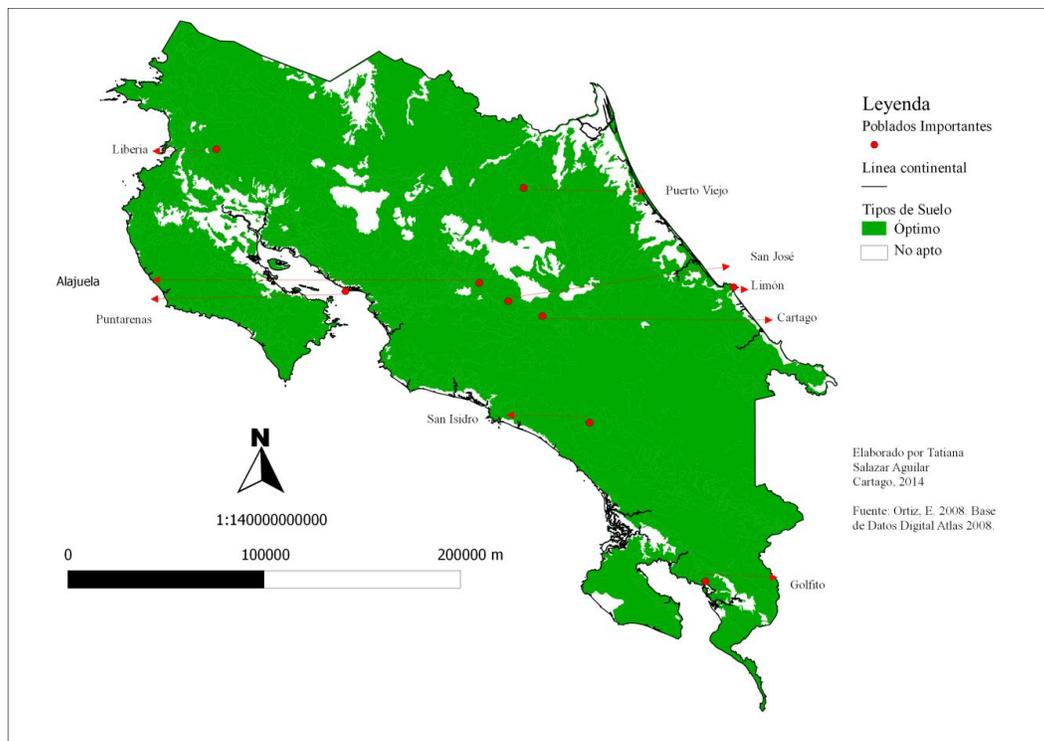


**Figura 10.** Sitios potenciales para el cultivo de *Stevia rebaudiana* según la temperatura.

De acuerdo con Thornton y colaboradores (2014), la información disponible sobre la posibilidad de aumento de la temperatura en años venideros, podría ocasionar en sistemas biológicos una aceleración del crecimiento y desarrollo vegetativo, pero si las condiciones hídricas o nutricionales no son favorables, agro-productivamente pueden obtenerse reducciones en el volumen y rendimiento de los cultivos en general; razón por la cual contemplar las zonas subóptimas como limitantes, no es recomendado en el presente trabajo, ya que hasta pueden ser a futuro sitios óptimos, y aumentar el área óptima disponible para su siembra.

### 5.1.5 Suelos

El cultivo de *Stevia* es poco exigente, adaptándose a diferentes tipos de suelos, con texturas desde francos arenosos a franco arcillosos, con buena humedad y pH entre 5.5 y 7.5 (Cortés, 2012). Esta planta no tolera suelos con exceso de humedad ni los de alto contenido de materia orgánica, principalmente por problemas fúngicos que pueden causar grandes pérdidas económicas. Se utilizó la capa del Atlas Digital 2008 de suelos y con la asesoría de Ortiz (2014 comunicación personal) se clasificó en Óptimos y No Aptos. Los suelos No Aptos se designó a suelos con limitantes de los ordenes: Entisoles, Vertisoles e Inceptisoles. En la Figura 11 se observa en verde los sitios Óptimos y en blanco los No Aptos (NA). Dentro de los NA se encuentran lugares como la cercanía del Río Colorado y los Canales de Tortuguero que son lugares muy húmedos clasificados como *Tropaquept*. Cerca del Río Frío frontera con Nicaragua también se encuentran suelos del mismo orden. En la cuenca del Río Tempisque se encuentran suelos muy arcillosos clasificados como Vertisoles. Cerca del Volcán Arenal y el Barva en el Parque Nacional Braulio Carrillo se encuentran suelos *Hydrandept*, con mucha arcilla.



**Figura 11.** Sitios óptimos para el cultivo de *Stevia rebaudiana* según los tipos de suelos.

## 5.2 Determinar las variables económicas ideales para el cultivo de *Stevia rebaudiana* en Costa Rica.

De acuerdo a la consulta realizada a cinco profesionales, se obtuvieron los siguientes resultados:

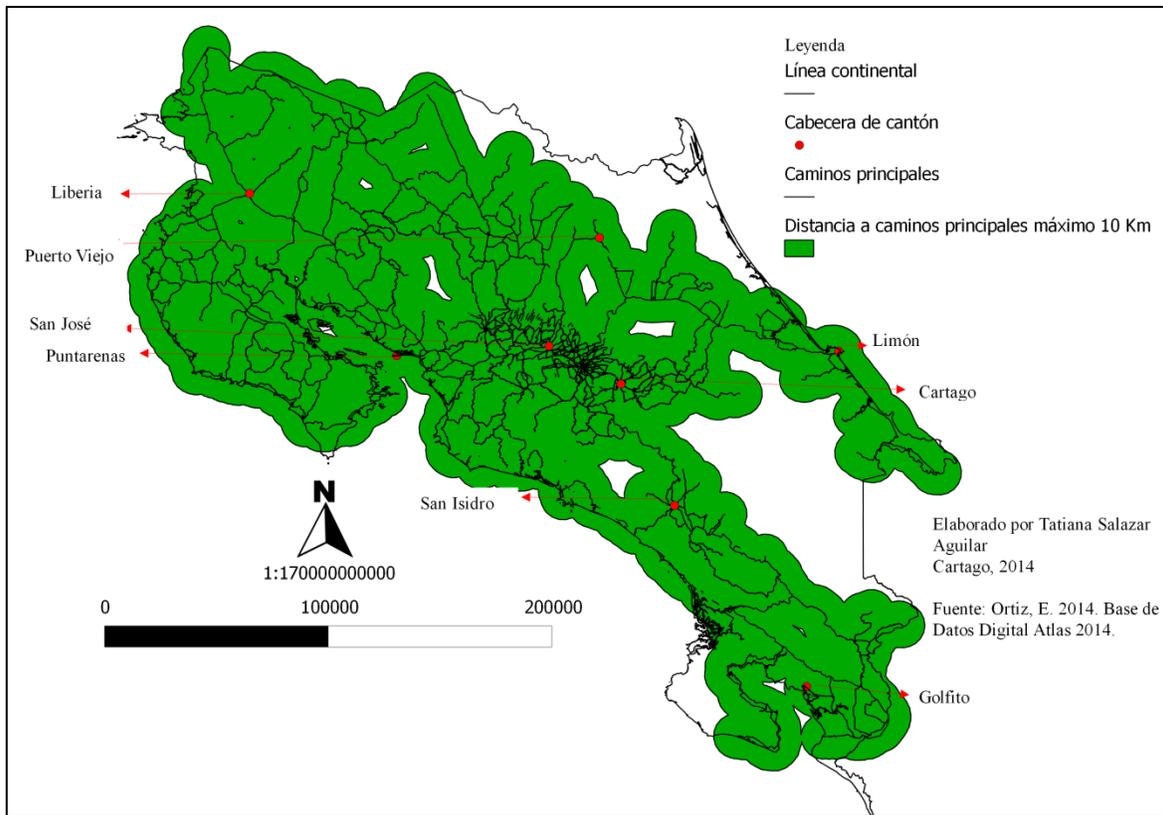
### 5.2.1 Distancia máxima del sitio a los caminos.

La consulta realizada señaló que en promedio un valor de 10 Km de distancia es adecuada para disminuir principalmente los costos por transporte (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Resultado de la consulta realizada para determinar el valor óptimo en la ubicación y topografía de un sitio para cultivar *S. rebaudiana*. Cartago, 2014.

<b>Profesional</b>	<b>Especialidad</b>	<b>Distancia Ubicación Industria (Km)</b>	<b>Distancia Caminos nacionales (Km)</b>
Carlos Alvarado	Ing. Biotecnología /Empresario	50	10
Dorian Carvajal	Ing. Forestal	60-80	20-30
Luis Fernando Campos	Ing. Agrónomo	20	3-5
Catalina Rosales	Ing. Biotecnología.	60	1
Gustavo Alvarado	Ing. Forestal	20	5
<b>Decisión</b>		<b>50</b>	<b>10</b>

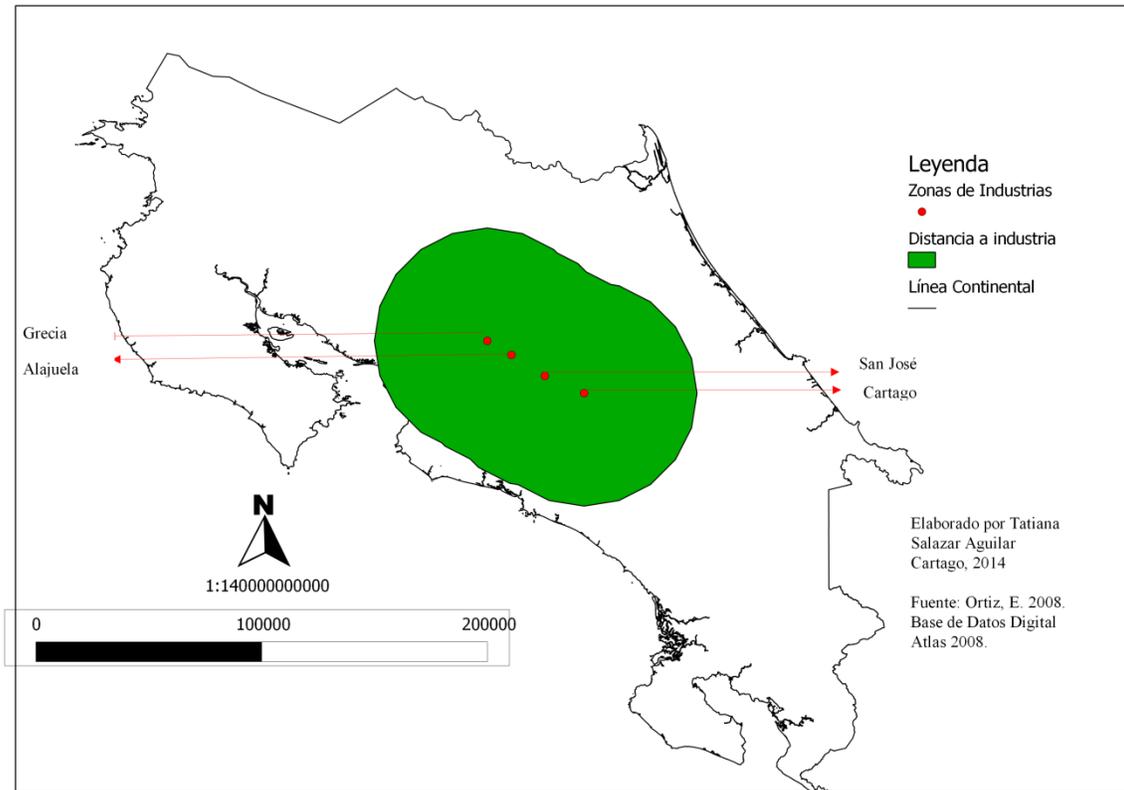
En la Figura 12 se pueden observar los sitios que se encuentran a máximo 10 km de vías principales (en verde), la mayoría del territorio está cubierto por esta área. Las zonas que están a más de 10 km de una vía principal son las que están cerca de Barra del Colorado en Limón y en el Parque Nacional la Amistad, al este del territorio nacional.



**Figura 12.** Sitios potenciales para el cultivo de *Stevia rebaudiana* según la distancia máxima del sitio a caminos.

### 5.2.2 Distancia máxima del sitio a la industria.

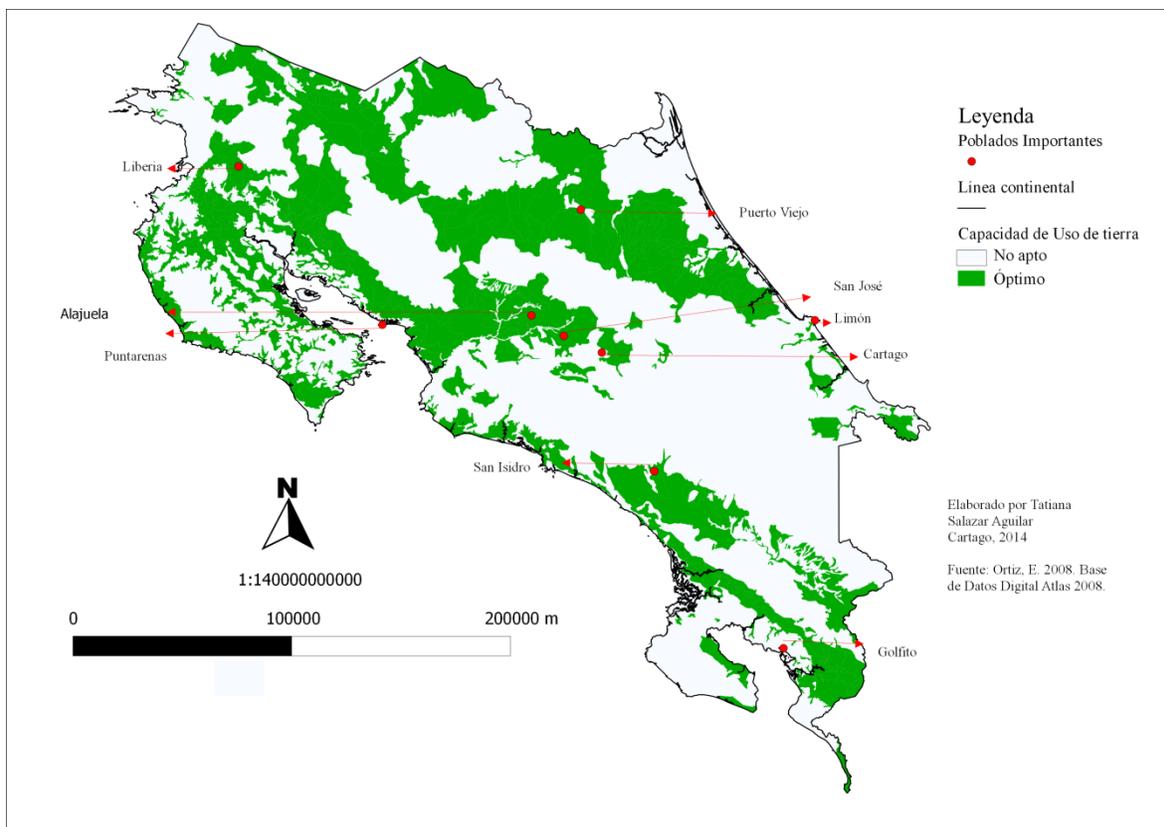
Se consultó a expertos y se tomó en cuenta posibles lugares donde podría ser procesada la materia prima. Por ejemplo se señaló la empresa Instamasa, ubicada en San Antonio de Belén, la cual formaba parte de un proyecto de investigación y está interesada de utilizar *Stevia* como materia prima (Brenes, 2014); así como Grecia donde está localizada Laica, además de los tres puntos de referencia del Gran Área Metropolitana (Alajuela, San José y Cartago).



**Figura 13.** Sitios potenciales para el cultivo de *Stevia rebaudiana* según la distancia máxima del sitio a la industria.

### 5.2.3 Capacidad de uso de tierra.

Se utilizó la capa de la base de datos Atlas Digital 2008 denominada capacidad de uso. Se determinaron como sitios óptimos los suelos de la clase I, II, III y IV, las clases del V al VIII se denominaron como no aptas. Además se restaron las Áreas de protección que incluye la capa vectorial de suelos. En la Figura 14 se observa de color verde los sitios Óptimos y en blanco los No Aptos (NA).

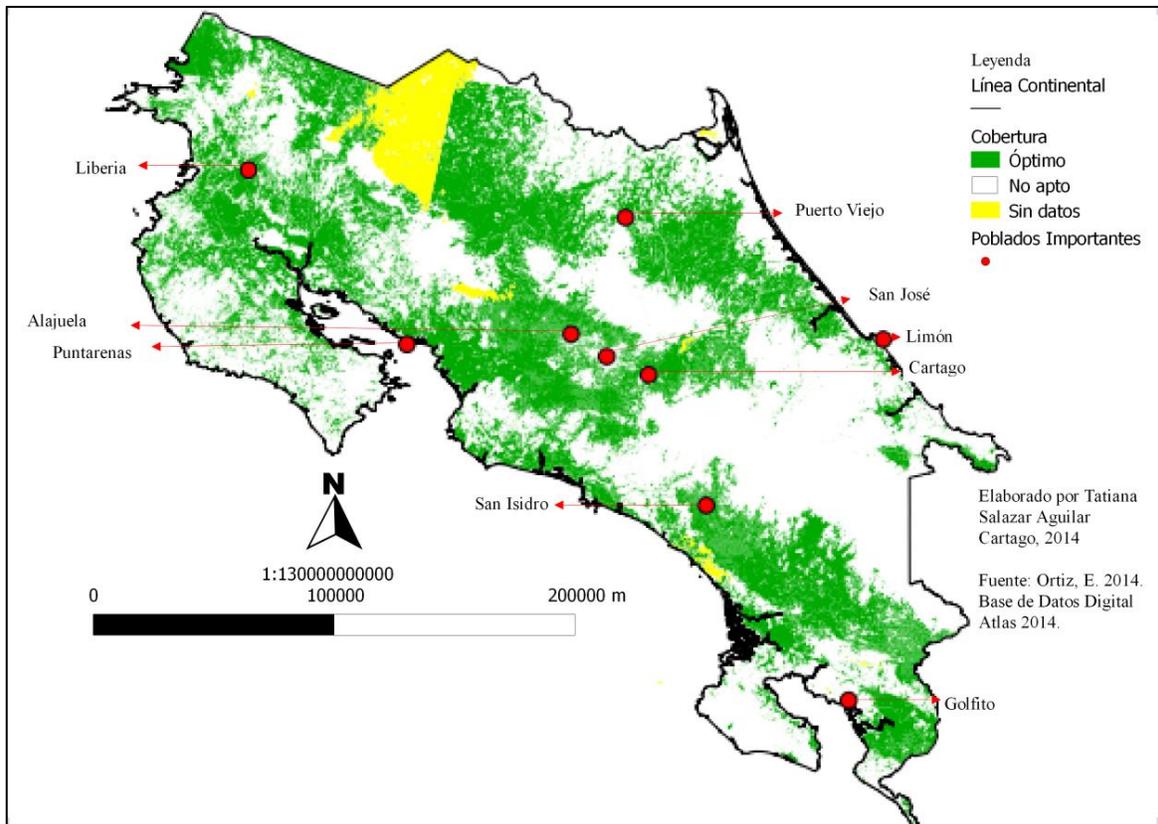


**Figura 14.** Sitios potenciales para el cultivo de *Stevia rebaudiana* según la capacidad de uso de suelo.

De acuerdo a la capacidad de uso de suelo, se presenta una capacidad de uso agrícola alto en los principales valles: Central, Tempisque y General. Así como llanuras irrigadas por el Río Tempisque en Cañas, Liberia y Santa Cruz, además de las llanuras en Guatuso y el Caribe.

#### 5.2.4 Uso Actual.

La capa vectorial Cobertura 2005, contenida en el Atlas Digital de Costa Rica 2014 (Ortiz, 2014) tiene información sobre las tierras de uso urbano, las áreas boscosas, los humedales, lagunas y manglares. Todos estos usos se clasificaron como No Aptos. En la Figura 15 se muestran las zonas que pueden ser utilizadas según el uso actual.



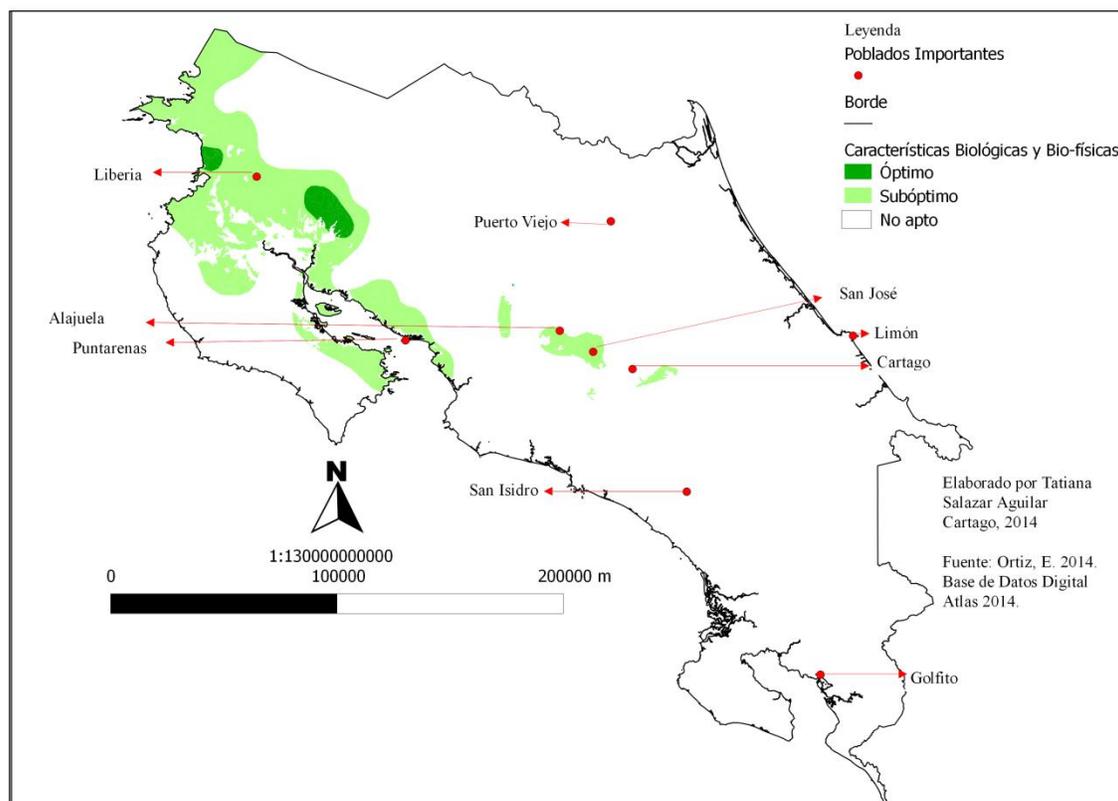
**Figura 15.** Sitios potenciales para el cultivo de *Stevia rebaudiana* según la capa vectorial Cobertura, 2005.

La información obtenida revela que más de un 75% del territorio nacional presenta una adecuada capacidad de uso, lo cual involucra cultivos anuales, permanentes, pastoreo extensivo e intensivo, y forestales (Tosi, 1995). Al ser *Stevia* un cultivo perenne, su siembra permitiría una cobertura amplia de terreno, el cual estaría conservando las tierras agrícolas ya distribuidas en el territorio.

### 5.3 Mapa de zonas potenciales mediante la combinación de las capas utilizando herramientas de geoprocresamiento.

#### 5.3.1 Características biológicas y bio-físicas

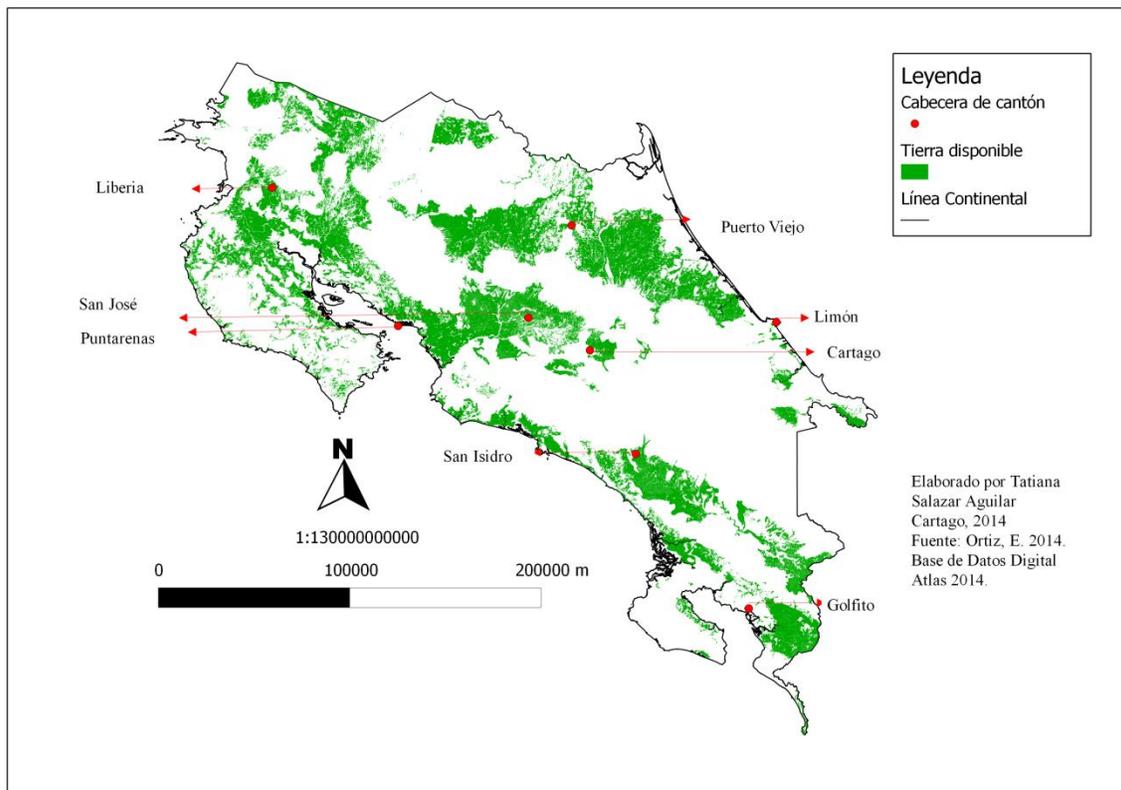
Como se mencionó en el apartado 4.1 se realizó un cuadro para definir los sitios potenciales del cultivo de *S. rebaudiana* según las variables biológicas y bio-físicas. En la Figura 16 se muestra el mapa de sitios óptimos. La humedad relativa no muestra ser un valor limitante para el desarrollo del cultivo según lo reportado por Jarma y colaboradores (2012), siempre y cuando no tenga limitaciones hídricas, razón por la cual se considera regiones con humedades relativas superiores a 75% como óptimas, más no limitantes por debajo del mismo.



**Figura 16.** Sitios potenciales para el cultivo de *Stevia rebaudiana* según las características biológicas y bio-físicas.

### 5.3.2 Variables Económicas

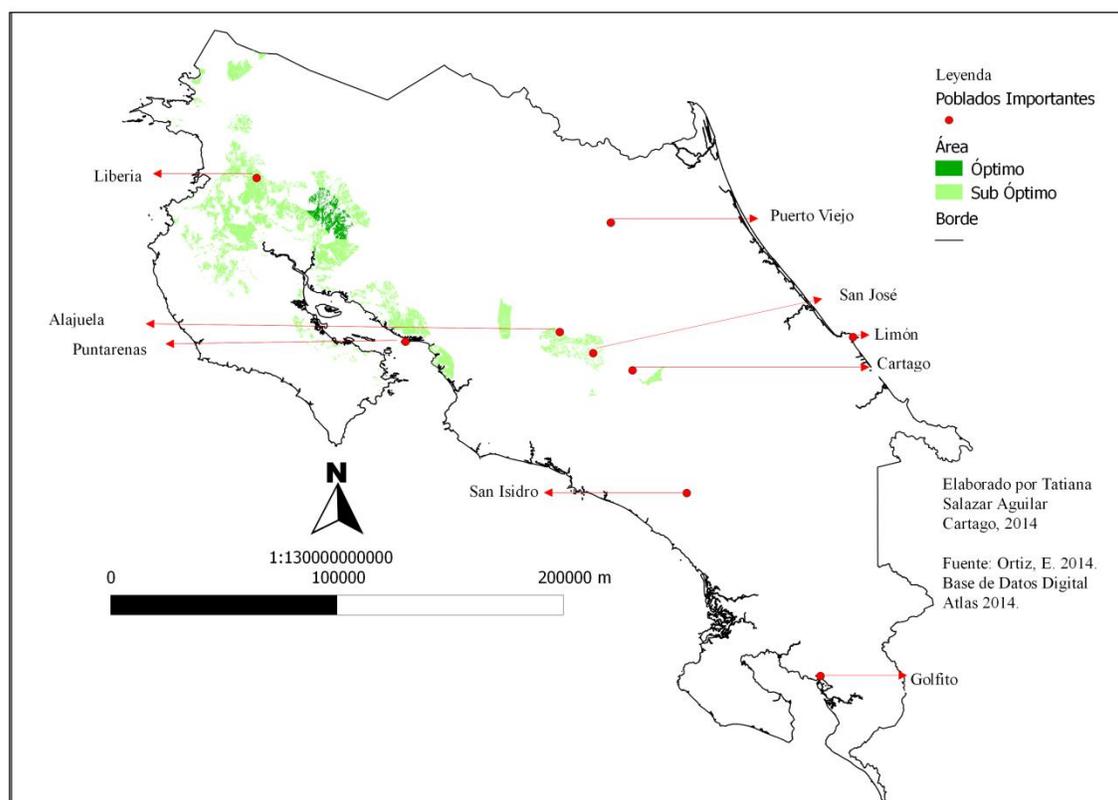
Con base en la información combinada de variables de cobertura y capacidad de uso de la tierra (Figura 17) se obtuvo un mapa de tierra disponible. La misma contempla la oportunidad de utilizar sitios con buenas condiciones de disponibilidad agronómica para su cultivo, sin considerar otras variables. En la misma no se incluyeron las distancias de finca y planta procesadora, debido a que con excepción de las zonas de manglar y boscosas del Caribe, los caminos pueden conectar ambos, que serviría para bajar los costos de transporte.



**Figura 17.** Sitios potenciales para el cultivo de *Stevia rebaudiana* según distancia a caminos, cobertura y capacidad de uso de Tierra.

### 5.3.3 Zonas potenciales de cultivo de *S. rebaudiana* en Costa Rica.

Con la información de los diferentes mapas, se realizó la combinación de capas que muestran los sitios potenciales considerados como Óptimos, Sub óptimos y No Aptos (Figura 18) para el cultivo de *S. rebaudiana* según las variables de biológicas y físicas de temperatura, altitud, precipitación y tipos de suelo. Además este mapa incorpora las características de uso actual y la capacidad de uso de tierra.



**Figura 18.** Sitios potenciales para el cultivo de *Stevia rebaudiana* según variables biológicas, bio-físicas y económicas: cobertura y capacidad de uso de tierra.

**Cuadro 9.** Áreas óptimas y potenciales (Sub óptimas) para el cultivo de *Stevia rebaudiana* en Costa Rica.

Provincia	Cantón	Área óptima (ha)	Área potencial (ha)
Guanacaste	Abangares		4.846,42
	Bagaces	4.891,34	19.314,66
	Cañas	8.744,22	18.946,06
	Carrillo		16.333,47
	La Cruz		8.970,46
	Liberia		32.525,67
	Nandayure		1.925,95
	Nicoya		2.241,79
	Santa Cruz		10.733,89
	Tilarán		2.771,43
			<b>13.635,56</b>
Puntarenas	Esparza		3.062,80
	Garabito		1.627,09
	Montes de Oro		1.634,91
	Puntarenas		15.814,14
		-	<b>22.138,94</b>
Alajuela	Alajuela		4.505,31
	Atenas		1.112,49
	Naranjo		1.382,02
	Orotina		1.733,63
	Palmares		3.099,16
	Poás		13,57
	San Mateo		304,46
	San Ramón		1.968,36
		-	<b>14.119,00</b>
Heredia	Belén		554,63
	Heredia		1.040,88
	Flores		6,74
	San Isidro		63,05
	San Pablo		562,96
	San Rafael		113,47
	Santo Domingo		1.275,58
		-	<b>3.617,31</b>
Catago	Alvarado		104,28
	Cartago		416,98
	La Unión		21,58
	Paraíso		2.391,43
		-	<b>2.934,27</b>

Provincia	Cantón	Área óptima (ha)	Área potencial (ha)
	Alajuelita		272,32
	Aserrí		8,70
	Curridabat		89,00
	Desamparados		780,29
	Escazú		536,60
	Goicochea		119,24
	Montes de Oca		142,40
	Mora		120,94
	Moravia		1.116,97
	San José		772,31
	Santa Ana		204,01
	Tibás		210,88
	<b>San José</b>		-
<b>Total</b>		<b>13.635,56</b>	<b>165.792,98</b>

En el cuadro 9 se muestra el área por provincia y cantones del país que son Óptimos y potenciales (Sub óptimos) para el cultivo de *Stevia rebaudiana* en Costa Rica. La provincia de Guanacaste es la única que presenta zonas óptimas en el cantón de Bagaces (4 891,34 ha) y Cañas (8 744,22 ha) para un total de 13 635,56 ha. Además tiene la mayor área potencial 118 609,8 ha en los cantones de Abangares, Bagaces, Cañas, Carrillo, La Cruz, Liberia, Nandayure, Nicoya, Santa Cruz y Tilarán. La provincia de Puntarenas tiene 22 138,94 ha potenciales para el cultivo en los cantones de Esparza, Garabito, Montes de Oro y Puntarenas cerca de la costa pacífica. Alajuela presenta 14 119,00 ha ubicadas en los cantones de Alajuela, Atenas, Naranjo, Orotina, Palmares, Poás, San Mateo y San Ramón. Heredia, Cartago y San José tienen 3 617,31; 2 934,27 y 4 373,66 ha respectivamente. Estas áreas están en el GAM, por lo que están cerca de centros de procesamiento e importantes sitios de comercialización.

De acuerdo con la información obtenida, dentro de las variables que podrían influir mayormente en la respuesta agroproductiva del cultivo de *Stevia*, se destacan la temperatura y precipitación (Jarma *et al.*, 2012). La temperatura en los sitios seleccionados como óptimos poseen rangos entre los 18-34°C, por lo cual el desarrollo y producción de la planta no se espera que pueda verse afectado por bajas temperaturas en sitios de mayor altitud a las encontradas en el presente estudio.

*S. rebaudiana* crece de manera silvestre en la región subtropical del hemisferio Sur, y según el diagrama de Holdridge (1978) de las fajas altitudinales en el trópico, las mismas condiciones se encontrarían en altitudes entre los 2000 a 3000 msnm. Por lo que podría considerarse también estas alturas para su cultivo.

Por otra parte, la precipitación óptima de 1000 a 1400 mm es de las principales limitaciones que se consideró en el estudio, ya que el rango es bajo para nuestro país, influyendo esta restricción en los cantones de Liberia, Santa Cruz, Cañas, Barranca y Caldera. Sin embargo se debe aclarar que el país cambia mucho las condiciones de precipitación debido a los fenómenos del ENOS y los periodos secos, por lo que sistemas de riego serían recomendados dentro del manejo del cultivo (IMN, 2014). Según Ramírez y colaboradores (2011) el riego podría duplicar el rendimiento de *Stevia* y solo aumentaría el 0,08% de los costos.

Es posible inferir que la variable del tipo de suelo no es limitante, y podrían elegirse sitios categorizados como No Aptos ya que pueden mejorarse con enmiendas calcáreas para el caso de corrección de acidez, volteo con maquinaria de las capas superficiales de suelo para rescate de porosidad y limpieza, o sistemas de drenaje para suelos muy arcillosos, además del uso de sistemas de lomillado que permitan una buena aireación y permeabilidad, sin embargo se conoce que estas prácticas agrícolas incrementarían los costos de producción, por lo que debe clasificarse como Sub-óptimas.

Por otra parte, estudios económicos realizados por Milán y colaboradores (2012) en Colombia, señalan que con un paquete tecnológico que involucra la mecanización del cultivo, el rendimiento de producción puede aumentar de 1500 Kg/ha, a más de 2000 Kg/Ha, lo cual genera una relación de costo/beneficio de 1.57, una rentabilidad del 31% y un periodo de recuperación de inversión del 1,76, variables sumamente favorables. A pesar que dicho estudio utilizaba las hojas deshidratadas para consumo bovino y la densidad de plantas por hectárea era de 100 mil, la actividad mostró ser rentable en el tiempo, y una inversión en maquinaria, equipos y herramientas del 22% de todos los costos de producción.

INIFAP (2012) por su parte en México, sembrando una hectárea con una densidad de 55 mil plantas/Ha, señalan que los ingresos, superan desde el primer año la inversión en un 1%, al segundo año en un 63%, y el tercero en 43%, lo que indica un retorno del 24% en promedio. Según dicho estudio, los costos de cultivo representan un 62%, mientras el de secado y empacado un 38%.

## 6. Conclusiones

- Se definieron las variables biológicas y físicas Óptimas, Sub-óptimas y No Aptas para el cultivo de *S. rebaudiana* en Costa Rica, siendo óptima la temperatura entre 15-43°C; precipitación de 1000-1400 mm, altitud entre 0 y 500msnm y tipos de suelo con buen drenaje.
- Se determinaron las condiciones agro-económicas idóneas para el cultivo y procesamiento de la *Stevia* para todo el territorio nacional, los sitios óptimos fueron en los cantones de Bagaces, Cañas, La Cruz y el distrito Central Cartago.
- Se generó un mapa combinado con la información biológica, física y económica para la selección de una zona óptima en el cantón de Bagaces (4 891,34 ha) y Cañas (8 744,22 ha) para un total de 13 635,56 ha.
- La mayor área potencial 118 609,8 ha en los cantones de Abangares, Bagaces, Cañas, Carrillo, La Cruz, Liberia, Nandayure, Nicoya, Santa Cruz y Tilarán. La provincia de Puntarenas tiene 22 138,94 ha potenciales para el cultivo en los cantones de Esparza, Garabito, Montes de Oro y Puntarenas cerca de la costa pacífica.

## **7. Recomendaciones**

- Validar mediante ensayos agroproductivos la adaptabilidad de variedades de *Stevia* en los sitios Óptimos y Subóptimos determinados en el presente estudio. Debido a que los rangos utilizados son teóricos y las condiciones en el país pueden variar,
- Considerar perspectivas futuras del cambio climático en el país para estimar a corto y mediano plazo, las condiciones de desarrollo del cultivo, en miras de establecer posibilidades de emplear dichos sitios como alternativas de cultivo.

## 8. Bibliografía

- ALVARENGA, S. 2005. Optimización del cultivo y procesamiento de *Stevia rebaudiana* para la obtención de un edulcorante natural. CONICIT. San José, Costa Rica. Consultado el 10 de setiembre. Disponible en: [www.conicit.go.cr/boletin/boletin67/cultivo\\_salvarenga.html](http://www.conicit.go.cr/boletin/boletin67/cultivo_salvarenga.html)
- ALVARENGA, S.; ARNÁEZ, E.; MOREIRA, I.; ALAN, E.; ROMERO, E.; VARGAS, W. 2008. Cultivo de *Stevia rebaudiana* (hierba dulce) en Costa Rica. EN: Manejo integrado de Recursos Bióticos. Rogelio Oliver, Marisela Tabeada y Andrea Gran México Compiladores). AGT Editor, S.A. México, DF., México. pp 73-83.
- ALVARENGA VENUTOLO, S Y SALAZAR AGUILAR, T. 2014. Mass Micropropagation of *Stevia rebaudiana* Bertoni in temporary immersion system. Accepted in Cultivos Tropicales. Disponible en : [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_issues&pid=0258-5936&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_issues&pid=0258-5936&lng=es&nrm=iso).
- BRANDLE, J. 2004. "FAQ - Stevia, Nature's Natural Low Calorie Sweetener". Agriculture and Agri-Food Canada. Consulta el 8 de noviembre del 2014. Disponible en: [http://res2.agr.ca/London/faq/stevia\\_e.htm](http://res2.agr.ca/London/faq/stevia_e.htm).
- BRENES, J. 2013. Cultivo de *Stevia rebaudiana* Bertoni en Costa Rica. Informe final de proyecto: Producción comercial de un edulcorante natural obtenido a partir de la *Stevia rebaudiana* Bertoni en Costa Rica. VIE. Cartago. Costa Rica.
- BRENES, J. 2014. Comunicación personal.
- CAMPOS, T. 2000. Utilización de un SIG en la caracterización de zonas óptimas para la reforestación de siete especies en Costa Rica. Informe de Práctica de Especialidad. Cartago, Costa Rica. Escuela de Ingeniería en Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 82 p.
- CARRASCAL, R. 2014. Manual de Cultivo de Stevia para Agricultores. Consultado el 12 de noviembre del 2014. Disponible en: [http://www.stevia-asociacion.com/stevia\\_cultivo\\_de\\_agricultores.pdf](http://www.stevia-asociacion.com/stevia_cultivo_de_agricultores.pdf).

- CEUNEN, S., GEUNS, J., 2013. Influence of photoperiodism on the spatio-temporal accumulation of steviol glycosides in *Stevia rebaudiana* (Bertoni). *Plant Sci.* 198: 72–82.
- CHAN, P., TOMLINSON, B., CHEN, Y., LIU, J., HSIEH, M., CHENG, J. 2000. A double-blind placebo-controlled study of the effectiveness and tolerability of oral stevioside in human hypertension. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 50 (4): 215–220.
- CORTÉS, J. 2012. Análisis de crecimiento del cultivo de *Stevia (Stevia rebaudiana)* con proyección agroindustrial en el Valle del Cauca. Tesis para optar por el grado de Ingeniero Agroindustrial. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Buenaventura Cali. Santiago de Cali. 84 p.
- CORTÉS, G. 1994. Atlas Agropecuario de Costa Rica. EUNED. San José, Costa Rica. 513 p.
- CUBERO, D. 2001. Clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras. ACCS/MAG/ Araucaria. San José, Costa Rica. 19 p.
- DELLAS, N.; THOMAS, S.; MANNING, G.; NOEL, J. 2013. Discovery of a metabolic alternative to the classical mevalonate pathway. *eLife*. DOI 00672.001.
- EPE (ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO). 2009. *Stevia rebaudiana* Bertoni, una planta medicinal. Departamento de Ciencias de la Vida. Boletín Técnico. 38 p.
- GALLEGO, J. 2011. *Estevia, Dulce Medicina*. Ed. INTEGRAL. 128 p. ISBN: 978-84-92981-84-7.
- GARDANA, C., SCAGLIANTI, M., SIMONETTI, P., 2010. Evaluation of steviol and its glycosides in *Stevia rebaudiana* leaves and commercial sweetener by ultra-high-performance liquid chromatography–mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* 1217: 1463–1470.

- GOETTEMÖLLER, J.; CHING, A. 1999. Seed germination in *Stevia rebaudiana*. EN: J. Janick (ed.), Perspectives on new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA. Consultado el 25 de febrero del 2014. Disponible en: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1999/v4-510.html>
- GONZÁLEZ, C.; SOLEDAD, M.; PÉREZ, E.; DORNIER, M.; MOREL, G. 2014. Caracterización de cultivares de *Stevia rebaudiana* Bertoni de diferentes procedencias. *Bioagro*. 26(2): 79-88.
- HOLDRIDGE, L. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Traducido por: Jiménez, H. IICA. San José, Costa Rica. 216 p.
- IMN (INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL). 2014. Clima de Costa Rica. Consultado: 01 de mayo, 2014. Disponible en: <http://www.imn.ac.cr/educacion/CLIMA%20DE%20COSTA%20RICA.html>.
- INIFAP (INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS). 2012. El cultivo de Stevia (*Stevia rebaudiana*) Bertoni en condiciones agroambientales de Nayarit, México, D.F. Folleto Técnico N° 19. Santiago Ixcuintla. 52 p.
- INIFAP (INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS). 2011. Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur-sureste de México: Trópico Húmedo 2011. Yucatán, México. 16 p.
- JARMA, A.; ARAMÉNDIZ, H.; CLEVES, A. 2011. Estabilidad fenotípica y densidades de planta de genotipos de estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) en la región Caribe de Colombia. *Acta Agronómica*. 60(2): 165-175.
- JARMA, A.; CARDONA, C.; FERNÁNDEZ, C. 2012. Efecto de la temperatura en la producción de glucósidos de esteviol en *Stevia rebaudiana* en el caribe húmedo colombiano. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 15(2): 339 – 347.

- JEPPESEN, P. B., GREGERSEN, S., ALSTRUPP, K. K., HERMANSENN, K. (2002). Stevioside induces antihyperglycaemic, insulinotropic and glucagonostatic effects in vivo: studies in the diabetic Goto-Kakizaki (GK) rats. *Phytomedicine*. 9(1): 9–14.
- JEPPESEN, P. B., GREGERSEN, S., ROLFSEN, S. E. D., JEPSEN, M., COLOMBO, M., AGGER, A., *et al.* (2003). Antihyperglycemic and blood pressure-reducing effects of stevioside in the diabetic Goto-Kakizaki rat. *Metabolism, Clinical and Experimental*. 52(3): 372–378.
- KINGHORN, A. 2002. *Stevia: The genus Stevia*. 1era Edición. Estados Unidos, Taylor and Fransis. pp. 1-17.
- LANDAZURI, P.; TIGRERO, J. 2009. *Stevia rebaudiana* Bertoni, una planta medicinal. Boletín técnico edición especial. Ecuador. Escuela Politécnica del Ejercito Departamento de Ciencias de la Vida carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias. 34 p.
- LOBELL, D.; GOURDJI, M. 2012. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiology*. 16: 1686-1697.
- MAG (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA) y SEPSA (SECRETARÍA EJECUTIVA DE PLANIFICACIÓN SECTORIAL AGROPECUARIA). 2014. Manual Descriptivo de la leyenda del Mapa de Capacidad de Uso de la Tierra de Costa Rica. Consultado el 20 de setiembre de 2014. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/manual-descriptivo-uso-tierra.pdf>
- MNCR (Museo Nacional de Costa Rica)-Herbario Nacional (CR). 2014. Consultado el 10 de noviembre del 2014. Disponible en: <http://ecobiosis.museocostarica.go.cr/>.
- MONTORO, P.; MONFETA, I.; MALDINI, M.; CECCARINI, L.; PIACENTE, S.; PIZZA, C.; MACCHIA, M. 2013. Determination of six steviol glycosides of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) from different geographical origin by LC-ESI-MS/MS. *Food Chemistry*. 141: 745-753.
- NÚÑEZ, J. 2001. Manejo y conservación de suelo. EUNED. San José, Costa Rica. 264 p.

- ORTIZ, E. 2008. Atlas de Costa Rica 2008. Cartago, Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. Disco Compacto.
- ORTIZ, E. 2014. Atlas de Costa Rica 2014. Cartago, Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. Disco Compacto.
- PAL, P., PRASAD, R., PATHANIA, V. 2013. Effect of decapitation and nutrient applications on shoot branching, yield, and accumulation of secondary metabolites in leaves of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *J. Plant Physiol.* 170: 1526–1535.
- PANDE, S.; PRIYANKA, G. 2013. Plant tissue culture of *Stevia rebaudiana* (Bertoni): A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy.* 5(1):26-33.
- PONTORIERO, G. 2005. *Stevia*. *Stevia rebaudiana* o yerba dulce un edulcorante vegetal y natural. Consultado el 25 de febrero del 2014. Disponible en: <http://www.uva.org.ar/stevia.html>.
- QUESADA, R. 2007. Los bosques de Costa Rica. EN: Memoria 9º Congreso Nacional de Ciencias y estudios sociales. CIENTEC. ITCR, Cartago. Costa Rica. 16 p.
- RAMIA A.; N. C. 2002. Estudio económico para la producción y comercialización de *Stevia rebaudiana*. Proyecto de titulación de nivel Profesional. Carrera de Gestión de Agronegocios. Universidad El Zamorano. Zamorano, Honduras. pp 24-31.
- RAMÍREZ, G.; AVILÉS, W.; MOGUEL, Y.; GÓNGORA, S.; MAY, C. 2011. Estevia (*Stevia rebaudiana*, Bertoni), un cultivo con potencial productivo en México. Gobierno Federal. Centro de Investigación Regional Sureste. Yucatán. México. 88 p.
- RODRÍGUEZ, A. 2014. Asteraceae. EN: HAMMELI, B. E.; GRAYUM, M. H.; HERRERA, C. Zamora, N. Manual de Plantas de Costa Rica. Tomo IV. (En edición). Missouri Botanical Garden. INBIO.
- RODRÍGUEZ, H.; ACOSTA DE LA LUZ, L.; HECHEVARRÍA, I; RIVERA, M.; RODRÍGUEZ, C.; SÁNCHEZ, E.; MILANÉS, M. 2007. Comportamiento del

- cultivo de *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni en Cuba. REV CUBANA PLANT MED.; 12 (4): 1-2.
- SALVO, M.; BEGALLI, D.; SIGNORELLO, G. 2013. Measuring the effect of climate change on agriculture: A literature review of analytical models. Academic Journals. Journal of Fvelopment and Agricultural Economics. 5(12): 499-509.
- SEPSA (SECRETARÍA EJECUTIVA DE PLANIFICACIÓN SECTORIAL AGROPECUARIA). 2014. Boletín Estadístico Agropecuario N°24. San José. Costa Rica. 210 p.
- SHOCK, C. 1982. Experimental Cultivation of *Stevia rebaudiana* in California. Agronomy Prog No. 122. Univ., of California, Davis. Consultado el 27 de octubre, 2014. Disponible en: <https://ucanr.edu/repositoryfiles/ca3609p4-61878.pdf>.
- TAKAHASHI, K., MATSUDA, M., OHASHI, K., TANIGUCHI, K., NAKAGOMI, O., ABE, Y., et al. 2001. Analysis of anti-rotavirus activity of extract from *Stevia rebaudiana*. Antiviral Research 49(1): 15–24.
- THORNTON, P.; ERICKSEN, P.; HERRERO, M.; CHALLINOR, A. 2014. Climate change and vulnerability to climate change: a review. Global Change Biology. 20: 3313-3328.
- TOSI, J. 1995. Manual para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. Centro Científico Tropical. Consultado en 02 de noviembre del 2014. Disponible en: [http://www.cct.or.cr/documentos/publicaciones/informes/manual\\_para\\_la\\_determinacion\\_de\\_la\\_capa\\_de\\_uso\\_cct\\_cr.pdf](http://www.cct.or.cr/documentos/publicaciones/informes/manual_para_la_determinacion_de_la_capa_de_uso_cct_cr.pdf);jsessionid=0CA7ED098BEB4DEFFC677B8303A601F5
- U.V.A (UNIÓN VEGETARIANA ARGENTINA). 2003. *Stevia* o yerba dulce. Consultado el 15 de octubre de 2014. Disponible en: <http://www.uva.org.ar/stevia.html>
- VALKONEN, J. 2012. Plant Physiology and environment: An introduction. Physiology and Maintenance. 5. 6 p.

XI, Y.; YAMAGUCHI, T.; SATO, M.; TAKEUCHI, M. 1998. Study on *Stevia rebaudiana* for antioxidant activity. II. Antioxidant mechanism of *Stevia rebaudiana* extract and antioxidant activity of inorganic salts. *Nippon Shokuhin Kagaku Kaishi*. 45(5): 317–322.

## 9. ANEXOS



**Anexo 1.** Mapa Físico-Político de Costa Rica. Tomado de: <http://www.guiageo-americas.com/mapas/costarica.htm>