



Government
of Canada

Gouvernement
du Canada



CRIA Norte

Cadena de cardamomo

MODELIZACION DE LAS ZONAS AGROCLIMATICAS MÁS ADECUADAS PARA EL CULTIVO
DEL CARDAMOMO.

François Landry

Claudio Nunes

Juan Manuel Girón Durini

Cobán, Julio de 2018

Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). El contenido de ésta publicación es responsabilidad de su(s) autor(es) y de la institución(es) a las que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Contenido	Pag.
Resumen.....	6
Abstract	7
1. INTRODUCCION.....	8
2. MARCO TEORICO	8
3. OBJETIVOS	8
3.1 Objetivos específicos	8
4. HIPOTESIS	9
5. METHODOGIA	9
5.1 Localidad y época	9
5.2 Diseño experimental	9
5.3 Tratamientos de datos	10
5.4 Tamaño de la unidad experimental	10
5.5. Variables de respuestas	10
5.6. Análisis de la información	11
6. RESULTADOS Y DISCUSION	11
6.1 Concordancia entre el modelo y la validación	11
6.2 Tipo de plaga encontrada en las muestras recogidas	13
6.3 Altitud de los puntos de validación	16
6.4 Tipo de suelo	17
6.5 Los niveles de pH	18
6.6 Humedad del Suelo	19

6.7	Espesor de la materia orgánica	21
6.8	Temperatura del suelo	22
6.9	Estado de las parcelas	24
6.10	Número de cuerdas	26
6.11	Producción	27
6.12	Apoyo de organización	28
7	CAMBIO CLIMATICO	30
7.1	Modelo realizado con datos de 2010	30
7.2	Modelo de previsión 2030	31
7.3	Modelo de previsión 2060	33
7.4	Modelo de previsión 2090	34
7.5	Análisis de modelización de los cambios climáticos	35
8	CONCLUSIONES	35
9	RECOMENDACIONES	36
10	BIBLIOGRAFIA	36
11	AGRADECIMIENTOS.....	37
12	ANEXOS	38
13	GLOSARIO	45

Resumen

Guatemala, carecía con un modelo cartográfico del potencial agro-climático del cultivo de cardamomo, así como la geolocalización de los actores de la cadena, y una modelización de las condiciones futuras bajo los indicadores del cambio climático.

El estudio presenta un mapa del potencial agroclimático y del efecto del cambio climático sobre el cultivo de cardamomo para los años 2030, 2060 y 2090.

Las variables utilizadas para la elaboración del modelo son: precipitación, temperatura, déficit hídrico, altitud y pH del suelo. Para la validación del modelo, las variables utilizadas fueron: calidad fisicoquímica del suelo, número de inflorescencias por planta y plagas y enfermedades.

El 78 % de los 41 sitios presentaban las características previstas en el modelo. El 7.3 % de los sitios tenían condiciones superiores a las previstas, mientras que el 14.6 % de los sitios no reflejo la previsión esperada por el modelo.

La modelización realizada sobre el cambio climático para los años 2030, 2060 y 2090 fue producida basándose en las previsiones más conservadoras para América Central. A partir del 2030, las regiones con potencial de cultivo se verán disminuidas. Entre 2030 y 2060, las tierras favorables continuarán a la baja. Ciertas zonas productoras desaparecerán, mientras que nuevas áreas al este del departamento de Alta Verapaz y de Izabal encontrarán condiciones favorables.

Entre 2017 y 2090, habrá una fragmentación de las zonas con excelente potencial y un desplazamiento hacia el este del departamento de Alta Verapaz. Podemos estimar la pérdida de tierras propicias al cultivo del cardamomo en 2090 en un 22 %. Productores de la municipalidad de Ixcán, Quiché, abandonarían este cultivo, debido a las sequías prolongadas.

Es evidente que el cambio climático afectará las condiciones de vida de los productores de cardamomo. Es necesario encontrar alternativas al cardamomo, en las áreas donde este cultivo se verá afectado.

Palabras clave: *Cambio climático, modelización, cardamomo*

Abstract

Guatemala lacked a cartographic model of the agro-climatic potential of cardamom cultivation, the geolocation of the chain's actors and a modeling of future conditions under climate change indicators.

The study presents a maps of the agroclimatic potential and the effect of climate change on the cardamom for the years 2030, 2060 and 2090.

The variables used to prepare the model are: precipitation, temperature, water deficit, altitude and soil pH. For the validation of the model, the variables used were: physical-chemical quality of the soil, number of inflorescences by plant and pests and diseases.

Forty one sites were visited to validate the model. The 78% of the sites presented the characteristics foreseen in the model. The 7.3% of the sites had higher than expected conditions, while 14.6% of the sites did not reflect the forecast expected by the model.

The modeling done on climate change for the years 2030, 2060 and 2090 was produced based on the most conservative forecasts for Central America. As of 2030, regions with crop potential will be diminished. Between 2030 and 2060, favorable lands will continue to reduce. Certain cardamom producing areas will disappear, while new areas east of the departments of Alta Verapaz and Izabal will find favorable conditions. Between 2017 and 2090, there will be a fragmentation of the areas with excellent potential and a displacement towards the East of the department of Alta Verapaz. We can estimate the loss of land favorable to the cultivation of cardamom in 2090 by 22%.

Producers of the municipality of Ixcan, Quiche, would abandon this crop, due to prolonged droughts.

It is clear that climate change will affect the living conditions of cardamom producers. It is necessary to find alternatives to cardamom, in the areas where this crop will be affected.

Keywords: *Climate change, modeling, cardamom*

1. Introducción

Actualmente, hay una ausencia de información sobre el potencial agro-climático de las tierras agrícolas utilizadas o no, para el cultivo del cardamomo en Guatemala. Contar con información es esencial para planificar una estrategia de intervención con los agricultores, en busca de mejorar su rentabilidad y en consecuencia su calidad de vida. Amarnath *et al.* (2008) menciona que el desconocimiento de la localización de los actores en la cadena de producción del cardamomo impide tener una cartografía global y sus relaciones entre estos. La Modelización o Modelado Cartográfico (ver glosario), de las zonas agroclimáticas y de la geolocalización de los actores, permitirán identificar de manera precisa, los lugares de intervención y las acciones en busca de mejorar las condiciones de vida de los productores de Cardamomo. (USDA2014).

2. Marco teórico

La literatura actualmente disponible, presenta la distribución actual de la producción del cardamomo, su impacto económico y el perfil socioeconómico de los productores. La FAO, USAID y otras instituciones del gobierno nacional, levantaron el perfil de la producción del cardamomo en Guatemala (Melgar *et al.* 2003). Los riesgos en la agricultura del país, asociados con las condiciones climática, son modelizados y actualizados regularmente. No obstante, el potencial agro-climático del cardamomo del país jamás ha sido evaluado. Las herramientas desarrolladas con la geomática (ver glosario), permite hoy, ilustrar y analizar varios componentes del cultivo del cardamomo. K.P. Prabhakaran Nair (2011) menciona que los cambios climáticos que vienen, imponen contar con una visión global de la situación. La modelización de las condiciones agro-climáticas actuales permitirá planificar y asegurar un mejor manejo de la finca (Anandarai *et al.* 2011).

3. Objetivos del estudio.

Modelizar en cuatro clases el potencial agroclimático del cultivo del cardamomo. Compuesto por un mapa sobre el potencial actual, y un mapa de la evolución de este potencial bajo los indicadores del cambio climático.

3.1 Objetivos específicos

3.1.1 Producir un mapa de potencial agroclimático.

La utilización de las herramientas de análisis espacial permite sobreponer varias capas de información con el fin de contar con un modelo que integra las variables investigadas, que más influyen el desarrollo del cardamomo, como: la precipitación, la altitud, la temperatura y otras. Primera etapa, fue revisar la literatura existente con el fin de identificar los valores de cada

variable necesaria para el cultivo del cardamomo. La segunda etapa fue recopilar las capas de información que serán utilizadas. Una vez estas etapas realizadas fue producir el modelo.

3.1.2 Validar el modelo en campo.

Una vez el modelo producido, se validó en el terreno cada clase, midiendo según criterios biológicos y fisicoquímicos, la calidad de las zonas para el cultivo del cardamomo. Diez puntos de control por clase, escogido de manera aleatoria, sirvieron para la validación del modelo.

3.1.3 Prever en el tiempo el impacto de los cambios climáticos sobre el cultivo de cardamomo.

Con el fin de conocer la evolución de la distribución espacial de las zonas más adecuadas para el cultivo del cardamomo, una serie de mapas fueron creados con los datos disponibles de cambio climático.

4. Hipótesis

El modelo producido debería cubrir las zonas de producción ya conocidas, permitiendo una distinción entre las zonas que presentan gran potencial y de las que tienen bajo potencial de producción.

La validación en campo demostrara la validez del modelo por medio de indicadores de calidad biológica y fisicoquímica. Una variación debería ser observada entre las zonas o clase producidas por el modelo.

Los mapas modelizados con los datos de cambios climáticos demostrarían que la situación en el cultivo del cardamomo cambiara de manera significativa.

5. Metodología

5.1 Localidad y época.

Todos los trabajos basados en los sistemas de información geográfica fueron realizados en las oficinas del Centro de Estudio y de Cooperación Internacional, en Cobán, Alta Verapaz.

Los trabajos de campo se realizaron en los departamentos de Quiché y Alta Verapaz. La toma de datos se hizo entre marzo y abril del 2017. Este período del año, corresponde a la floración del cardamomo. De esta manera, se tomará en cuenta, variables en el desarrollo de la fructificación del cardamomo.

5.2 Diseño experimental.

Teniendo en cuenta, variables agro-climáticas que actúan en el cultivo del cardamomo, se definieron en cuatro clases el potencial de esta especie en los departamentos de Quiché y Alta

Verapaz. El modelo producido por el análisis espacial de los datos sirvió para identificar, medir, analizar las 4 clases y hacer la selección aleatoria de los puntos de control en el terreno. La toma de muestras al azar o aleatoria se seleccionó con el fin de validar el modelo realizado. Considerando, que, la zona de estudio es en general de difícil acceso, con tiempo, presupuesto y recursos humanos limitados, se tomaron, 10 sitios por clase de potencial. Un total de 40 sitios en los dos departamentos estudiados.

La talla del muestreo es suficiente y representativa para los análisis estadísticos.

5.3 Tratamientos de datos.

Modelización:

Estructurar los datos, realizar las diferentes etapas de análisis espaciales, producir una serie de modelos y compararlos. Posteriormente, identificar el modelo más representativo. Este modelo será la base del estudio (ver anexo I, la metodología específica a la creación del modelo).

Validación en campo:

Para cada punto de control, varios elementos fueron medidos. Calidad del suelo, producción, plagas y enfermedades, características de las plantas estudiadas y estudio socioeconómico de los productores encontrados. Los datos fueron analizados con el fin de medir la calidad de cada sitio y compararlos con el modelo cartográfico.

5.4 Tamaño de la unidad experimental.

Alta Verapaz cubre una superficie 10593 km², Quiché de 7277 km². Diecisiete municipalidades componen el departamento de Alta Verapaz. Quiché, cuenta con 21 municipalidades. Estos dos departamentos representan el 16.4 % del territorio guatemalteco, identificados como las dos regiones productoras de cardamomo.

5.5 Variables de respuesta.

Las Variables en la construcción del modelo son, el valor medio anual de las precipitaciones, la temperatura ambiente media anual, el período de sequedad o período de déficit de agua en el suelo, la altitud y el Ph del suelo normalizado para la zona de estudio. Todos estos datos provienen del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

En cuanto a la validación del modelo, las variables de respuesta fueron: la calidad fisicoquímica del suelo, salud y número de bandolas por planta. Nivel de infección por el thrips, picudo y enfermedad que afecte al cardamomo.

Otros datos fueron también tomados en el terreno: estado general y edad de la plantación, espacio entre plantas y porcentaje observado de sombra.

La metodología y el material se encuentran en anexo II.

5.6 Análisis de la información.

Midiendo otros datos que los utilizados para crear el modelo, se cruzaron para confirmar la categoría agroclimática del modelo.

El objetivo es medir localmente variables que no puedan ser determinadas por el análisis espacial de los datos utilizando la geomática. Así los resultados obtenidos en los 10 sitios de cada clase fueron comparados con el fin de determinar la variabilidad entre ellos. Esta variabilidad sirvió para validar el modelo.

5.7 Manejo del experimento.

El trabajo de modelización, base de datos y programación de la aplicación para recoger la información son previos a la toma de datos en campo. Así, todas las herramientas fueron probadas.

Para la toma de los cuarenta puntos, dos equipos fueron formados. El territorio fue dividido en dos, independientemente de las clases ya establecidas. Así, un equipo evaluó puntos en zonas con poco potencial y en zonas con excelente potencial. De esta manera, se podrán ver los cambios entre los tipos de zonas y aportar un apoyo importante en la redacción del trabajo final.

6. Resultado y discusión

La validación del modelo en el campo se realizó del 24 de mayo al 6 de junio de 2017. Cuarenta y uno fueron los puntos de validación visitados en los departamentos de Alta Verapaz y Quiché.

El resultado fue validar el modelo que pretende definir las zonas agroclimáticas más adecuadas al cultivo del cardamomo.

Los resultados obtenidos, permitieron definir que el modelo es fiable al 78 %.

6.1 Concordancia entre el modelo y los puntos de validación.

Sobre los 41 sitios visitados, el 78 % encontraban las características previstas por el modelo en las 4 clases definidas: Excelente, bueno, poco y ningún potencial. Esto significa que las condiciones encontradas en el campo reflejaban la predicción del modelo.

Allí dónde no debería haber cardamomo, no había debido a que las condiciones del cultivo no eran propicias. A la inversa, allí donde las condiciones eran propicias se encontraron cultivos de cardamomo.

El 7.3 % de los sitios visitados tenían condiciones superiores a lo que preveía el modelo. Esto significa que las condiciones de estos sectores eran mejores a lo que preveía el modelo y que el potencial de cultivo era real.

El 14.6 % de los sitios no reflejo la previsión del modelo. Las condiciones encontradas sobre estos sitios no permitían la cultura del cardamomo como previsto por el modelo, (ver cuadro 1 y figura 1).

Cuadro 1. Concordancia entre el modelo y los puntos de validación.

	Correlación con el modelo		
41 puntos de validación	Corresponde	Superior al modelo	No corresponde
No de puntos	32	3	6
%	78.05%	7.32%	14.63%

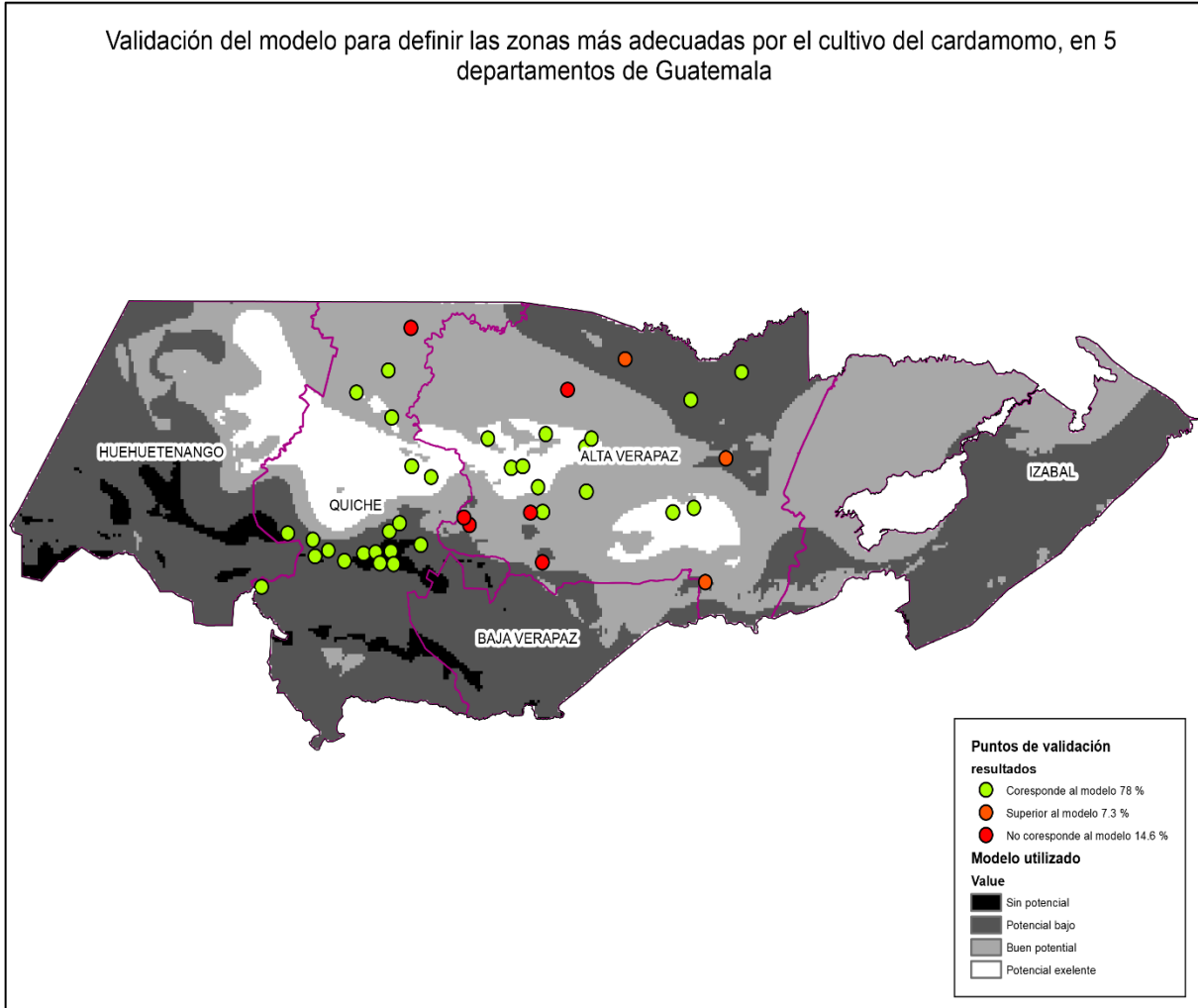


Fig. 1. Validación del modelo para definir las zonas más adecuadas en 5 departamentos de Guatemala.

6.2 Tipo de plaga encontrada en las muestras recogidas.

Trece muestras de cardamomo han sido recogidas durante las visitas de campo. De estas muestras, 12 tenían presencia de plagas a diferentes grados. Ver Cuadro 2, figura 2 y 3.

Cuadro 2. Plagas encontradas en las muestras recogidas

No de punto	Plagas	Intensidad %	Tipo de plaga	Departamento	Municipio	Comunidad
1	Si	23.3	Thrips	QUICHE	IXCAN	ASENCION COPON
3	Si	20.7	Thrips	QUICHE	USPANTAN	LA ESPERANZA O LOS CERRITOS
21	Si	76.2	Thrips	QUICHE	USPANTAN	EL CARRIZAL
28	Si	32.3	Thrips	ALTA VERAPAZ	SAN PEDRO CARCHA	SETAL
30	Si	47.3	Thrips/Picudo	ALTA VERAPAZ	SAN PEDRO CARCHA	CHITOC
33	Si	87.5	Thrips	ALTA VERAPAZ	SENAHU	EL VOLCAN
34	Si	29	Thrips	ALTA VERAPAZ	SENAHU	SEOCOB SANTA MONICA
37	Si	47.7	Thrips/Picudo	ALTA VERAPAZ	SANTA CATALINA LA TINTA	SAN ANTONIO II
39	Si	10.3.	Thrips/Picudo	ALTA VERAPAZ	SENAHU	TUHILA
49	Si	35	Thrips	ALTA VERAPAZ	CAHABON	SECHAL
51	No	0		QUICHE	IXCAN	MACHAQUILA II
55	Si	84.6	Thrips/Picudo	ALTA VERAPAZ	COBAN	COLONIA EL MAESTRO
59	Si	13.3	Thrips	ALTA VERAPAZ	COBAN	CHOBAL

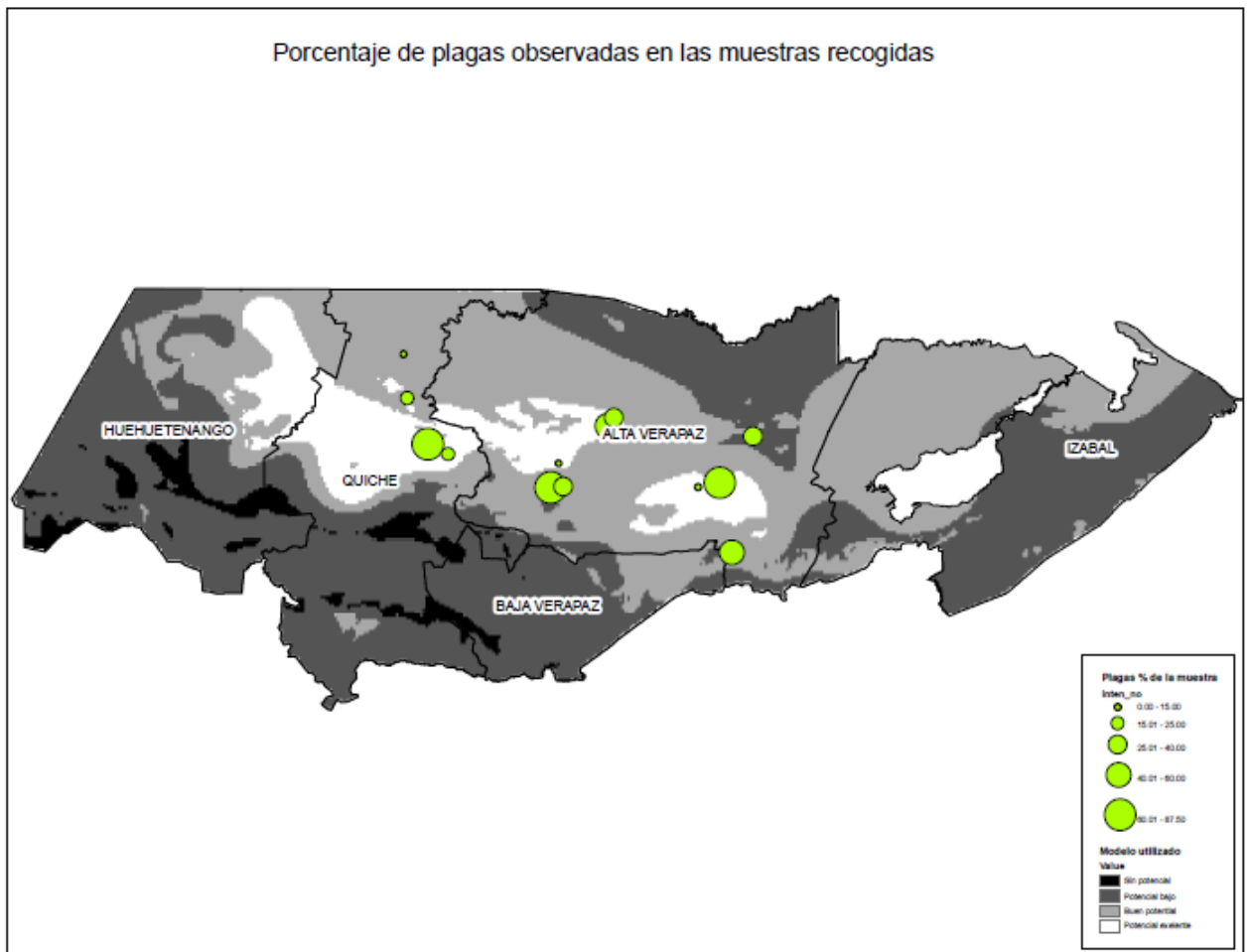


Fig. 2. Porcentaje de plagas observadas en las muestras

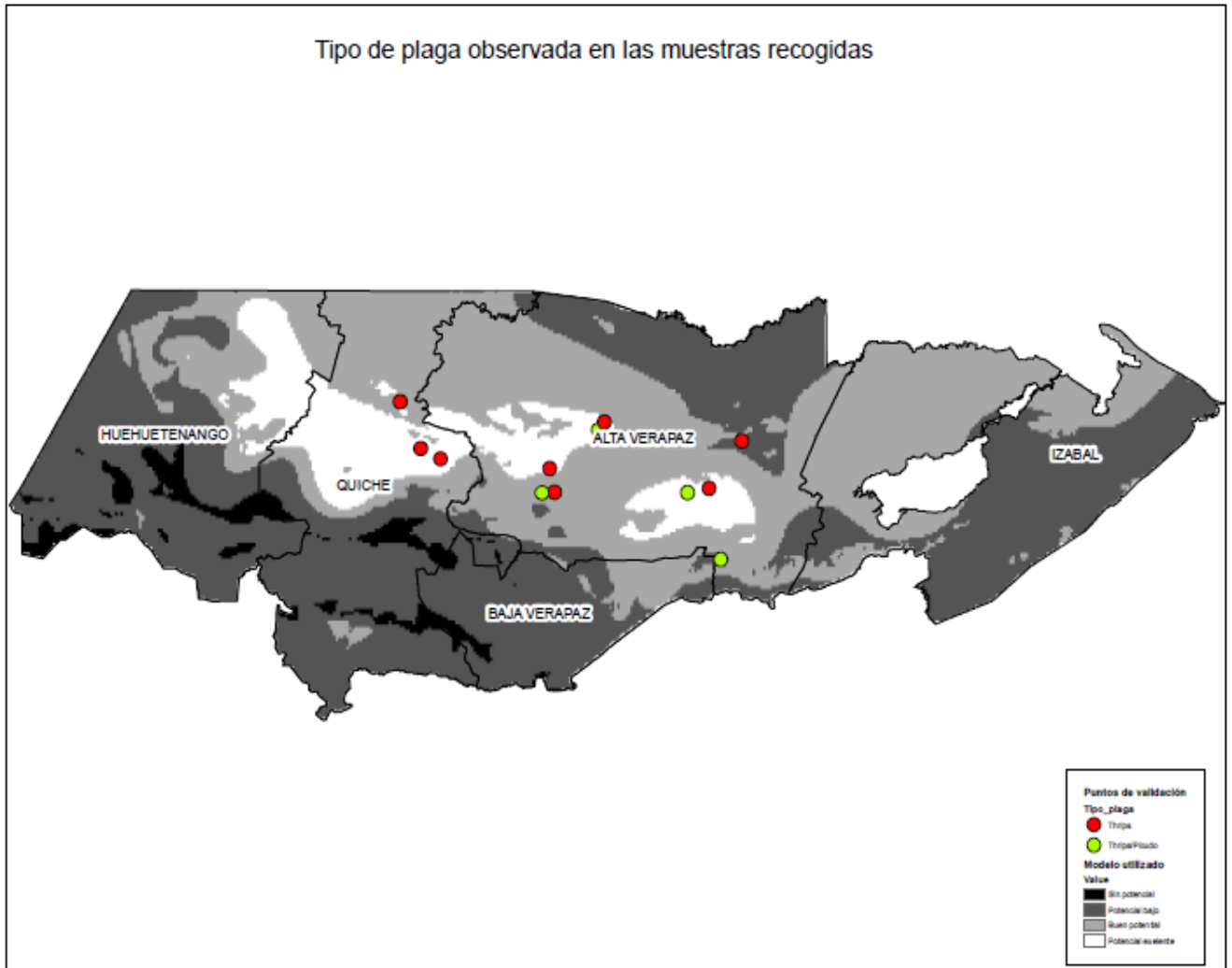


Fig.3. Tipo de plagas observadas en las muestras

6.3: Altitud de los puntos de validación.

Los puntos de validación se situaron entre 151 y 2398 metros de altitud. Las parcelas de cardamomo validadas, se encontraban entre 224 y 1505 metros, para una media de 703 metros. Esto corresponde a la literatura que menciona que la altitud más adecuada para el cultivo del cardamomo se sitúa entre 600 y 1200 metros. Ver figura 4.

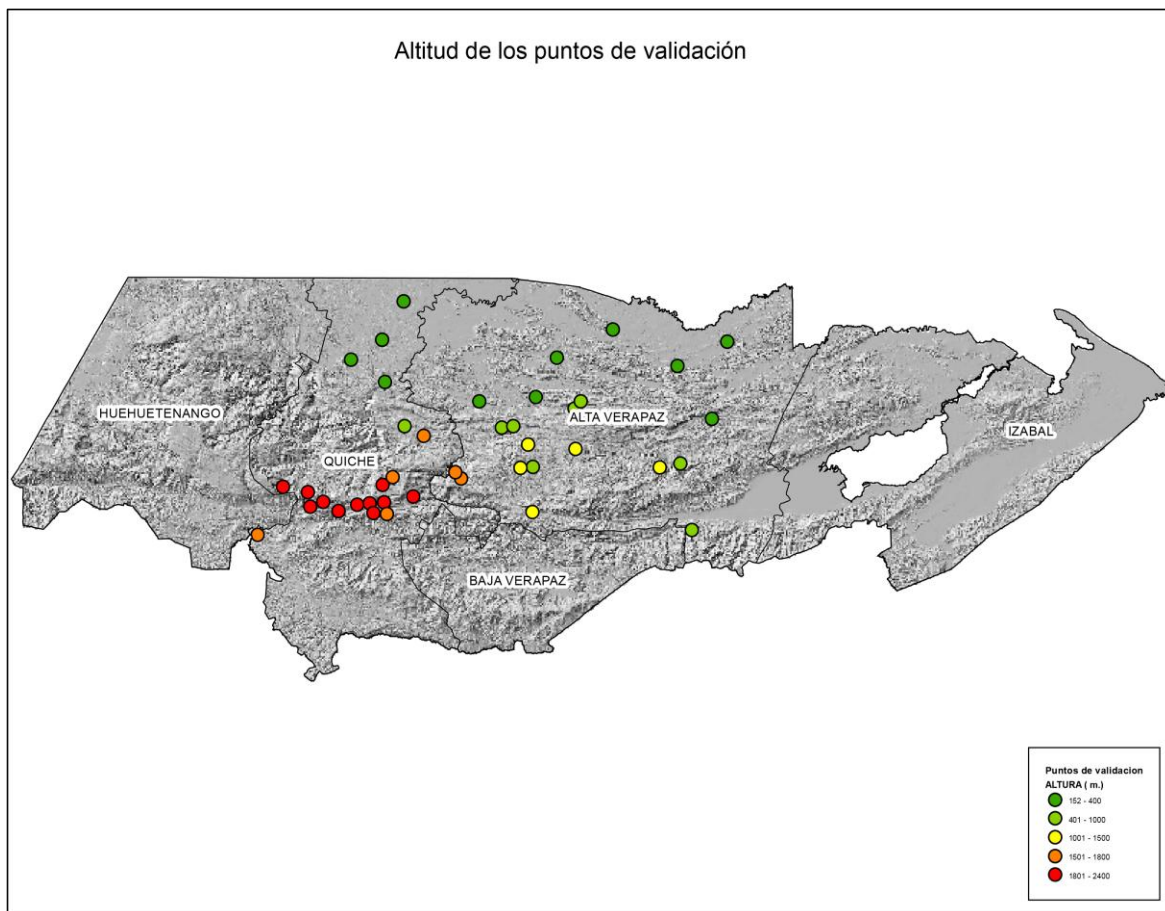


Fig. 4. Altitud de los puntos de validación.

6.4. Tipo de suelo.

Los puntos de validaciones con presencia de cardamomo presentaban en su mayoría el mismo tipo de suelo. El 53 % de las parcelas de cardamomo presentaron un suelo Franco-Arcilloso. Ver cuadro 3 y figura 5

Cuadro 3. Tipo de suelo en los puntos de validación

Tipo de suelo	Total	%
ARCILLO ARENOSO	2	10.53%
ARCILLO LIMOSO	1	5.26%
ARCILLOSO	3	15.79%
FRANCO	1	5.26%
FRANCO ARCILLO LIMOSO	2	10.53%
FRANCO ARCILLOSO	10	52.63%
Total	19	100.00%

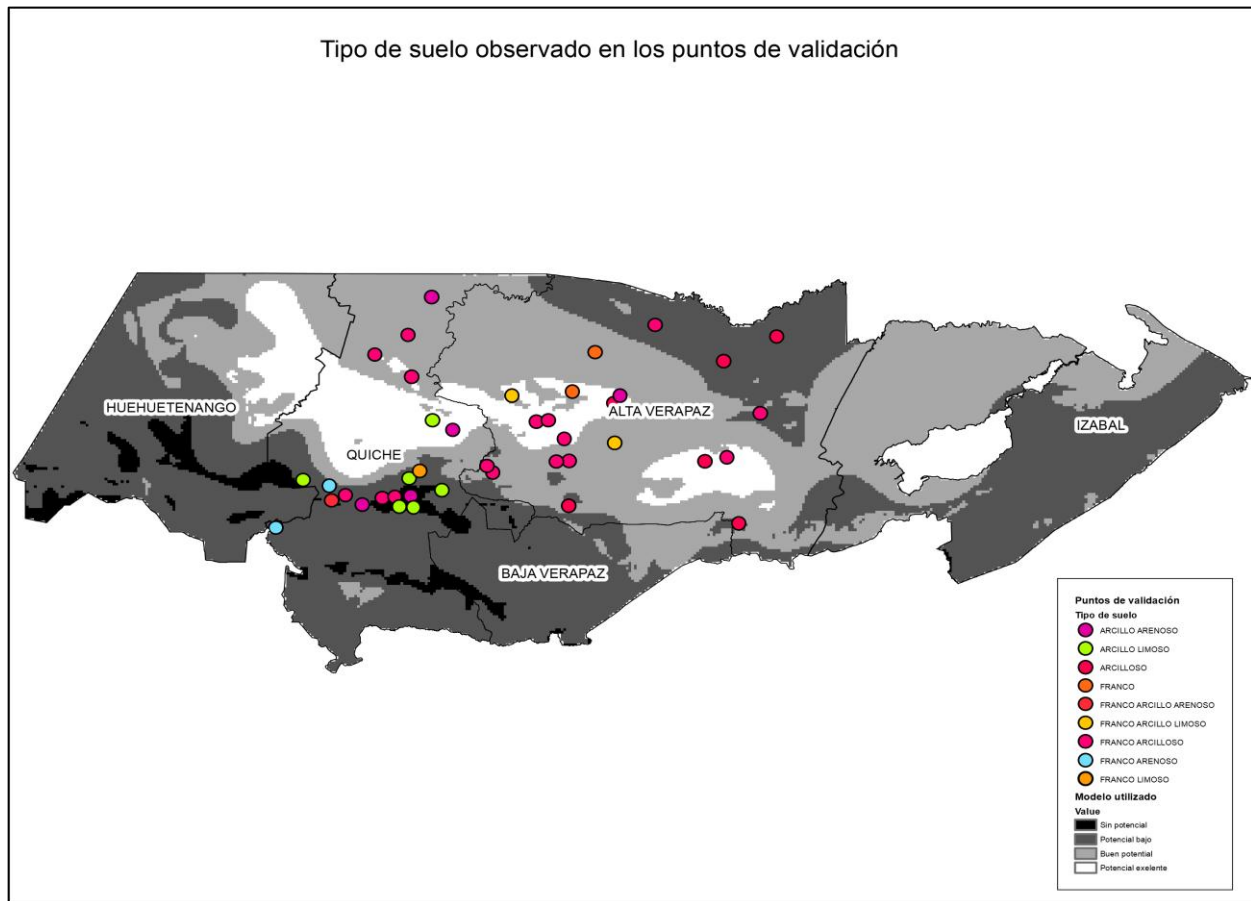


Fig. 5. Tipo se suelo en los puntos de validación.

6.5. Niveles de pH

Los niveles de PH en los puntos de validación oscilaron entre 5.5 a 8.5. Los puntos con presencia de cardamomo se situaron entre 6 y 8. La literatura indica que el pH ideal para el cardamomo se sitúa entre 5.5 y 6.2. A pesar de un pH elevado, observamos parcelas de cardamomo con un pH de 8 en la región del Volcán, municipio de Senahú. Ver figura 6.

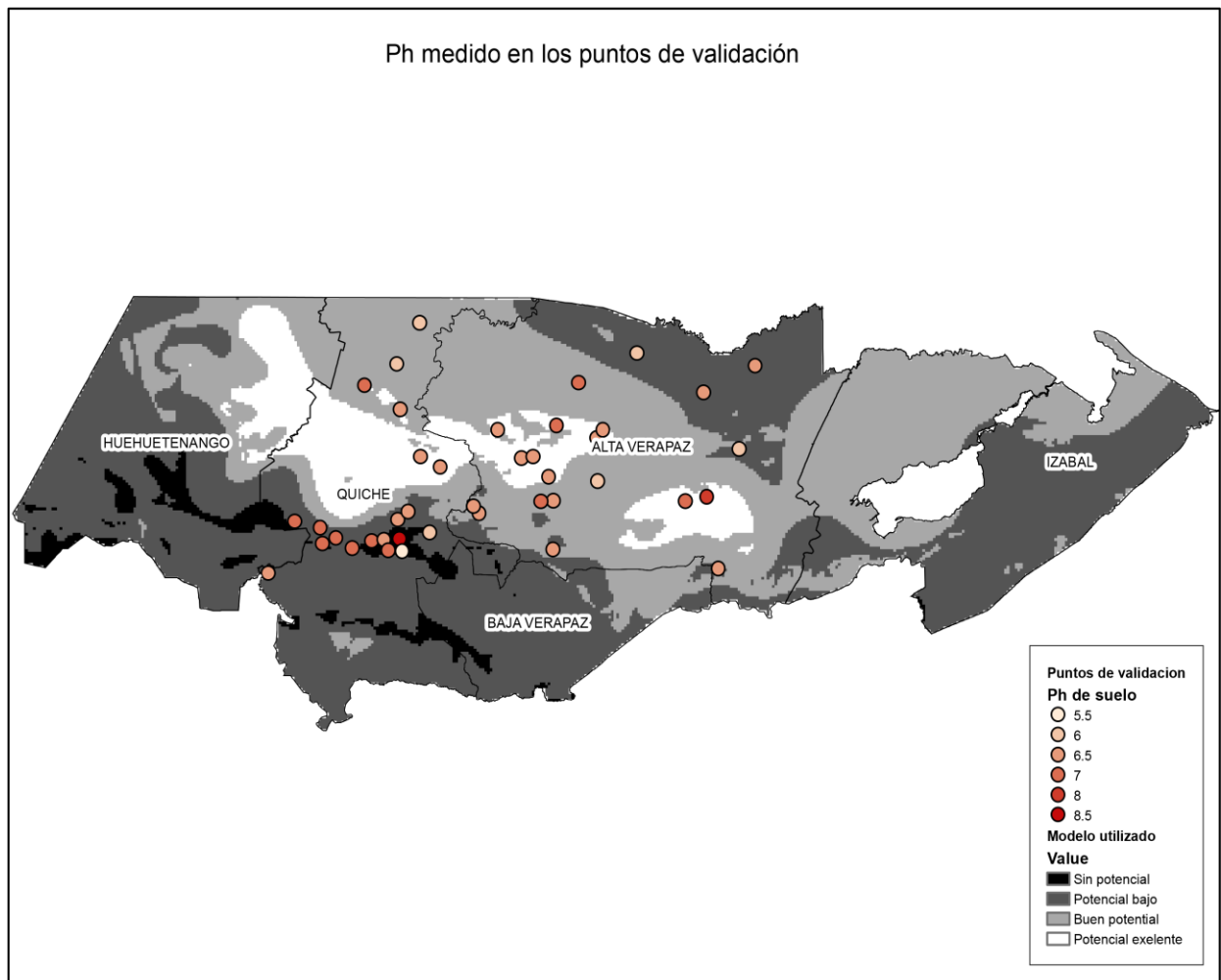


Fig. 6. pH obtenido en los puntos de validación.

6.6 Humedad del Suelo

La humedad del suelo obtenido varió entre 10 y más del 30 %. El instrumento utilizado no podía ser más preciso. A más de 30 % de humedad, la medida es una evaluación. No obstante, este indicador nos muestra que:

- La mayoría de las parcelas de cardamomo tenía un porcentaje de humedad del suelo que se situaba entre el 20 y 30 % (Ver cuadro 4).
- Las parcelas que tenían poca materia orgánica, tenía una tasa de humedad del 10 % o menos.

Cuadro 4. Porcentaje de la humedad del suelo en los puntos de validación

Humedad del suelo	
Humedad %	Total de puntos
10	12
20	10
22	1
30	14
> 30	4
Total general	41

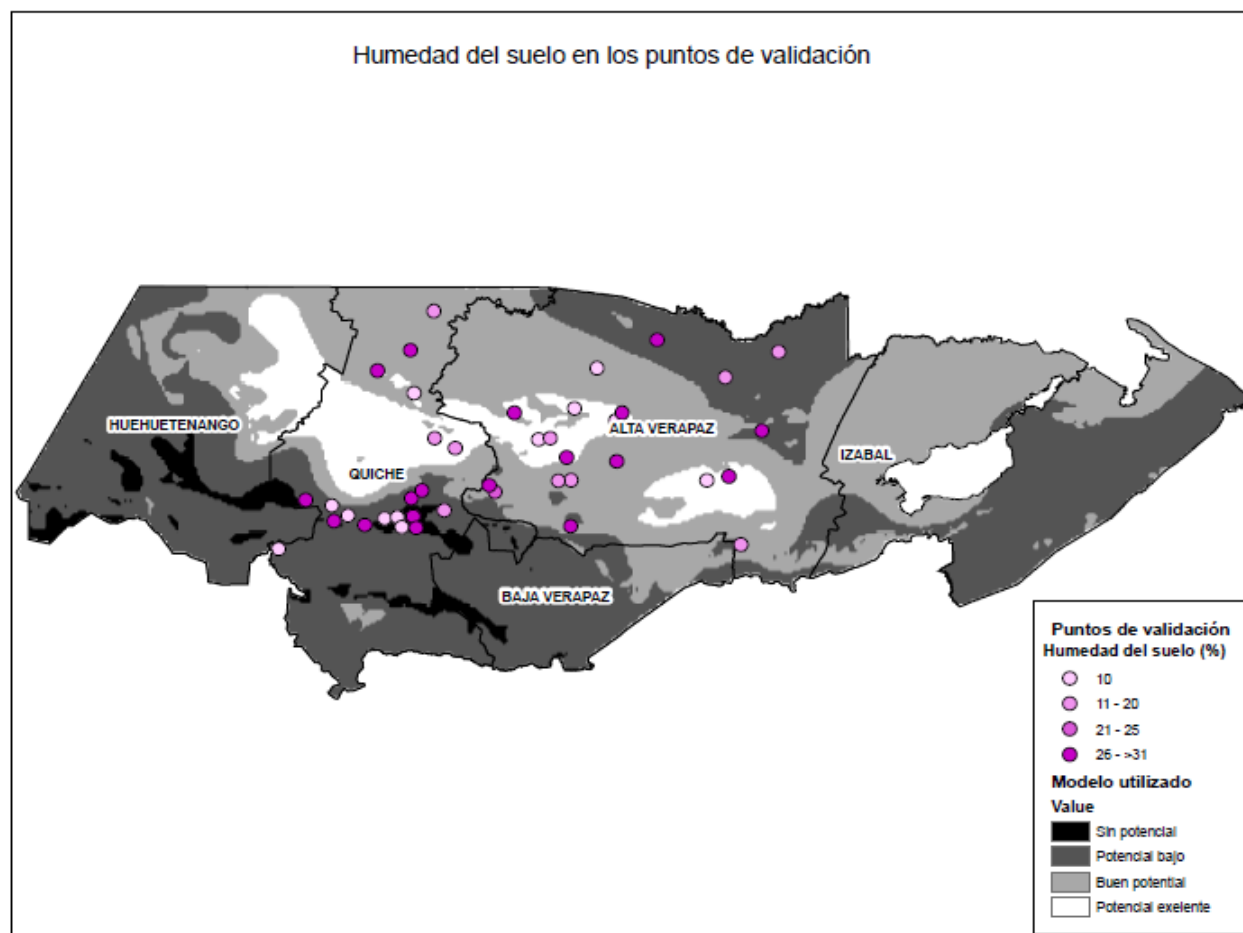


Figura 7. Humedad del suelo en los puntos de validación.

6.7 Espesor de la materia orgánica

Contrariamente a lo que podíamos prever, el espesor de la materia orgánica no es determinante sobre la presencia o ausencia de cultivos de cardamomo. Es probable que otros factores tales como el nivel de precipitación, la altitud y la temperatura tengan una influencia más marcada.

Cuadro 5. Espesor de la materia orgánica en los puntos de validación

Presencia de Cardamomo Vs Espesor de materia orgánica		
Cardamomo	Espesor de materia orgánica (cm)	Total
No presente	0.5	1
	1	3
	1.5	1
	10	1
	12	1
	14	1
	2	2
	3	1
	4	5
	5	2
	6	1
	7	2
Total No presente		21
Si presente	0	4
	1	2
	2	3
	3	4
	4	1
	5	4
	6	2
Total Si presente		20

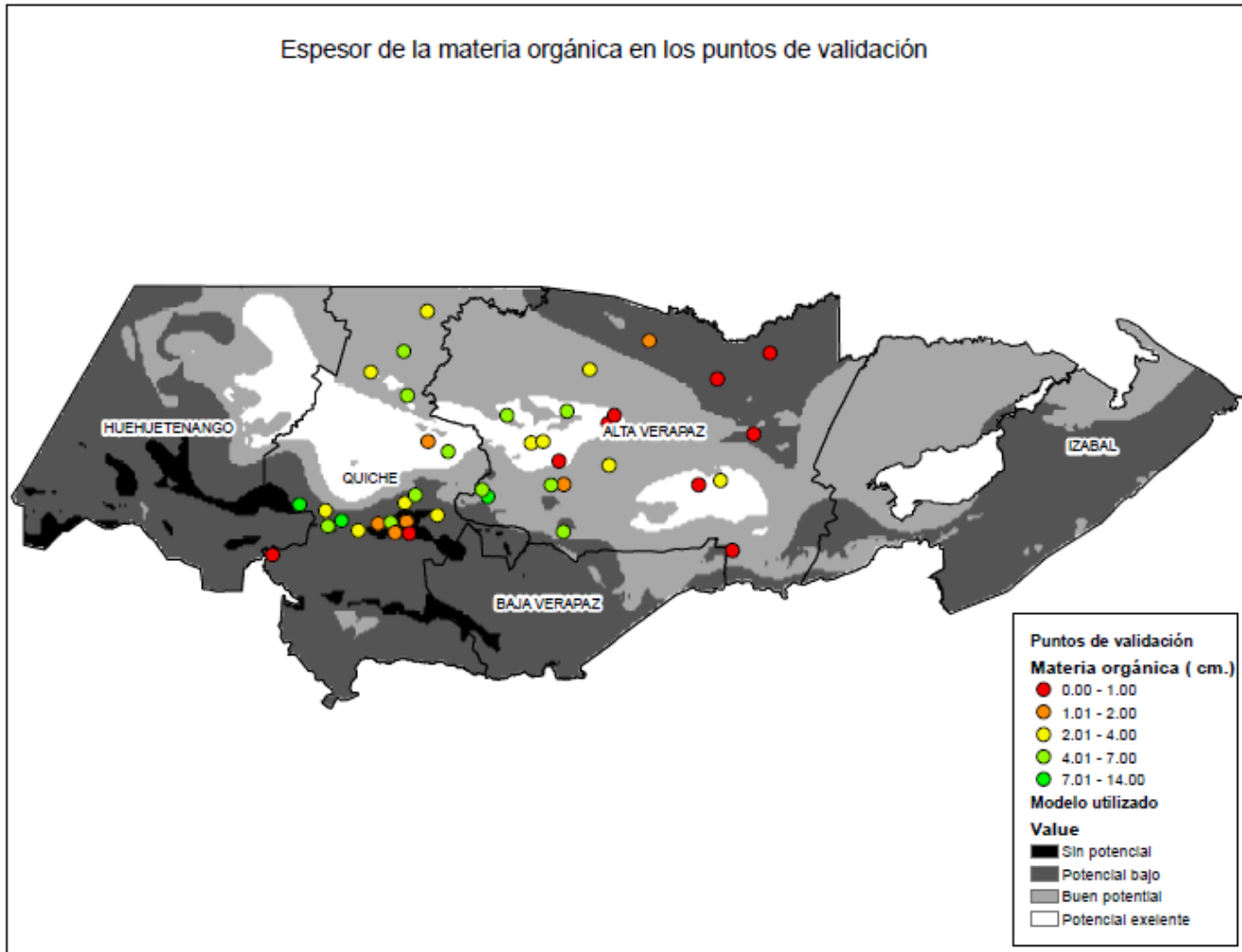


Figura 8. Espesor de la materia orgánica en los puntos de validación.

6.8 Temperatura del suelo

La temperatura del suelo fue medida con el fin de verificar en futuros estudios, si este dato podía influir sobre la presencia y la abundancia de plagas o enfermedades originarias en el suelo. Ver el cuadro 6 y mapa 9.

Cuadro 6. Temperatura del suelo en los puntos de validación

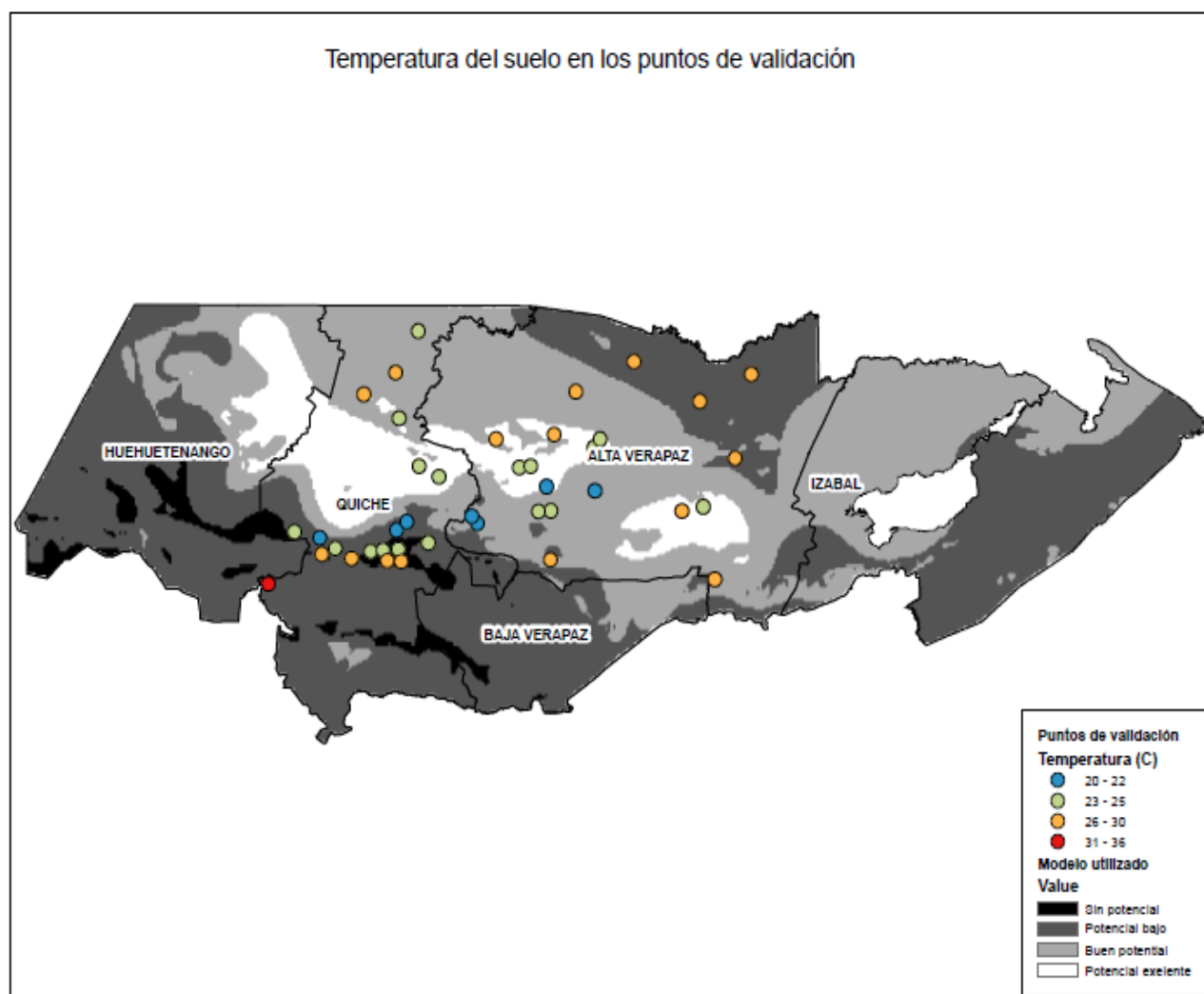
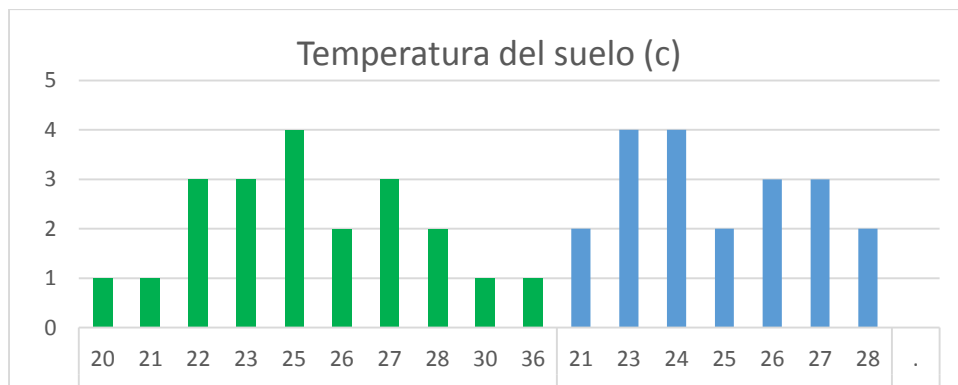


Figura 9. Temperatura del suelo en los puntos de validación

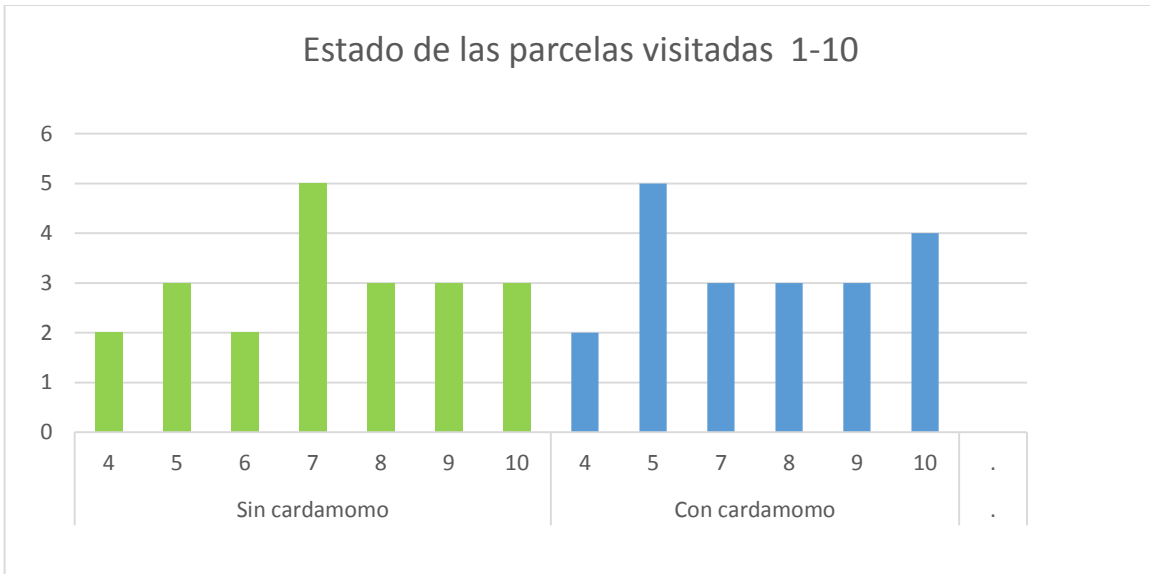
6.9 Estado de las parcelas

El estado de las parcelas fue evaluado sobre una escala de 1 a 10. Cada parcela recibió una clasificación en función de la limpieza, el manejo y la calidad de su producción. Una parcela que obtiene una clasificación inferior a 5 es considerada mal o no manejada. Una clasificación superior a 5 muestra que el agricultor efectúa algún tipo de manejo. La clasificación 10 es concedida cuando la parcela presenta todas las características de una buena práctica agrícola.

Según la evaluación cualitativa de las parcelas visitadas, el 90 % recibieron una nota superior a 5. El 20 % de las parcelas recibieron una nota de 10. Cuadro 7 y figura 10.

Cuadro 7. Estado de las parcelas visitadas

	Estado de la parcela 1-10	Total de parcelas	%
Sin cardamomo	4	2	9,52%
	5	3	14,29%
	6	2	9,52%
	7	5	23,81%
	8	3	14,29%
	9	3	14,29%
Total sin cardamomo		21	100,00%
Con cardamomo	4	2	10,00%
	5	5	25,00%
	7	3	15,00%
	8	3	15,00%
	9	3	15,00%
	10	4	20,00%
Total con cardamomo		20	100,00%



Cuadro 8. Estado de las parcelas visitadas

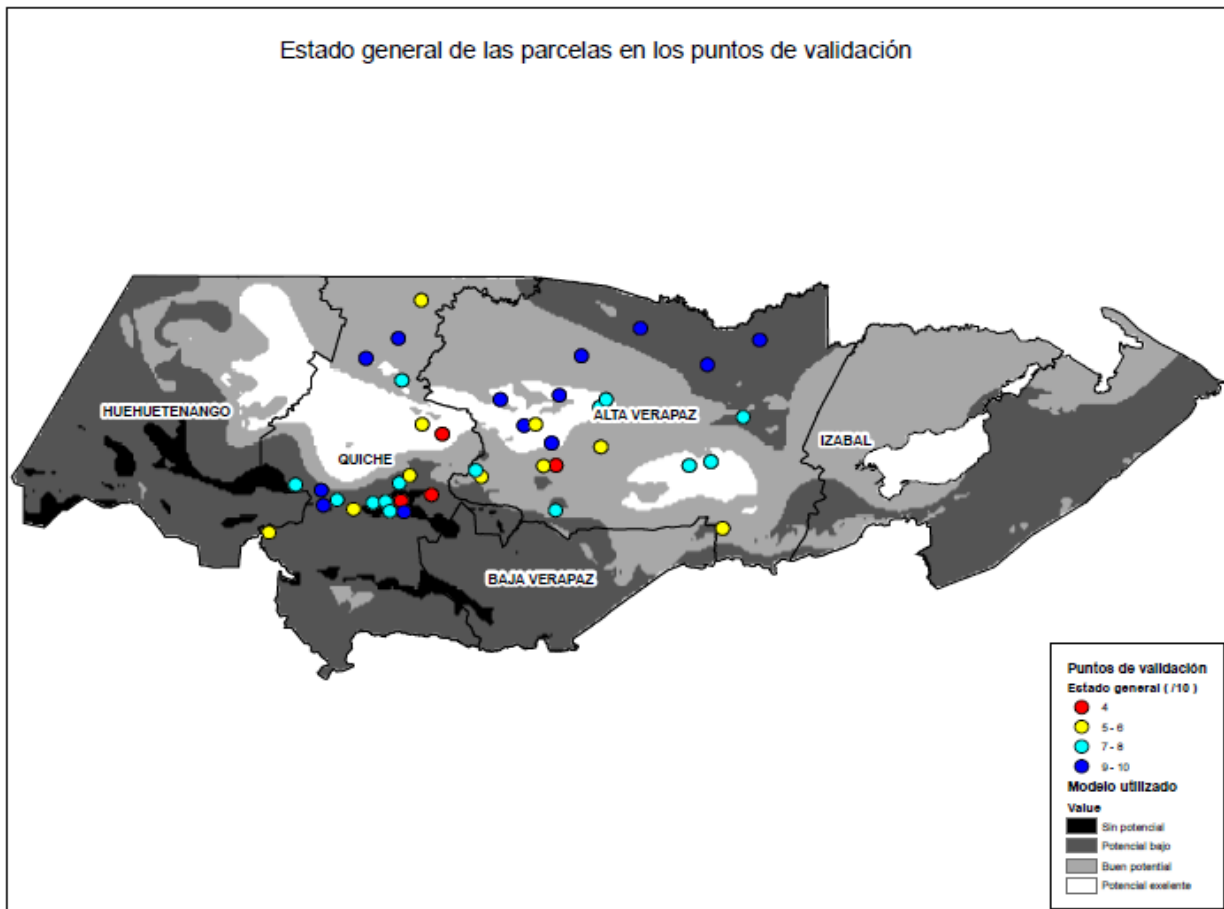


Figura 10. Estado de las parcelas visitadas

6. 10 Número de cuerdas

Con el fin de evaluar la importancia de cada empresa agrícola visitadas, su superficie fue determinada.

En el momento del análisis, comprobamos que el cardamomo fue el cultivo dominante. El café, es superior en superficie, pero fue observado sólo en tres granjas de Alta Verapaz.

La mayoría de las granjas visitadas tiene una producción más diversificada. Los porcentajes por tipo de producción se encuentran en el Cuadro 9, figura 11.

Cuadro 9. Superficie, en cuerdas, destinadas a cada cultivo.

Departamento	Cacao	Café	Cardamomo	otros	Pimienta	Total general
Alta Verapaz	32	1228	263	43	48	1614
Quiché			211	464		675
Total general	32	1228	474	507	48	2289

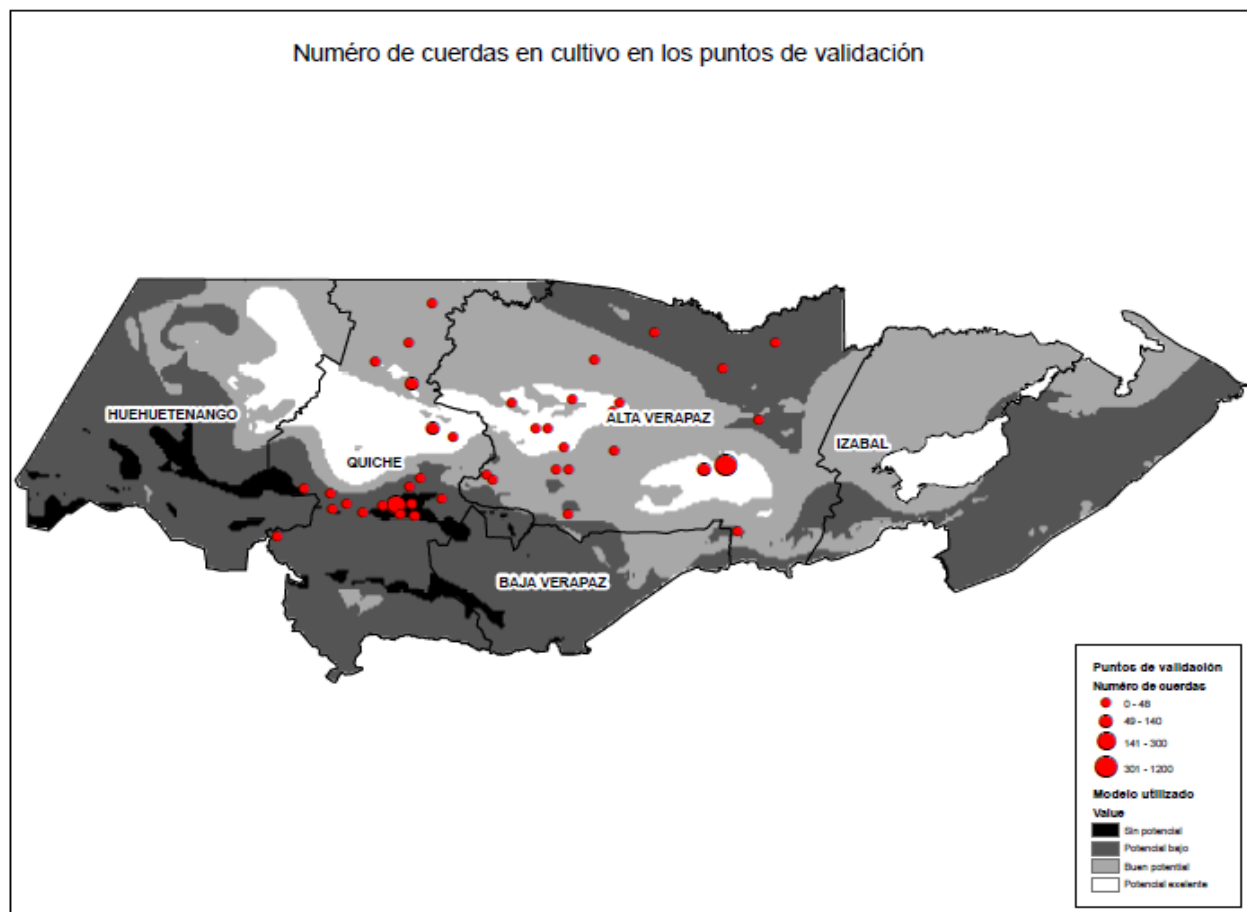


Figura 11. Superficie utilizada en cultivos de cardamomo.

6.11 Producción

Los 41 productores encontrados, 14 cultivan principalmente cardamomo. Tres café, uno cacao y uno pimienta. Los 21 productores restantes, sacan sus ingresos de otros sectores de actividades agrícolas.

Los resultados obtenidos permiten pensar que, desde los últimos años, la presencia de sequias obligó a los productores a cambiar sus cultivos, en detrimento del cardamomo. Cuadro 10, Figura 12.

Cuadro 10 Principal fuente de ingresos de los agricultores visitados.

Fuente de ingreso principal en 2016		%
Fuente	Total	
Cacao	1	2,44%
Café	3	7,32%
Cardamomo	14	34,15%
No conocida	1	2,44%
Otros	21	51,22%
Pimienta	1	2,44%
Total general	41	100,00%

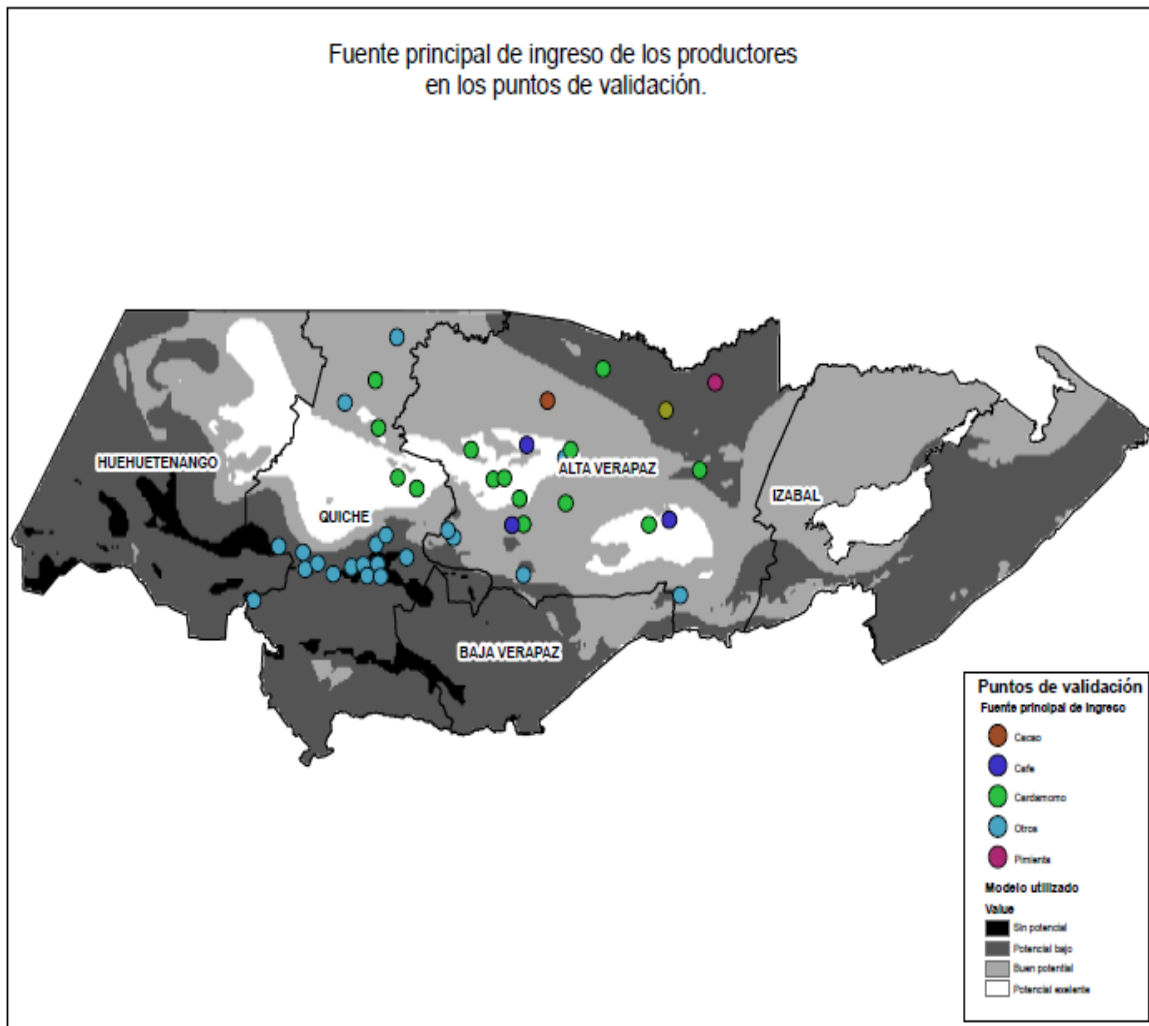


Figura 12. Principal fuente de ingresos de los agricultores visitados.

6.12. Apoyo de organización

Los Organismos no Gubernamental están presente sobre el territorio del estudio. Comprobamos que son concentrados en el centro del departamento de Alta Verapaz. Solamente 13 productores reciben apoyo de ONG. Cuadro 11.

Sus actividades principales en las comunidades, fueron formación y apoyo técnico.

Cuadro 11. Organismos presentes en las áreas visitadas.

Organización de apoyo			
Departamento	No	Si	Total general
Alta Verapaz	11	10	21
Quiché	17	3	20
Total general	28	13	41

Las instituciones presentes son:

Sanydel, Plan Internacional, CONRED, Ministerio de salud pública, Plan Internacional, ANACAFE, PRODENORTE Municipalidad, Heifer Internacional, MAGA, Génesis y PROCACHI.

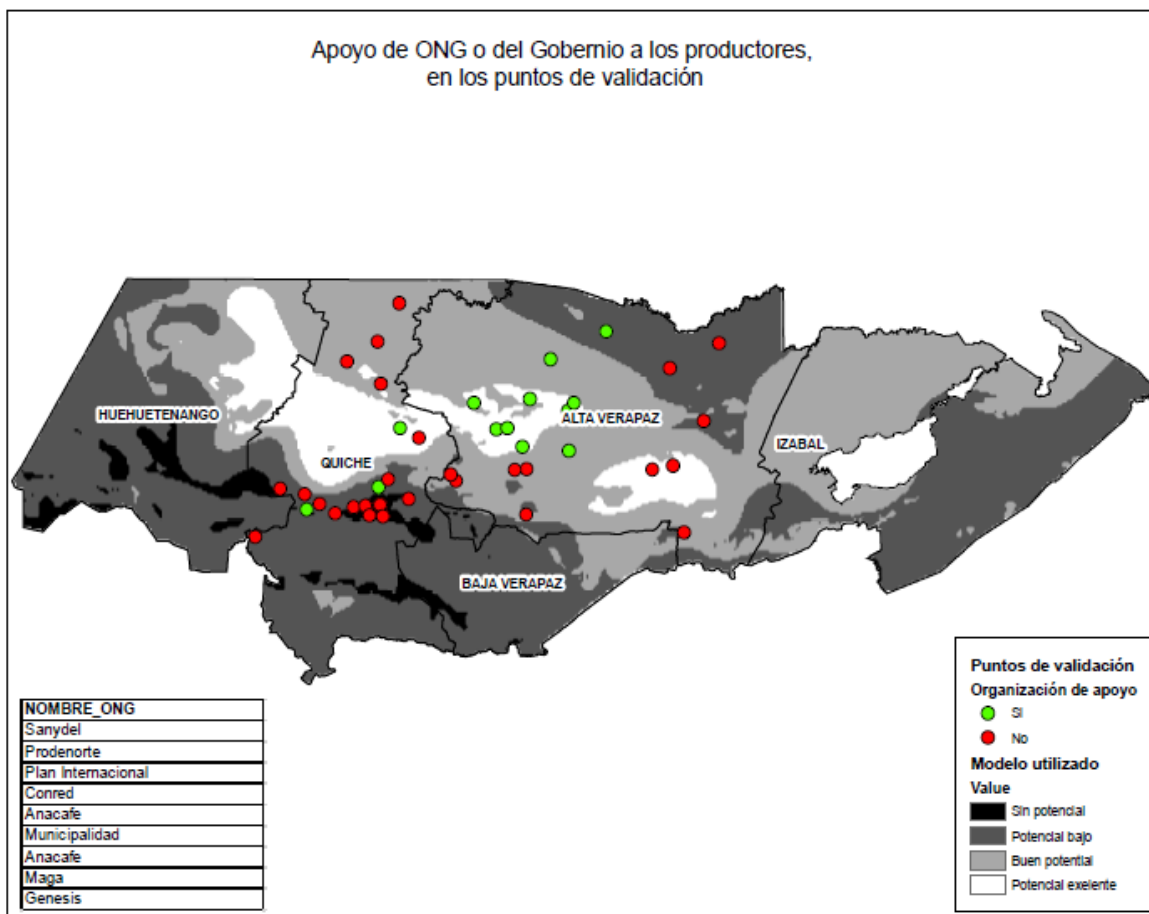


Figura 13. Organismos presentes en las áreas visitadas.

7 CAMBIO CLIMATICO.

Impacto sobre la producción del cardamomo en Guatemala

La modelización por los años 2030, 2060 y 2090 han sido producidas basándose en las previsiones más conservadoras disponibles del cambio climático para América Central. (Sáenz-Romero *et al.* 2010)

Los cambios climáticos que encontraremos durante los próximos años serán marcados por una baja de las precipitaciones y una subida de las temperaturas. Evidentemente, estos cambios tendrán un impacto importante en la producción del cardamomo. El cuadro 12, muestra la evolución de las precipitaciones y de la temperatura hasta 2090.

Cuadro 12. Evolución de las precipitaciones y de la temperatura hasta 2090.

Año	Precipitación %	Temperatura °C
2030	-5.6	+1.5
2060	-5.9	+2.2
2090	-7.8	+3.7

Con el fin de modelizar estos cambios, los datos de 2010 (punto 7.1) fueron recalculados con la baja de precipitación y subida de las temperaturas previstas. Los mapas y los cuadros siguientes muestran esta evolución.

7.1 Modelo realizado con datos de 2010

Cuadro 13. Datos utilizados para la redacción del informe y la validación en el campo en 2017. Superficie por clase de potencial en 2017.

Clase	Área km ²
Sin potencial	1144.97
Potencial bajo	16603.98
Buen potencial	14096.75
Potencial excelente	3675.18

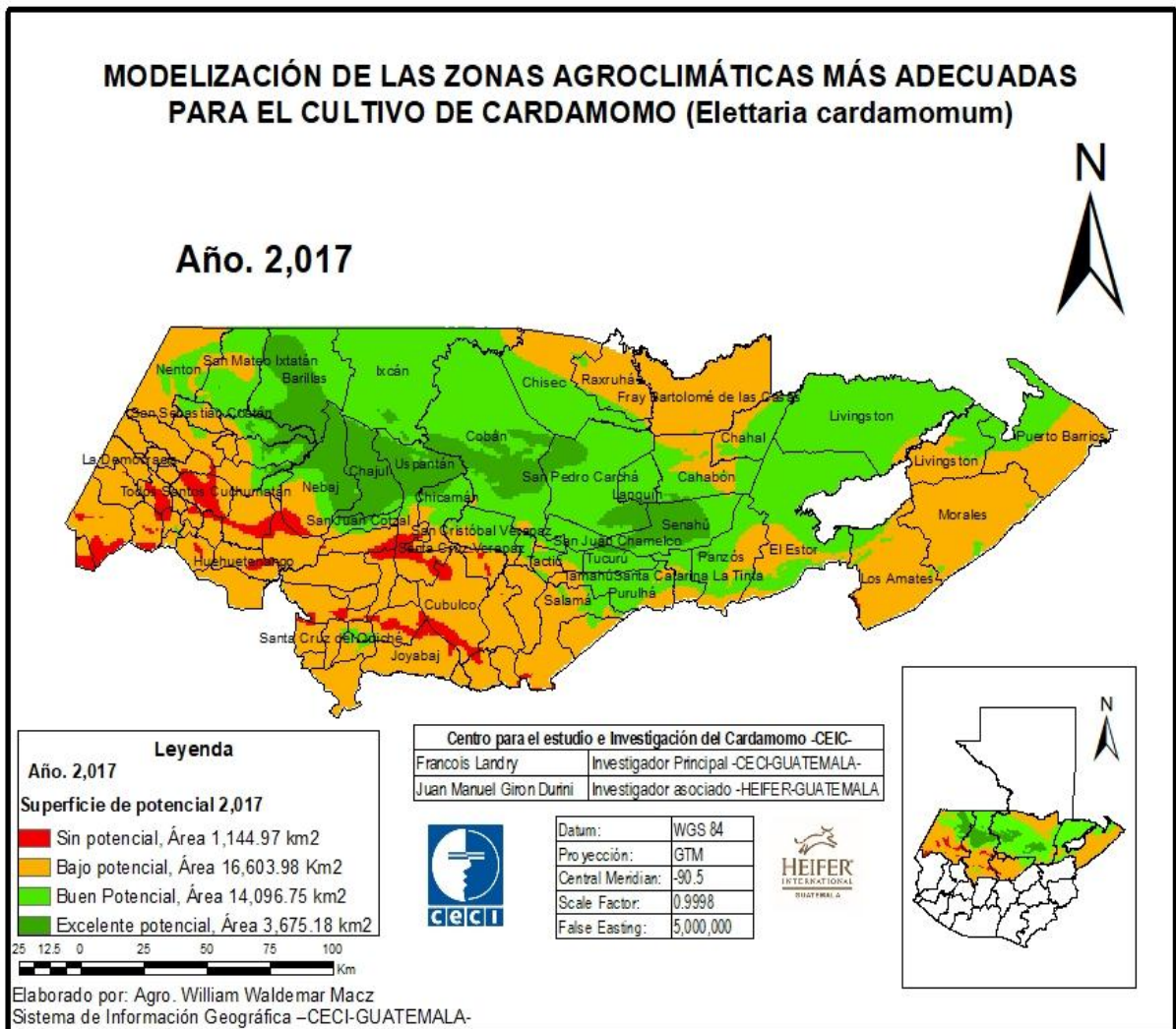


Figura 14. Modelización de las zonas agroclimáticas para el cultivo de cardamomo. Año 2017.

7.1 Modelo de previsión 2030

A partir del 2030, los cambios afectarán las zonas agro-climáticas favorables por el cultivo del cardamomo. Los sectores que tendrán un potencial de cultivo verán sus superficies disminuidas. También, las zonas sin potencial doblarán de superficie. Los quince años próximos serán cruciales para los productores de cardamomo. Alrededores de 15 % de las tierras productivas de cardamomo habrán desaparecido en 2030, según la modelización.

Cuadro 14. Superficie por clase de potencial en 2030

Clase	Área km ²	Área km ² 2017	Variación
Sin potencial	2153.60	1144.97	+88.09 %
Potencial bajo	17279.44	16603.98	+4.06 %
Buen potencial	12755.88	14096.75	-9.51 %
Potencial excelente	3422.57	3675.18	-6.87 %

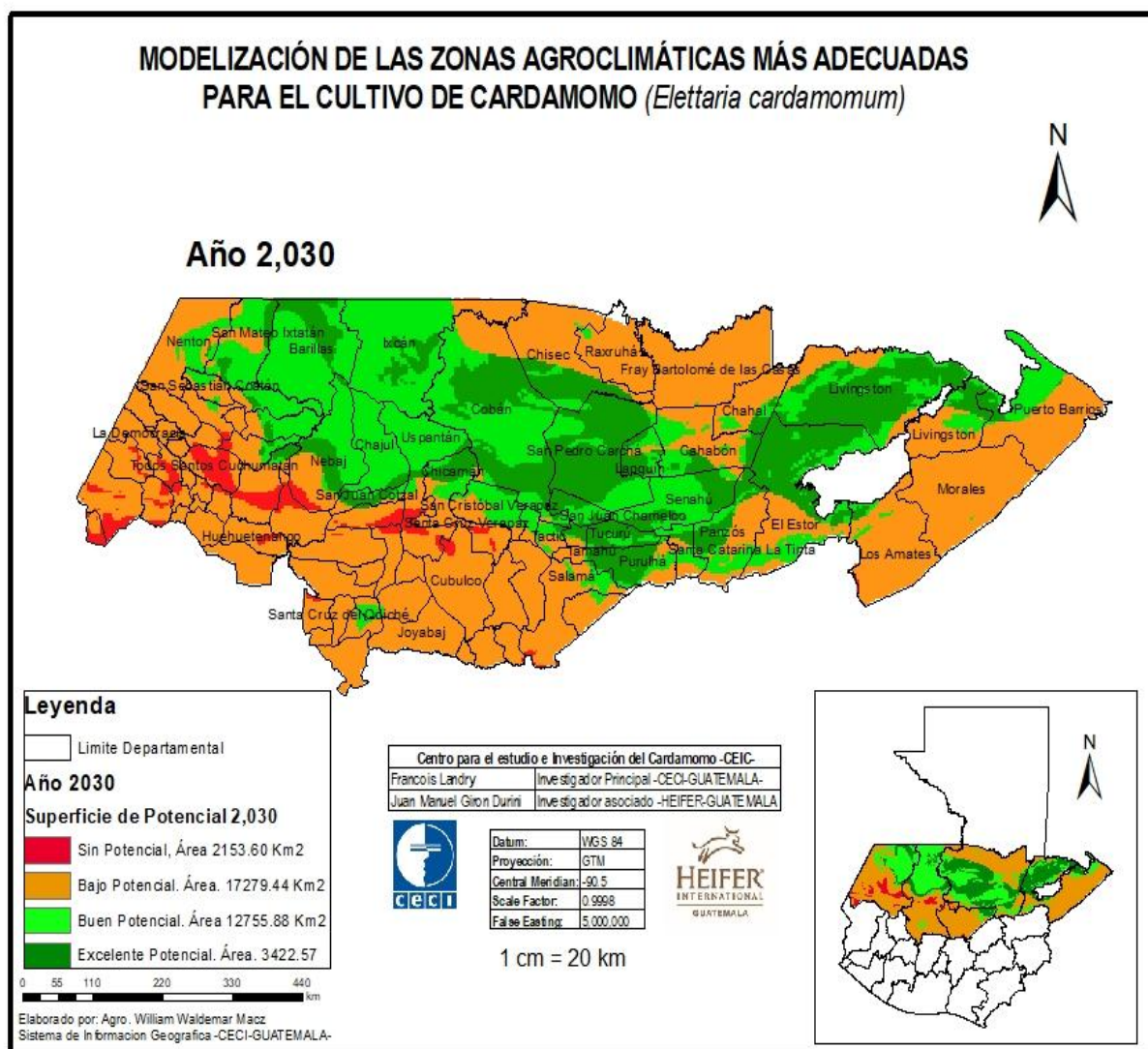


Figura 15. Modelización de las zonas agroclimáticas para el cultivo de cardamomo. Año 2030.

7.3 Modelo de previsión 2060

Entre 2030 y 2060, los cambios climáticos afectaran toda la producción agrícola de Guatemala. Las superficies de tierras favorables para el cardamomo continúan a la baja. Ciertas zonas productoras desaparecerán. Nuevas áreas al este del departamento de Alta Verapaz y de Izabal encontraran condiciones de precipitación y de temperatura favorables para la producción del cardamomo.

Cuadro 15. Superficie de clase de potencial en 2060

Clase	Área km ²	Área km ² 2060	Variación
Sin potencial	2222.96	1144.97	+94.15 %
Potencial bajo	17691.76	16603.98	+6.55%
Buen potencial	12325.91	14096.75	-12.56 %
Potencial excelente	3370.79	3675.18	-8.28 %

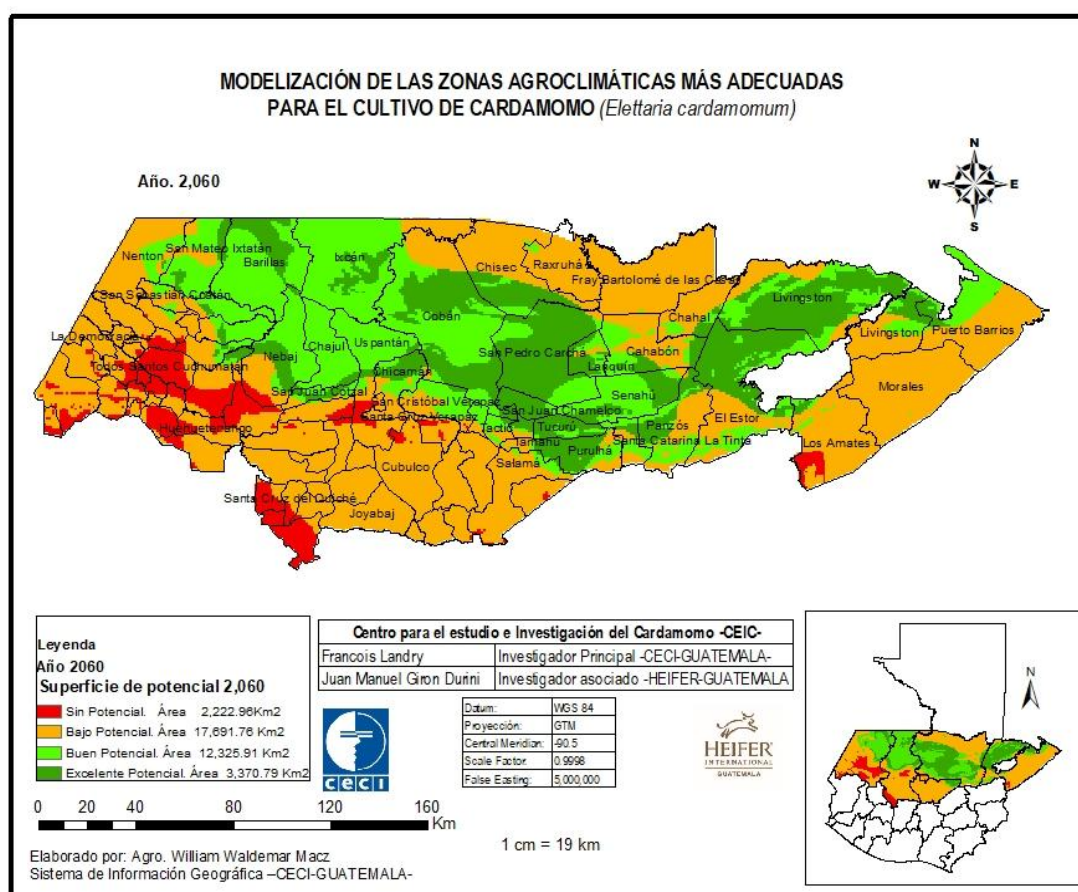


Figura 16. Modelización de las zonas agroclimáticas para el cultivo de cardamomo. Año 2060.

7.4 Modelo de previsión 2090

En 2090, el modelo prevé que la reducción de las zonas productivas continúa. Las condiciones para el cultivo del cardamomo se deterioraron en su conjunto.

Cuadro 16. Superficie por clase de potencial en 2090

Clase	Área km ²	Área km ² 2090	Variación
Sin potencial	1827.49	1144.97	+59.61 %
Potencial bajo	18532.08	16603.98	+11.61%
Buen potencial	11827.37	14096.75	-16.09 %
Potencial excelente	3431.25	3675.18	-6.63 %

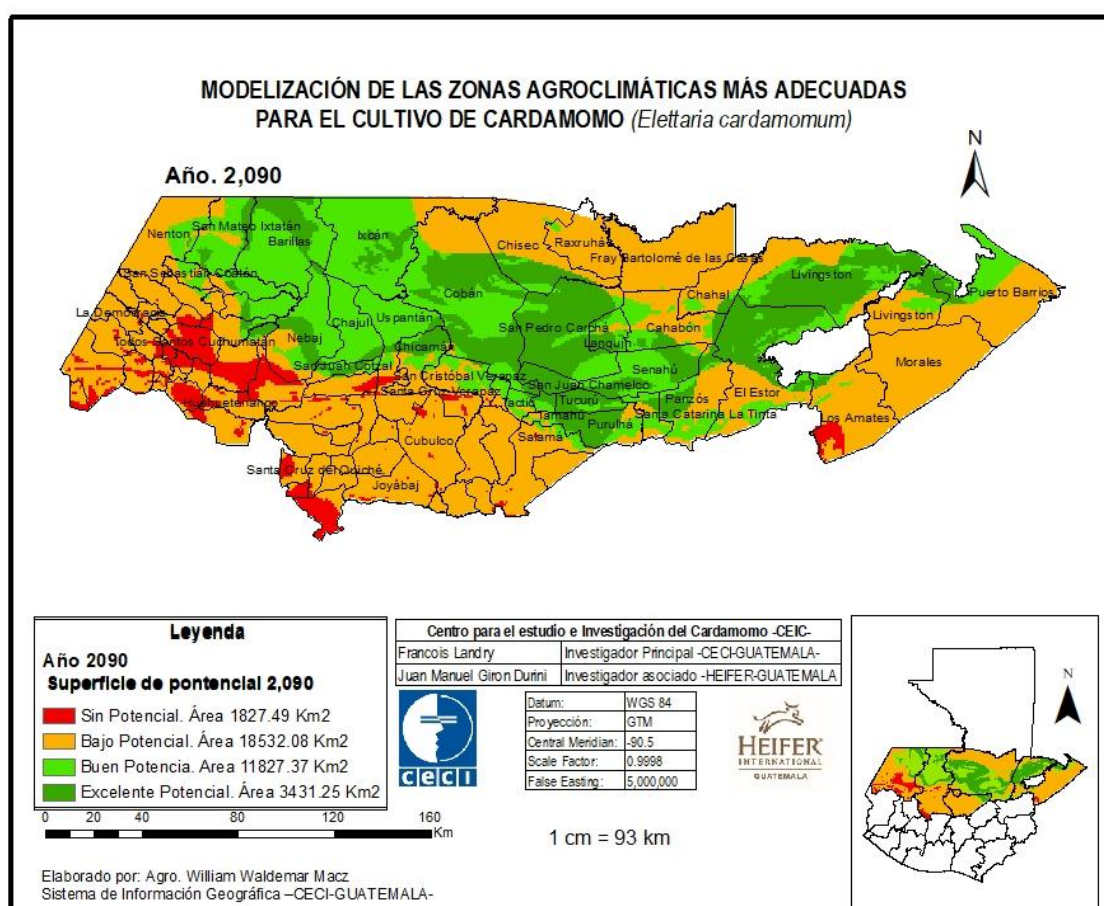


Figura 16. Modelización de las zonas agroclimáticas para el cultivo de cardamomo. Año 2090.

7.5 Análisis de los resultados de modelización de los cambios climáticos

Cuadro 17. Recapitulativo de los cambios en las superficies de clases, según los cambios climáticos previstos en el tiempo

Variación en el tiempo de la superficie de cada clase de potencial, según los cambios climáticos previstos							
Clase	2017 km ²	2030 km ²	Variación 2017-2030	2060 km ²	Variación 2017-2060	2090 km ²	Variación 2017-2090
Sin potencial	1144.97	2153.6	+ 88.09 %	2222.96	+ 94.15 %	1827.49	+ 59.61 %
Potencial bajo	16603.98	17279.44	+ 4.06 %	17691.76	+ 6.55 %	18532.08	+ 11.61 %
Buen potencial	14096.75	12755.88	- 9.51 %	12325.91	- 12.56 %	11827.37	-16.09 %
Potencial excelente	3675.18	3422.57	- 6.87 %	3370.79	- 8.28 %	3431.25	-6.63 %

Entre 2017 y 2090, la modelización nos muestra que habrá una fragmentación de las zonas actuales con un potencial excelente. Habrá desplazamiento de estas zonas de gran potencial hacia el Este del departamento de Alta Verapaz. La producción del cardamomo será ampliamente modificada.

Podemos estimar a 22 % la pérdida de tierras propicias al cultivo del cardamomo hasta 2090, los impactos socioeconómicos podrán ser importantes.

Productores de la municipalidad de Ixcan, Quiché, abandonarían este cultivo, debido a las sequías prolongadas afectando la productividad del cultivo del cardamomo.

8. CONCLUSIONES

La modelización de las zonas más adecuadas para el cultivo del cardamomo es una herramienta eficaz para planificar, analizar y tomar las acciones necesarias con el fin de asegurar una mejor planificación a los productores agrícolas. La validación del modelo en el campo, nos permitió comprobar que el 78 % de los sitios visitados correspondía a lo que el modelo predecía.

Los cambios climáticos cambiarán radicalmente la producción del cardamomo. Los modelos para los años 2030, 2060 y 2090 se originan de datos modelizados por los meteorólogos internacionales.

La precisión del modelo es dependiente de los datos utilizados. Es primordial utilizar los datos meteorológicos más recientes y completos para obtener un resultado con mayor precisión.

Más allá de los números, es evidente que los cambios climáticos afectarán las condiciones de vida de los productores de cardamomo. Desde ahora, hay que emprender los

trabajos necesarios, con el fin de colocar los recursos y los conocimientos para encontrar alternativas al cardamomo, en las áreas donde este cultivo se verá afectado.

9. RECOMENDACIONES

- Antes de emprender una modelización de un cultivo en particular, es importante asociarse con INSIVUMEH con el fin de asegurarse la calidad de los datos utilizados.
- Formar a especialistas en sistema de información geográfica, precisamente en modelización, con el fin de tener modelos para los cultivos más sensibles.
- Asociarse a especialistas de los cultivos que hay que modelizar, con el fin de contar con criterios de análisis
- Siempre apoyarse en una validación en el campo con el fin de asegurarse, la precisión del modelo.
- Empezar desde ahora, los estudios necesarios para evaluar los impactos del cambio climático sobre los cultivos importantes en Guatemala.

10. BIBLIOGRAFIA

Amarnath Giriraj , Mohammed Irfan-Ullah , Manchi Sri Ramachandra Murthy and Carl Beierkuhnlein (2008), Modelling Spatial and Temporal Forest Cover Change Patterns (1973-2020): A Case Study from South Western Ghats (India), *Sensor Open Access Journal*, Volume 8, Issue 10

Anandaraj, M., & Sudharshan, M. R. (2011). Cardamom, ginger and turmeric. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)—Soils, Plant Growth and Crop Production*. EOLSS Publishers, Oxford, UK

K.P. Prabhakaran Nair (2011), *Agronomy and Economy of Black Pepper and Cardamom*. The “King” and “Queen” of Spices, Elsevier publications.

Melgar, W. (2003). Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Guatemala. Documentos de Trabajo: Recursos Genéticos Forestales. FGR/53S Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, FAO, Roma. (Inédito).

USDA, Foreign Agricultural Service (2014). The 3Gs -- Green Gold of Guatemala, GAIN Report Number: GT-1404

Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G.E., Crookston, N.L. *et al.* *Climatic Change* (2010) 102: 595. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9753-5>

11. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), al programa de Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA), ejecutado por el Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola (IICA), al Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA), al programa Uniterra del Centro de Estudio y de Cooperación Internacional (CECI) y el Servicio Universitario Mundial de Canadá (EUMC por sus siglas en francés), financiado por el Ministerio de Asuntos Mundiales de Canadá, a Heifer Guatemala, a los técnicos del proyecto PROCACHI y a los productores de cardamomo de los departamentos de Quiché y Alta Verapaz.

12. ANEXOS

Metodología para la modelización:

MODELIZACION DE LAS ZONAS AGROCLIMATICAS MÁS ADECUADAS PARA EL CULTIVO DEL CARDAMOMO

Con el fin de realizar la modelización sobre las mejores condiciones agro-climática para el cultivo del cardamomo, varias etapas son necesarias

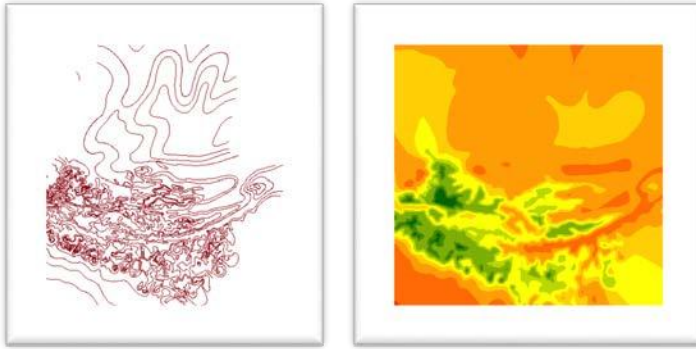
La literatura nos señala que, las precipitaciones abundantes y continuas a lo largo del año constituye el factor más importante para el crecimiento del cardamomo. Los niveles de precipitación deberían situarse entre 2500 y 3800 mm anual. No obstante, la variedad Malabar omnipresente en Guatemala, puede soportar un período de sequedad de entre 4 a 6 meses. La temperatura media anual ideal es de 22 C°. La altitud es también un factor que influye sobre el desarrollo del cultivo entre 600 y 1200 metros. Para las condiciones de suelo, un PH entre 5.5 y 6.2 es lo recomendado. (K.P. Prabhakaran Nair. 2011). Otros factores como la profundidad, tipo del suelo, pendiente y drenaje no han sido retenidos para la modelización, debido a que los datos disponibles, no son lo suficientemente precisos para su utilización.

	mejores condiciones	
	Min	Max
Precipitación (mm.):	2500	3800
Altitud (m.)	600	1200
PH:	5.5	6.2
Déficit de agua (meses)	0	6
Temperatura media anual (C°)	22	

Transformación de los datos vectoriales en raster.

Las capas de información geográfica utilizadas para la modelización, en formato vectorial, provienen del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). Con el fin de utilizar estos datos para la modelización, fueron transformados en formato Raster.

Las capas: de precipitación, temperatura y déficit en agua están en formato vectorial lineal. Para transformarlos al formato raster la herramienta de Arcgis topo a raster fue utilizada.



Conversión de vectoriales a raster

Una vez todas las capas convertidas a formato raster, se aseguró que presenten la misma proyección geográfica (correcta alineación y mismo tamaño de los píxeles).

Reclasificación:

Teniendo en cuenta los criterios agro-climático ya establecidos, se reclasifico cada capa raster en 4 clases: 1 = inadecuado, 2=bajo potencial, 3=buen potencial, 4 potencial excelente.

La herramienta utilizada es Reclassify de Arcgis.

Criterios para la reclasificación de las capas agro-climática

Precipitación mm.

Altitud en metros.

Clase	Min	Max	Clase	Min	Max
1	368.9	1478	1	0	610
2	1478	2500	2	610	1200
3	2500	3800	3	1200	1600
4	3800	5933	4	1600	3772

PH

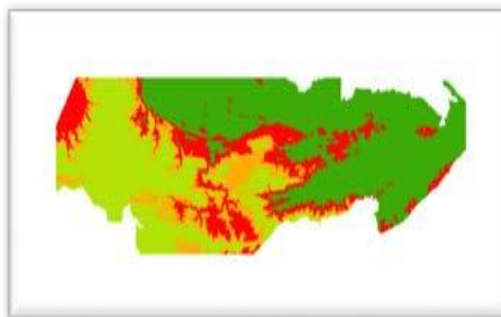
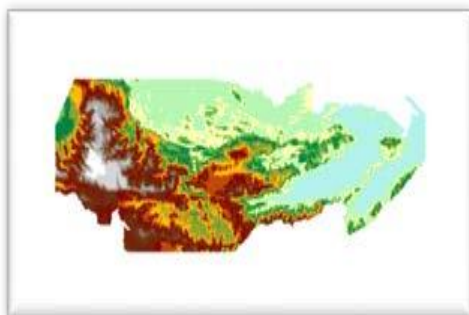
Temperatura

Clase	Min	Max
1	0	4.8
2	4.8	5.5
3	5.5	6.2
4	6.2	8.1

Clase	Min	Max
1	7	12
2	12	17
3	17	22
4	22	28

Déficit de agua (meses)

Class	Min	Max
4	0	2
4	2	4
4	4	6
1	6	11



Reclasificación en cuatro clases de la altura

En la figura, podemos ver la capa de altitud en 15 clases y transformadas en cuatro clases según los criterios ya establecidos en las etapas precedentes.

Creación del Modelo:

Con las capas reclasificadas, la modelización puede ser realizada.

La herramienta utilizada es superposición ponderada de ArcGis.

Cada capa de información reclasificada recibe un valor de importancia, (un peso).

Para la modelización de las mejores condiciones agro-climática para el crecimiento del cardamomo, se definieron los factores más influyentes para el desarrollo del cardamomo.

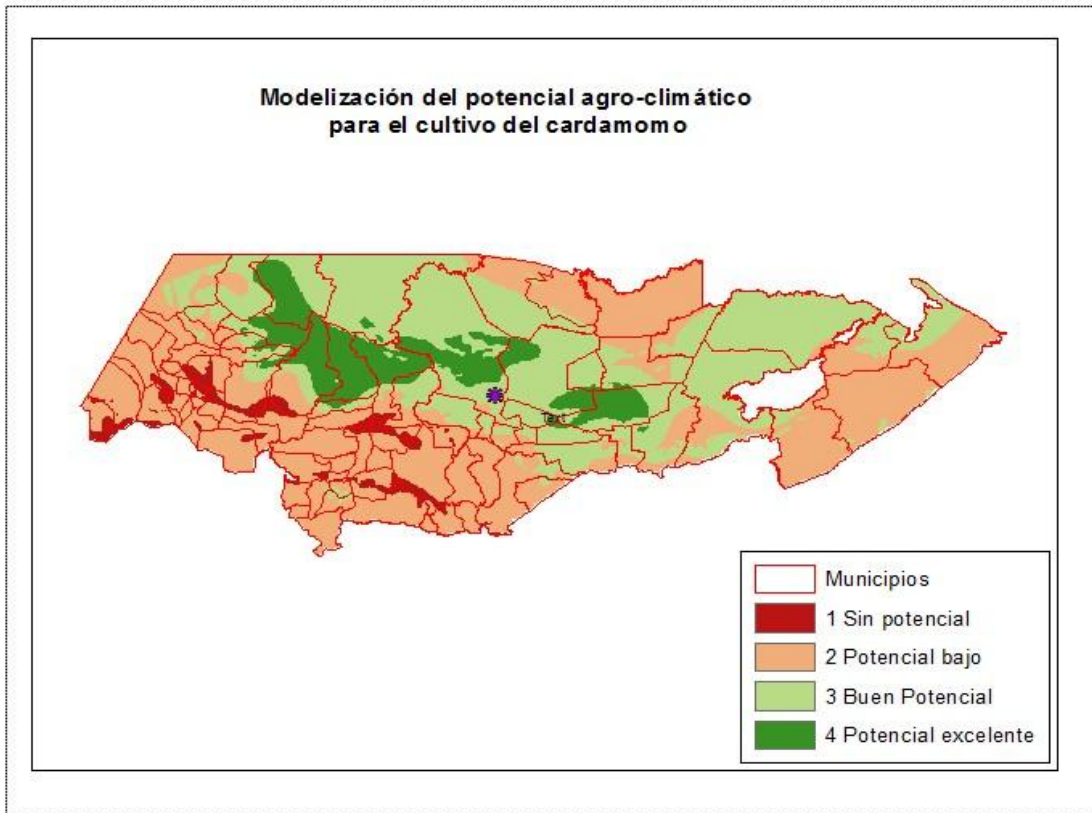
Así, la precipitación ha sido identificada como el factor más importante. La temperatura media anual viene en segundo lugar. Luego vienen, en orden, déficit de agua, altitud y Ph. Cada capa recibe un porcentaje de importancia para llegar a un total del 100 %. La combinación escogida para realizar el modelo se encuentra en el siguiente cuadro.

Ponderación para cada variable

Precipitación	60.00%
Déficit	10.00%
PH	5.00%
Altitud	10.00%
Temperatura	15.00%

El modelo producido, representa, en cuatro clases, el potencial agro-climático de los 5 departamentos productores de cardamomo.

- Altaverapaz
- Baja Verapaz
- Izabal
- Quiché
- Huehuetenango



Con el fin de conocer y de planificar mejores intervenciones, hay que extraer la información por provincia y municipalidad. ¿Cuánto Km² de clase cuatro por municipalidad?

Método de extracción de datos:

Etapa 1: crear una reja de 1km², cubriendo toda la zona estudiada herramienta Fishnet.

Etapa 2: crear un intersect entre la reja y la capa que representa las municipalidades. Una ficha de salida se obtendrá para cada celda de 1 km² con el nombre de la municipalidad y del departamento.

Etapa 3: convertir el raster en punto raster to point. Para Cada celda (píxel) un punto que contendrá el valor creado.

Etapa 4: hacer una unión espacial entre la capa en reja y la tabla de punto que representa los valores del raster. El resultado servirá para hacer las estadísticas.

Etapa 5: hacer una conjunción espacial entra la capa administrativa en reja y el cuadro de puntos que representa los valores para el raster. El resultado servirá para hacer las estadísticas.

Estadística por municipalidad

Una vez la ficha (shapefile final) creada, se exporto la tabla hacia Excel *(.xls) utilizando la herramienta de exportación a Excel desde el toolbox de ArcGis, así fue posible hacer el análisis de los datos obtenidos con la ayuda de una tabla dinámica.

Esta base de datos se utilizó para conocer el número de km² por municipalidad que cuenta con el mejor potencial para el cultivo del cardamomo y el porcentaje de cada clase del modelo. El modelo creado, permitirá planificar intervenciones hacia las municipalidades que presenten alto potencial.

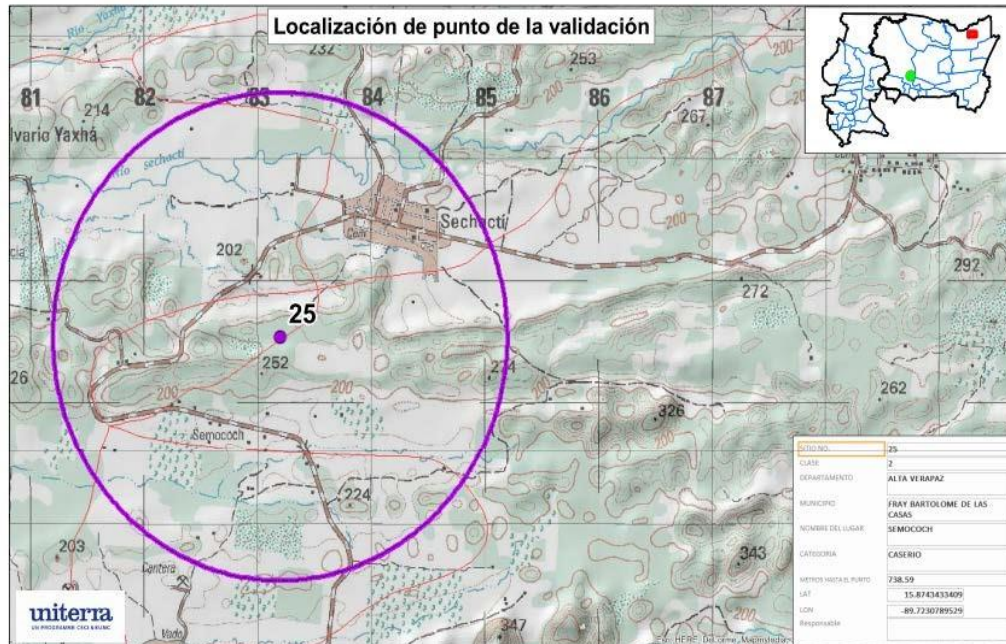
Intervenir de modo específico, según el potencial estimado. Si una municipalidad no tiene un buen potencial según las condiciones agro-climática para el cardamomo, es posible ofrecer un soporte para el cultivo de otras especies.

La modelización producida aquí, puede ser aplicada sobre otra región de Guatemala. También, este modelo puede ser exportado a otros países productores de cardamomo como Honduras, Colombia y Costa Rica, con el fin de evaluar sus producciones potenciales.

Método en el campo

Diez puntos por clase de potencial fueron identificados de modo aleatorio en los departamentos de Alta Verapaz y Quiché. El acceso al punto puede ser a veces difícil, por esto, un radio de 2 km fue trazado alrededor del punto con el fin de circunscribir la zona de toma de datos. Un GPS fue utilizado para la localización de cada sitio.

Los datos fueron recogidos en la parcela de cardamomo más próximo al punto. Si el punto es de clase 1 o 2 (inadecuado para el cardamomo o poco potencial), sin cultivo de cardamomo, los datos fueron tomados en la parcela más representativa del sitio de cultivo (café, plátano, cacao etc.) y esto, dentro de la zona de 2 km.



Localización de puntos de validación

En cada sitio las medidas siguientes fueron recogidas con la ayuda de la app Cybertracker.

- pH
- Humedad
- Luz (Sombra)
- Temperatura del suelo
- Profundidad de material orgánico\esquema de composición
- Textura de suelo
- Temperatura aire
- Flores: No de flores/frutos por bandola (\)
- Muestra por thrips y picudo
- Estado general del sitio
- Fotos
- Entrevista productor/dueño del sitio

La App de Cybertracker registro de facto, las coordenadas geográficas, fecha, hora y altura.

Etapas: 1: hacer la entrevista con propietario, seguir el cuestionario en Cybertracker.

Presencia de Cardamomo: una vez en el sitio o el punto escogido, hay que colocarse en el centro de la parcela o la luminosidad es representativa de las condiciones generales de crecimiento. Escoger una planta representativa de cardamomo, identificarla con una cinta de color. Empezar la toma de datos a la base de la planta. El pH, la humedad, la

temperatura del suelo, del aire ambiente y la luminosidad fueron obtenidos con la ayuda del Medidor de Suelos Digital de 4 Vías de SUNLEAVES.

Etapa 2: introducir la sonda a su máximo de profundidad 20 cm. Tomar las cuatro medidas e inscribirlas en el app Cybertracker. Hacer fotos del sitio. Retirar la sonda del suelo y tomar la temperatura del aire ambiente.

Etapa 3: fuera de la parcela, dónde no hay sombra, tomar el nivel de luminosidad. Por medio de una regla de tres, el % de sombra en la parcela podrá ser estimado.

Etapa 4: hacer un hoyo de 30 cm, medir el espesor de materia orgánica en cm, tipo de suelo, y su grado de compactación. (Según las elecciones propuestas en Cybertracker).

Etapa 5: contar el número de bandolas, su longitud, número de flores y número de frutos.

Etapa 6: tomar una muestra de frutos para la detección de thrips y de picudo. Identificar la bolsa: número de muestra, parcela, fecha, lugar (llenar la etiqueta). Inscribir no. de la muestra y otros detalles en Cybertracker.

Etapa 7: referirse a la app Cybertracker, completar las secciones de comentarios, verificar que no hay campos vacíos. Hacer una última foto del sitio y registrar el punto.

Ausencia de Cardamomo: una vez el sitio o el punto escogido, hay que colocarse en el centro de la parcela de café, plátano, cacao etc o la luminosidad es representativa de las condiciones generales de crecimiento. El pH, la humedad, la temperatura del suelo y del aire ambiente, y la luminosidad serán tomados con la ayuda de Medidor de Suelos Digital de 4 Vías de SUNLEAVES.

Etapa 2: introducir la sonda a su máximo, 20 cm., tomar las 4 medidas e inscribirlas en la app Cybertracker. Hacer fotos del sitio zoom, general etc. Retirar la sonda del suelo, y tomar la temperatura del aire ambiente.

Etapa 3: Por fuera de la parcela, allí donde no hay sombra, tomar el nivel de luminosidad. Por medio de una regla de tres, el % de sombra en la parcela podrá ser estimado.

Etapa 4: hacer un hoyo de cerca de 30 cm. Y medir el espesor de materia orgánica en cm, tipo de suelo, y su grado de compactación. (Según las elecciones propuestas en Cybertracker).

Etapa 5: revisar la app Cybertracker, completar las secciones de comentarios, verificar que no hay campos vacíos. Hacer una última foto del sitio en general, Registrar el punto.

Material utilizado por equipo:

- 1 GPS
- 1 Teléfono Android con Cybertracker
- 1 pequeña pala
- 1 rodillo Cinta Marcador
- 1 Medidor de Suelos Digital de 4 Vías tipos de SUNLEAVES.
- 30 bolsas y etiquetas para muestra
- 30 formularios papeles.
- Cuaderno de campo
- Lápiz/borador

13. Glosario

El modelo cartográfico comprende el análisis con SIG de datos espaciales con operaciones matemáticas o booleanas, con frecuencia usadas para identificar áreas con características únicas de combinación en mapas con entidades georreferenciadas (por ejemplo, la aptitud de la tierra para la producción de cultivos agrícolas) (Johnston, 1998).

Las operaciones en el SIG o en el modelo se pueden hacer por separado o estrechamente asociados con un programa de cómputo que los vincule de modo que los datos pasen del modelo al SIG o viceversa (Johnston, 1998). De acuerdo con Eastman (2003b), un modelo cartográfico es una representación gráfica de los datos y procedimientos analíticos que se usan en un estudio; su propósito es auxiliar en la organización del análisis y estructurar los procedimientos necesarios, así como identificar los datos necesarios para el estudio; sirve como fuente de consulta y de referencia.

Geomática (La geomática o ingeniería geomática (término este último compuesto por *geo*, "Tierra", y *mática*, "informática"), también llamada **información espacial**, **información geoespacial** e incluso **tecnología geoespacial**, es la ciencia que se ocupa de la gestión de información geográfica mediante la utilización de tecnologías de la información y la comunicación. La gestión incluye la adquisición, modelado, tratamiento, almacenamiento, recuperación, análisis, explotación, representación y difusión de la geodesia, la fotogrametría y teledetección, Sistemas de Información Geográfica e Infraestructura de Datos Espaciales, y está relacionada con cualquier ciencia que suponga el procesamiento de información geográfica. Este término, nacido en Canadá, ya es parte de las normas de estandarización ISO.

Geodatabase En su nivel más básico, una geodatabase de ArcGIS es una colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistema de archivos común, una base de datos de Microsoft Access o una base de datos relacional multiusuario DBMS (por ejemplo Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, Informix o IBM DB2). Las geodatabases tienen diversos tamaños, distinto número de usuarios, pueden ir desde pequeñas bases de datos de un solo usuario generadas en archivos hasta geodatabases de grupos de trabajo más grandes, departamentos o geodatabases corporativas a las que acceden muchos usuarios.

Una geodatabase es algo más que una colección de datasets; el término geodatabase tiene diversos significados en ArcGIS:

- La geodatabase es la estructura de datos nativa para ArcGIS y es el formato de datos principal que se utiliza para la edición y administración de datos. Mientras ArcGIS trabaja con información geográfica en numerosos formatos de archivo del sistema de información geográfica (SIG), está diseñado para trabajar con las capacidades de la geodatabase y sacarles provecho.
- Es el almacenamiento físico de la información geográfica, que principalmente utiliza un sistema de administración de bases de datos (DBMS) o un sistema de archivos. Puede acceder y trabajar con esta instancia física del conjunto de datasets a través de ArcGIS o mediante un sistema de administración de bases de datos utilizando SQL.
- Las geodatabases cuentan con un modelo de información integral para representar y administrar información geográfica. Este modelo de información integral se implementa como una serie de tablas que almacenan clases de entidad, datasets ráster y atributos. Además, los objetos de datos SIG avanzados agregan comportamiento SIG, reglas para administrar la integridad espacial y herramientas para trabajar con diversas relaciones espaciales de las entidades, los rásteres y los atributos principales.
- La lógica del software de geodatabases proporciona la lógica de aplicación común que se utiliza en ArcGIS para acceder y trabajar con todos los datos geográficos en una variedad de archivos y formatos. Esto permite trabajar con la geodatabase, e incluye el trabajo con shapefiles, archivos de dibujo asistido por ordenador (CAD), redes irregulares de triángulos (TIN), cuadrículas, datos CAD, imágenes, archivos de lenguaje de marcado geográfico (GML) y numerosas otras fuentes de datos SIG.
 - Las geodatabases poseen un modelo de transacción para administrar flujos de trabajo de datos SIG.

CyberTracker es una herramienta potente y fácil de usar para la captura de datos móvil. Con teléfono Android, los usuarios pueden rápida y eficientemente recoger grandes cantidades de datos. CyberTracker interfaz de usuario único puede ser utilizado por los usuarios analfabetos y semianalfabetos. Información avanzada, científica también puede ser capturada. CyberTracker está integrado con GPS y Virtual Earth para permitir la visualización instantánea de los datos.

