Aptitud agroecológica de tres cultivos estratégicos (maíz, arroz y caña de azúcar) en 14 cantones de la cuenca baja del río Guayas

Agroecological suitability of three strategical crops (corn, rice and sugarcane) of 14 cantons at the Guayas River Lower Basin

Víctor Julio Moreno Izquierdo[1,+]; Lorena del Pilar Lasso Benítez[1,]; Mauricio David Reyes Pozo[1,o]; Renato Xavier Haro Prado[1,++]; Gina Isabel Cruz Espinosa[1,§]*

[1]Instituto Espacial Ecuatoriano

{julio.moreno@institutoespacial.gob.ec; lorena.lasso@institutoespacial.gob.ec; david.reyes@institutoespacial.gob.ec; renato.haro@institutoespacial.gob.ec; ginny17pz@hotmail.com}

Fecha de recepción: 8 de Agosto de 2018 - **Fecha de revisión:** 24 de Agosto de 2018

Resumen

El objetivo de este trabajo fue la obtención de zonas físicas óptimas para los cultivos de arroz (Oriza sativa L.), maíz (Zea mays L.) y caña de azúcar (Saccharum oficinarum L.). Se determinaron los requerimientos edáficos y climáticos de dichos cultivos. Se superpusieron mapas geopedológicos y climáticos de 14 cantones que conforman la cuenca baja del río Guayas, a través de un Sistema de información Geográfica (SIG), obteniéndose como resultado el mapa agroecológico, y que mediante la aplicación de un lenguaje estructurado de consulta, a los atributos del mapa, y teniendo de base los requerimientos edafo-climáticos de los cultivos, se obtuvieron las zonas con condiciones aptas para cada uno de los mismos: 50 682 ha (7,3 % del área de estudio) para el cultivo de arroz, 103 992 ha (15 %) para el cultivo de maíz y 24 188 ha (3,5 %) para el cultivo de caña de azúcar. Se concluyó que la zonificación es una herramienta que permite gestionar el territorio, mediante el correcto manejo de los recursos, combinando los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos con los estudios de suelos, definiendo zonas homogéneas que reúnen características óptimas que permitan aumentar la producción por unidad de superficie, en tierras con verdadera vocación agrícola.

***Palabras claves* – Ecuador, Cuenca Baja del Río Guayas, Aptitud Agroecológica, Maíz, Arroz, Caña de Azúcar, Sistemas de Información Geográfica (SIG).**

Summary

The main purpose of this work was the stabilshment of zones with the most favorable agricultural conditions to grow rice, corn and sugar cane. Three thematics maps with geopedological, and climatic geoinformation at 1: 25 000 scale of 14 cantons at the Guayas river lower basin were employed for this study, using GIS platforms. The result were three agroecological areas with optimal potentials for production, based on combination of soil, geomorphological and weather characteristics of temperature and rainfall. The zoning is a tool that allows the land management through the appropriate use of resources; it combines the climatic and land requirement of crops with the soil studies to define homogeneous areas, which gather the suitable characteristics for their development. The interest of this investigation was tochange the actual approach of expanding agricultural frontiers from horizontal to a vertical way, increasing the production per unit area, in lands with a true agricultural vocation.

***Keywords* – Ecuador, Guayas River Lower Basin, Agroecological Suitability, Corn, Rice, Sugarcane, Geographic Information System (GIS).**

INTRODUCCIÓN

La población mundial para el año 2050 puede superar los 9 000 millones de personas, lo que provocará una mayor demanda de energía, alimentos y agua, ocasionando además una degradación ambiental generalizada, superando con creces la capacidad de carga de los recursos naturales (De la Rosa, 2008; Graetz, 2008; Macias, 2015). El suelo constituye el recurso natural más importante para la vida en la Tierra, por ser éste el fundamento para la

[+]Ingeniero Agrónomo, Máster en Ciencias de la Geo-información y Observación de la Tierra.
[*]Ingeniera Agrónoma, Magíster en Gestión Ambiental en la Industria.
[o]Ingeniero Agropecuario, Máster Universitario en Planificación Territorial y Gestión Medioambiental.
[++]Ingeniero Agrónomo.
[§]Ingeniera Agropecuaria. Magister UNIGIS en Sistemas de Información Geográfica.

producción de alimentos y la seguridad alimentaria, el cual necesita de una gestión sostenible que permita el incremento del suministro de alimentos saludables para mejorar la calidad de vida de la población (FAO, 2016).

En el Ecuador la realidad agrícola busca, constantemente, obtener mayores ganancias mediante el incremento de las producciones, lo que ha provocado un comportamiento insostenible del ser humano con respecto a su entorno, ocasionando que el suelo sea cada vez menos capaz de realizar funciones y servicios, atentando al desarrollo sostenible (Saltos y Vázquez, 2009; Porta, López-Acevedo y Poch, 2014). Estas producciones crecen en áreas destinadas para la exportación y agroindustria, orientándose únicamente al monocultivo, mediante el aumento de la frontera agrícola, la misma que lleva un ritmo de crecimiento del 3 % anual, sin tomar en cuenta las necesidades de la población, mientras decrece cada vez más los terrenos cultivados para consumo interno, predominando la mala distribución de las tierras, donde las grandes propiedades acaparan el agua, e intensifican la producción agrícola (Saltos y Vázquez, 2009).

Según el MAGAP (2016) y Espinosa, Moreno y Bernal (2018) la falta de información en cuanto a datos reales de requerimientos de fertilización, el crecimiento de las superficies de cultivos en zonas de laderas y montañas, el uso intensivo del suelo sin importar su aptitud, provocan un acelerado deterioro del suelo, afectando su fertilidad y por ende limitando su productividad.

La superficie del Ecuador es de 26 079 600 ha, con una población actual de 17 023 406 habitantes (10 857 360 habitantes en área urbana y 6 166 046 en área rural), con 12 355 831 ha potencialmente agrícolas, y 842 882 unidades productivas (Saltos y Vázquez, 2009; INEC, 2016). La cuenca del río Guayas es la zona más representativa para producciones agrícolas, ya que tendría la capacidad de abastecer a 40 millones de habitantes con su producción (Saltos y Vázquez, 2009). Sin embargo, el nivel de productividad, en la gran mayoría de cultivos, está muy por debajo de la media que mantienen nuestros países, a pesar de que gran parte de la cuenca presenta el escenario casi ideal para una adecuada explotación agropecuaria, lo que se debe a tecnología deficiente, falta de crédito e incentivos y desconocimiento de mercados (González, 2010).

Es por esto que se hace necesario dar nuevos enfoques a los modelos de desarrollo agrícola, basados en criterios de sostenibilidad, donde todos los factores físicos, químicos y biológicos del sistema suelo son considerados elementos cruciales (De la Rosa, 2008), lo que es un desafío de la política agropecuaria ecuatoriana, ya que debe aprovechar el potencial agro-productivo existente y afrontar el conflicto de uso de la tierra, considerando que son parte de las bases para lograr reducir la pobreza y propiciar el desarrollo rural sostenible del país (MAGAP, 2016), llegando actualmente a ser parte de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo, 2017-2021 “Toda Una Vida”, donde se pretende impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria, así como desarrollar las capacidades productivas para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural, cumpliendo con el artículo 13 de la Constitución Nacional (SENPLADES, 2017).

Para ello, es necesario conocer mejor al suelo, utilizando un enfoque que permita predecir el futuro del recurso, en cuanto a su conservación, así como su mejoramiento o destrucción, en el cual se estudie el suelo bajo cinco dimensiones: tres de las cuales están enmarcadas en las dimensiones largo, ancho y profundidad y son, precisamente, en las cuales se registran los datos colectados en el campo, mediante las descripciones de perfiles de suelos y donde se obtienen los resultados de análisis de laboratorio de muestras representativas tomadas en el terreno; las otras dos: la dimensión temporo-espacial, que analiza, en la escala del tiempo, los fenómenos climáticos, geológicos y geomorfológicos y sus interacciones con el entorno biótico que da lugar a un ecosistema; y, la dimensión económico-social, que analiza el impacto de los aspectos sociales y económicos en la productividad y en la conservación del suelo (Cortés, 2004).

En este sentido el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) ejecutó el proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional” a escala 1: 25 000, entre los años 2009 al 2016, bajo la coordinación de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), con la participación del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), generándose cartografía temática de cobertura y uso de la tierra, climática, geomorfológica y geopedológica, realizándose para esta última aproximadamente 5 474 perfiles de suelos con sus respectivas descripciones y

análisis de laboratorio (IEE, 2018), información que es un elemento crucial para fundamentar decisiones agrícolas realmente sostenibles; siendo la evaluación agroecológica la interface lógica entre dicha información básica y la toma de decisiones sobre el uso y manejo de la tierra (De la Rosa, 2008).

La Zonificación Agro-Ecológica de cultivos -ZAE- es una de las herramientas para la toma de decisiones, definida como una aplicación que combina los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos con los estudios de suelos, con la intención de definir zonas homogéneas que reúnan características óptimas para su desarrollo (FAO, 1997). Las investigaciones más avanzadas de ZAE incorporan una serie de bases de datos, enlazadas a un SIG y relacionadas con modelos computarizados, que tienen múltiples aplicaciones potenciales en el manejo de los recursos naturales y la planificación del uso de las tierras, llegado a ser posible el definir qué cultivos tienen mayor potencial de producción (FAO, 1997; Jiménez, Vargas, Salinas, Aguirre y Rodriguez, 2004), haciendo que los estudios de zonificación sean cada vez más necesarios (González y Hernández, 2016).

En el país el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP-CGSIN, 2014a, 2014b) ha desarrollado zonificaciones agroecológicas económicas de diversos cultivos, entre ellos arroz y maíz, empleando como insumos cartografía base (escala 1: 250 000), cartografía temática de suelos y relieve (escala 1: 250 000), cartografía temática climática (escala 1: 50 000), y requerimientos agroecológicos del cultivo en estudio, aplicando el método desarrollado por la FAO (1997), y adaptado por la Coordinación General del Sistema de Información Nacional (CGSIN) del MAGAP, con el cual identificaron zonas aptas, moderadas, marginales y no aptas para evaluar la aptitud de diferentes cultivos a nivel regional y nacional a escala 1: 250 000.

El estudio pretende definir las zonas agroecológicamente aptas para los cultivos de arroz (Oriza sativa L.), maíz (Zea mays L.) y caña de azúcar (Saccharum oficinarum L.), a escala 1: 25 000 (semidetalle), en la cuenca baja del río Guayas, dentro de 14 cantones: Babahoyo, Balzar, Baquerizo Moreno, Colimes, Daule, Lomas de Sargentillo, Milagro, Naranjito, Palestina, Samborondón, Santa Lucía, Simón Bolívar, Yaguachi y Vinces; que permitirá coadyuvar al ordenamiento territorial, y al mejoramiento y sostenibilidad de la productividad agraria.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del río Guayas está constituida por el área de captaciones del sistema fluvial que conforman los ríos Daule, Vinces y Babahoyo, con sus respectivos afluentes, los cuales conforman, al norte de la ciudad de Guayaquil, un colector único, el río Guayas, que descarga anualmente unos 30 mil millones de metros cúbicos de agua, luego de drenar una vasta zona geográfica de 34 000 km². Esta cuenca abriga extensos desarrollos socio-económicos (Montaño y Sanfeliu, 2008). El área de estudio comprende dos cantones de la provincia de Los Ríos (Babahoyo y Balzar) y 12 cantones de la provincia de Guayas (Alfredo Baquerizo Moreno, Colimes, Daule, Lomas de Sargentillo, Milagro, Naranjito, Palestina, Samborondón, Santa Lucía, Simón Bolívar, San Jacinto de Yaguachi y Vinces) (Figura 1).

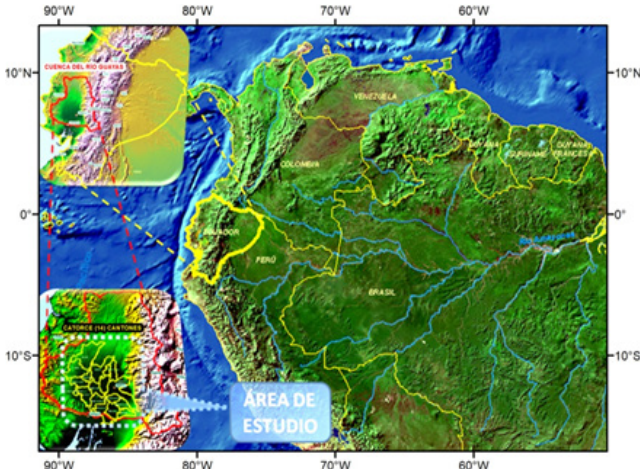

Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Guayas con respecto al Ecuador continental.

METODOLOGÍA

Factores en estudio

Las variables utilizadas en la zonificación fueron físicas (pendiente, textura, drenaje, profundidad efectiva, pedregosidad, potencial Hidrógeno y salinidad) y climáticas (temperatura y precipitación). Los factores en estudio, adquiridos del proyecto "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional" a escala 1: 25 000 (IEE, 2018), se obtuvieron del mapa geopedológico, para el caso de los atributos edafológicos (físicos y químicos); y, en cuanto a los atributos climáticos, se utilizó la información de los mapas de precipitación y temperatura.

Requerimientos de los cultivos

Los cultivos en estudio, para esta zonificación, fueron escogidos por ser considerados estratégicos

dentro de la Política Agropecuaria Ecuatoriana y por ser considerados como productos principales de la pequeña agricultura campesina (MAGAP, 2016). La contribución de la cuenca a la producción primaria comprende: arroz 93 %, caña de azúcar 90 %, maíz duro 90 %, entre otros cultivos (Montaño y Sanfeliu, 2008). Los requerimientos agroecológicos de los cultivos están basados en los datos generados, básicamente, por la guía de cultivos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (Villavicencio y Vázques, 2008). Los parámetros considerados como requerimientos agroecológicos, adoptados para esta investigación fueron pendiente, textura, drenaje, profundidad efectiva, pedregosidad, salinidad, pH, precipitación óptima, temperatura óptima (Tabla 1).

Cultivo de arroz (Oryza saliva L.)

El arroz es el rubro de mayor impacto a nivel nacional, con una producción de 315 toneladas de semilla registrada que representan el 69 % de la superficie comercial a escala nacional (MAGAP-CGSIN, 2016a) y constituye una de las actividades más importantes de las provincias de la Costa. En la cuenca del río Guayas el cultivo de arroz ocupa, aproximadamente, el 90 % de la superficie cultivada de arroz (Saltos y Vázquez, 2009).

Cultivo de maíz duro (Zea mays L.)

Desde el punto de vista socioeconómico, la producción de maíz sirve, fundamentalmente, como materia prima para la industria de alimentos balanceados. El MAGAP-CGSIN (2016b) con las Políticas Agropecuarias busca alcanzar el autoabastecimiento sostenible y competitivo de maíz duro para elaborar balanceados y alimentos de proteína animal.

Tabla 1. Requerimientos edafológicos y climáticos del arroz, maíz duro y caña de azúcar.

NOMBRE COMÚN	ARROZ	MAÍZ DURO	CAÑA DE AZÚCAR
Nombre científico	*Oryza sativa* L.	*Zea mays* L.	*Saccharumoficinarum*L.
Familia	Poaceae	Poaceae	Poaceae
Modo de asimilación fotosintética	C4	C4	C4
Temperatura óptima ºC	22 a 30	20 a 27	20 a 28
Altitud m.s.n.m.	1 a 1 500	1 a 1 600	500 a 1500
Precipitación mm	800 a 1 240	500 a 2 000	1 400 a 1 800
Luminosidad	1 000 horas sol/año	1 000 a 1 500 horas sol/año	5 a 9 horas sol/día
Textura del suelo*	Arc, Fco-Arc, Arc-L, Fco-L	Fco, Fco-Arc, Fco-L, Fco-Ar, Fco-Arc-L, Fco-Arc-Ar	Fco-L, Fco-Ar, Fco, Fco-Arc, Fco-Arc-Ar
pH óptimo	6,5 a 7,5	5,5 a 7,5	5,5 a 7,5
Salinidad	Sin	Sin	Medianamente tolerante
Profundidad efectiva del suelo	Moderadamente profundos	Profundos	Profundos
Drenaje del suelo	Bueno, soporta mal drenaje	Buen drenaje	Buen drenaje
Pendiente	0 a 5 %	hasta 25 %	0 a 12 %
Pedregosidad del suelo	Sin	Sin	Sin
Topografía	Planos y casi planos	Medianamente ondulados	Planos, casi planos y ligeramente ondulados
Nivel freático del suelo	Medianamente profundos	Profundo	Profundo
Época de siembra del cultivo	Diciembre a enero; junio a julio (con riego)	Diciembre a enero; mayo a junio	Todo el año
Época de cosecha del cultivo	Mayo a junio; septiembre a octubre (con riego)	Abril a mayo; septiembre a octubre	Todo el año
Duración del ciclo del cultivo	120 a 140 días	120 días	10 a 30 meses

*Arc: arcilloso; Fco-Arc: franco arcilloso; Arc-L: arcillo limoso; Fco-L: franco limoso; Fco: franco;Fco-Ar: franco arenoso; Fco-Arc-L: franco arcillo limoso; Fco-Arc-Ar: franco arcillo arenoso

Fuente: Villavicencio y Vázques, 2008; Gómez, 1985.

Cultivo de caña de azúcar (Saccharumoficina rumL.)

En el sector agrícola, este cultivo es parte de las principales cadenas agroproductivas El aprovechamiento industrial de la caña de azúcar en Ecuador se dedica a la obtención de azúcar cruda, blanca, refinada, alcohol, melaza y panela (MAGAP-CGSIN, 2016c).

Superposición de mapas

Se realizó la unión entre el mapa geopedológico con los mapas de isotermas e isoyetas, mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esto permitió fusionar las capas de información de los tres mapas, para producir un cuarto mapa con polígonos que contenían información geopedológica y de clima. Este proceso facilitó la creación de información de utilidad, para el desarrollo del modelo agroecológico.

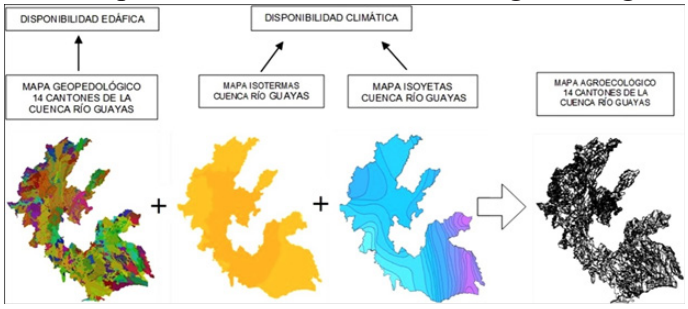

Figura 2. Descripción gráfica del proceso de unión de los mapas.

ELABORACIÓN DEL LENGUAJE ESTRUCTURADO DE CONSULTA (SQL)

Este modelo agrológico es una función matemática en el que, dentro de un SIG, a partir del lenguaje estructurado de consulta a los atributos del mapa agroecológico, se va generando las zonas óptimas, las cuales poseen las mejores condiciones edafológicas y climáticas naturales para el desarrollo del cultivo. El resultado final es la obtención de áreas representadas en mapas por tipo de cultivo (Figura 3). Este modelo permitió tener un mejor control al definir las áreas, ya que limita la selección en función de los requerimientos del cultivo a zonificar.

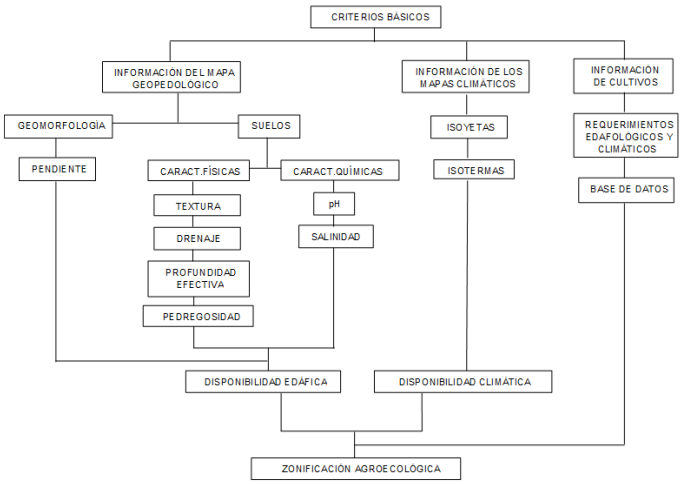

Figura 3. Modelo de zonificación agroecológica

RESULTADOS

Del estudio de zonificación, realizado en base al mapa agroecológico de los 14 cantones (692 461 ha), se obtuvo: 50 682 ha (7,3 % del área de estudio) corresponden a zonas agroecológicamente aptas para el cultivo de arroz; 103 992 ha (15 %) para el cultivo de maíz y 24 188 ha (3,5 %) para el cultivo de caña de azúcar. Los cantones que poseen características aptas para el desarrollo de los 3 cultivos son Alfredo Baquerizo Moreno y Milagro (Tabla 2).

Tabla 2. Ocupación agroecológica apta para cultivos en cada cantón

Provincia	Cantón	Arroz (*Oriza sativa* L.)	Maíz (*Zea mays* L.)	Caña (*Saccharum oficinarum* L.)
		Superficie* (%)		
Los Ríos	Babahoyo (108 730 ha)		7,9	9,4
	Balzar (118 617 ha)		20,1	5
Guayas	Alfredo Baquerizo Moreno (21 853 ha)	6,8	7,9	13,1
	Colimes (75 812 ha)		10,3	
	Daule (46 207 ha)			
	Lomas de Sargentillo (5 677 ha)			
	Milagro (40 514 ha)	23,8	24	34,6
	Naranjito (22 454 ha)		9,2	12,3
	Palestina (19 415 ha)			
	Samborondón (36 800 ha)	17,4		
	Santa Lucía (35 786 ha)	6,8		
	Simón Bolívar (29 192 ha)		7,9	24,4
	San Jacinto de Yaguachi (50 999 ha)	30,9		
	Vinces (69 667 ha)			

*Respecto al área total del cantón.

ARROZ

Las zonas aptas para el cultivo de arroz representan 50 682 ha, que corresponden al 7,3 % del total de la superficie de los catorce cantones (Figura 4). Se encuentran, principalmente, en las formas de relieve como nivel ligeramente ondulado, nivel ondulado con presencia de agua, nivel plano, dique o banco aluvial, valles fluviales y valles indiferenciados, con pendientes que van desde 0 a 5 %. En estas zonas se encuentran tres órdenes de suelos: Inceptisols, Vertisols y Mollisols (Tabla 3).

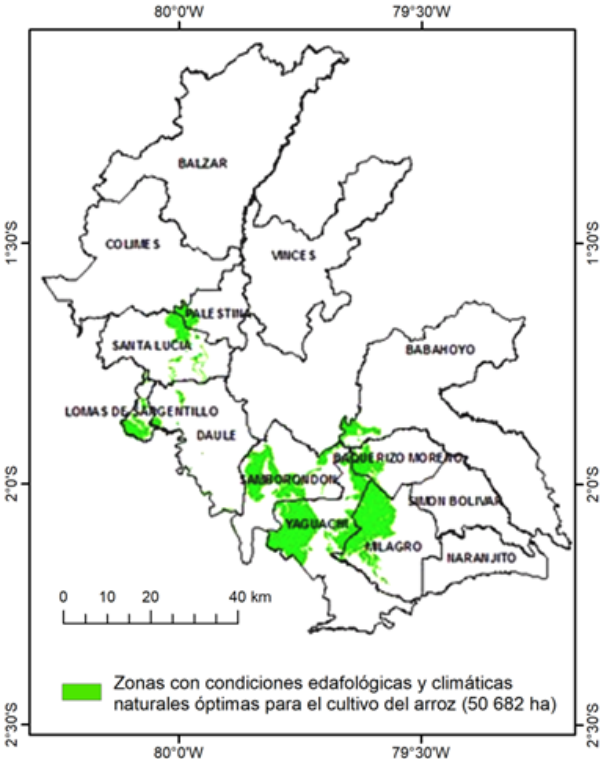

Figura 4. Zonificación agroecológica del arroz.

Tabla 3. Suelos en zonas con alto potencial para cultivar Oriza sativa L.

Taxonomía*		Superficie (%)**	Características edafológicas generales
Orden	**Subgrupo**		
Inceptisols	FluventicHaplustepts	25,7	Texturas finas a medias Drenaje bueno, moderado y malo pH*** neutro y prácticamente neutro
	VerticHaplustepts	7	
	FluventicEndoaquepts	5,4	
	FluventicEutrudepts	5,4	
Vertisols	AquicHapluderts	11,8	
	TypicHapluderts	15,9	
	TypicHaplusterts	5,4	
Vertisols/ Inceptisols	Asociación TypicHaplusterts + VerticEndoaquepts	15,9	
Mollisols	FluventicHapludolls	15,9	

*Según el Soil Survey Staff (2014).

*Respecto a 50 682 ha de zonas aptas para el cultivo del arroz.

**pH: potencial Hidrógeno

MAÍZ

Para el cultivo de maíz, las zonas aptas representan 103 992 ha (15 % del total de la superficie de los catorce cantones) (Figura 5). Los suelos dominantes de estas zonas corresponden a los órdenes Mollisols, Inceptisosl y Entisols (Tabla 4), los cuales se encuentran en unidades geomorfológicas como dique o banco aluvial, nivel ligeramente ondulado, nivel ondulado con presencia de agua, relieve colinado bajo, relieve ondulado colinado muy bajo, superficie de cono de esparcimiento, superficie disectada y superficie poco disectada, con pendientes que van desde 0 a 25 %.

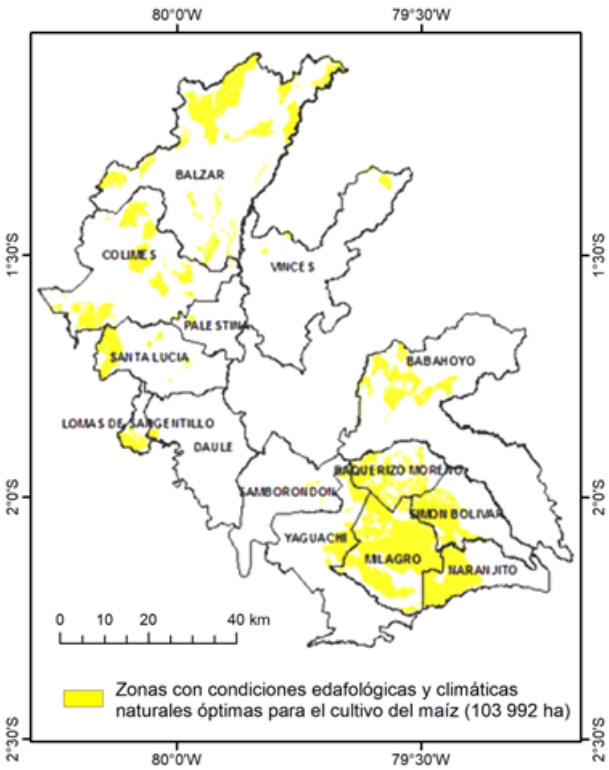

Figura 5. Zonificación agroecológica del maíz.

Tabla 4. Suelos en zonas con alto potencial para cultivar Zea Maiz L.

Taxonomía*		Superficie ** (%)	Características edafológicas generales
Orden	**Subgrupo**		
Mollisols	FluventicHapludolls	19,4	Texturas medias, con bueno y moderado drenaje, pH*** medianamente ácido a prácticamente neutro
Inceptisols	FluventicHaplustepts	14,1	
	VerticHaplustepts	11,5	
	FluventicEutrudepts	10,7	
Entisols	MollicUstifluvents	6,0	

*Según el Soil Survey Staff (2014).

**Respecto a 103 992 ha de zonas aptas del cultivo de maíz.

***pH: potencial Hidrógeno

CAÑA DE AZÚCAR

Para el cultivo de la caña de azúcar el porcentaje de superficie apta es el 3,5 % del total de la superficie de los catorce cantones (24 188 ha) (Figura 6). Los suelos que dominan estas zonas aptas son los órdenes Mollisols, Inceptisols y Entisols (Tabla 5), los cuales se ubican sobre los diques o bancos aluviales, niveles ligeramente ondulados, niveles ondulados con presencia de agua, superficies de cono de esparcimiento, terrazas y valles fluviales con pendientes que van desde 0 a 5 %.

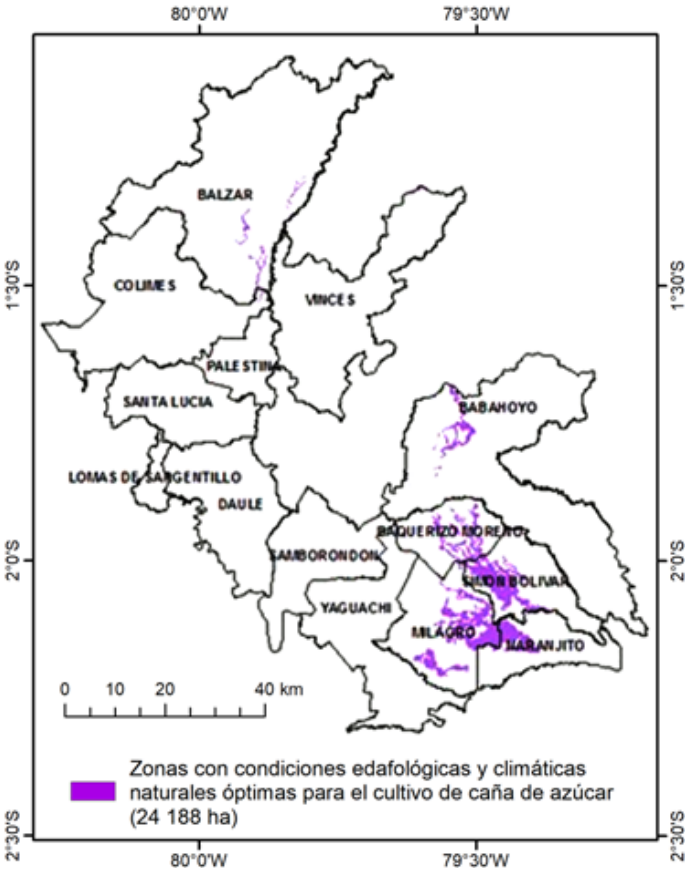

Figura 6. Zonificación agroecológica de la caña de azúcar.

Tabla 5. Suelos en zonas con alto potencial para cultivar Saccharum oficinarum L.

Taxonomía*		Superficie** (%)	Características edafológicas generales
Orden	**Subgrupo**		
Inceptisols	FluventicEutrudepts	34,0	Texturas francas, con bueno y moderado drenaje, pH*** medianamente ácidos a prácticamente neutros
	HumicDystrudepts	16,6	
Entisols	TypicUstifluvents	1,2	
Mollisols	TypicHapludolls	3,8	
	FluventicHapludolls	43,4	

*Según el Soil Survey Staff (2014).

**Respecto a 24 188 ha de zonas aptas para el cultivo de caña de azúcar.

***pH: potencial hidrógeno

DISCUSIÓN

De acuerdo a los datos de uso actual (IEE, 2018), realizados para los cantones mencionados con excepción de Balzar y Vinces (500 294 ha), actualmente se encuentran 180 504 ha cubiertas con cultivos de arroz (36,1 %), 10 600 ha con cultivos de maíz (2,1 %) y 45 511 ha bajo cultivo de caña de azúcar (9,1 %). De la comparación aptitud versus uso actual, se identificaron tres categorías. La primera, que son zonas donde la aptitud y el uso coinciden: 29 540 ha para el cultivo del arroz (6 % con respecto al área de estudio -exceptuando los cantones Balzar y Vinces-, es decir, 500 294 ha), 1 840 ha para el cultivo del maíz (0,4 %) y 4 189 ha para la caña de azúcar (0,8 %). La segunda categoría corresponde a zonas donde se siembra el cultivo pero en tierras no aptas para el mismo, así: 150 963 ha utilizadas para el cultivo del arroz (30,2 %); 8 760 ha para el cultivo del maíz (1,7 %) y 41 322 ha para el cultivo de caña de azúcar (8,3 %), en las cuales las decisiones del uso del suelo han sido basadas en consideraciones económicas, sin tomar en cuenta la capacidades de carga de la tierra (vocación natural). Y la tercera categoría, son zonas donde a pesar de ser tierras aptas no se encuentra el cultivo, siendo, actualmente, ocupadas por otros ecosistemas agrícolas o naturales, es decir, estas son áreas potenciales de expansión, así: 21 142 ha para el cultivo del arroz (4,2 %), 80 116 ha para el maíz (16 %) y 18 593 ha para la caña de azúcar (3,7 %).

En este sentido, se detecta que existe un conflicto de uso, ya expuesto por MAGAP (2016), en el que evidencia que existen áreas que siendo aptas para determinado uso, son utilizadas para un fin diferente, limitando el aprovechamiento pleno de su potencial productivo.

Por lo anterior, se puede explicar, por ejemplo, la baja productividad en dos de los tres cultivos en estudio como se refleja en los datos expuestos en el párrafo anterior, sobre todo en las áreas donde existe la falta de concordancia entre la aptitud y el uso de la tierra. Así, en el Ecuador, según FAO, en el año 2018, los rendimientos promedios para el arroz fue de 4 t/ha, para el maíz 3 t/ha y para la caña de azúcar 82 t/ha; mientras sus rendimientos potenciales son de 11 t/ha, 10 t/ha y 150 t/ha, respectivamente. Así mismo, comparando con la productividad de Colombia y Estados Unidos, se puede concluir que, los rendimientos nacionales de maíz y arroz no son los adecuados como para ser competitivos; mientras que para el cultivo de caña de azúcar, su productividad se encuentra dentro del rango óptimo; ya que, según la FAO, para el mismo año, en Colombia, el cultivo de arroz alcanza las 5 t/ha y 88 t/ha para la caña de azúcar, y en Estados Unidos se consiguen 10 t/ha para el maíz.

Cabe indicar que, de acuerdo al análisis realizado con la información de sistemas de producción, generados por el proyecto (IEE, 2018), para los cultivos en estudio en la zona de la cuenca baja del río Guayas, se puede decir, también, que la baja productividad no sólo se debe a la falta de concordancia entre aptitud-uso, sino a otros factores como los sistemas de producción utilizados; para los cultivos de arroz y maíz, los sistemas mercantil (basado en autoconsumo y empleo de mano de obra familiar) y combinado (poco mecanizado, producción destinada al mercado nacional) son los más utilizados; mientras que para el cultivo de caña de azúcar, el sistema empresarial (inversión en alta tecnología, uso de mano de obra asalariada, agricultura intensiva y productos destinados a mercados internacionales) es el que domina.

Complementando lo anterior, Acosta, Correa, Falconí y Ramírez (2006) exponen, mediante indicadores, que la mayor parte de la población rural del país carece de beneficios, tomando como base de análisis la Unidad Productiva Agropecuaria (UPA) -en el país existen 843 000 UPAs-: sólo el 7,4 % tiene acceso al crédito, 6,8 % a asistencia técnica, 13,5 % acceso a riego, así como, el 63 % tiene hogares con déficit de servicios básicos y un 80 % tiene acceso a carreteras no pavimentadas que dificultan el acceso y distribución de sus productos agrícolas. Como consecuencia se realizan prácticas de manejo

inadecuadas; adicionalmente, no poseen los elementos necesarios, ni el apoyo para mitigar los efectos de los fenómenos naturales extremos, como las sequías e inundaciones; por lo tanto, el potencial del cultivo no alcanza su rendimiento óptimo. Esto confirma lo expuesto por Enger y Smith (2006) al mencionar que si los ecosistemas agrícolas se administran mal la productividad puede caer por debajo de la que había en el ecosistema natural.

Un caso especial es el cultivo de caña de azúcar, en el cual predomina el sistema de producción empresarial, lo que demuestra que al existir inversión y al aplicar buenas tecnologías, aún en zonas sin condiciones naturales óptimas, se pueden obtener rendimientos competitivos. Indicando que al ubicar este cultivo en zonas agroecológicamente adecuadas, de acuerdo a sus requerimientos edáficos y climáticos, se puede llegar a un máximo potencial, reduciendo costos de producción. Principio que sería aplicable a otros cultivos.

Por otro lado, para asegurar la soberanía alimentaria del país se necesita de la provisión de productos básicos para los programas de alimentación. Saltos y Vázquez (2009) mencionan que los pequeños y medianos productores, los cuales poseen unidades productivas agrícolas menores de 20 ha, juegan un rol fundamental, ya que proveen el 51 % de los alimentos que se consumen en el país, dentro de los que se encuentran el arroz (33,1 %) y el maíz duro (26,9 %). Mientras que los productores que poseen entre 20 y 50 ha, y los que poseen más de 50 ha, proveen el 16 % y el 33 % de estos alimentos, respectivamente. Y como dice el edafólogo Cortés (2004): "una población débil, desnutrida, analfabeta, desposeída de su terruño o minifundista, carente de crédito, víctima de intermediarios inescrupulosos, explotada por caciques políticos, líderes religiosos o terratenientes con mentes feudales, no tiene la capacidad de utilizar racionalmente los recursos naturales".

Chonchol (2004) establece que para incrementar la autosuficiencia de alimentos básicos es necesario asegurar a la población rural un ingreso que les permita satisfacer sus necesidades alimentarias y de otro tipo. Por lo que, en el artículo 410 de la Constitución de la República del Ecuador (Asamblea Constituyente, 2008), se establece que el Estado apoyará a los agricultores y comunidades rurales, en el desarrollo de prácticas agrícolas que se enfoquen en la conservación y restauración de suelos, así como también en la promoción de la soberanía alimentaria, amparando así a la población rural.

En esta zonificación se determinaron únicamente áreas óptimas para los cultivos en estudio, las cuales presentan características naturales adecuadas para su desarrollo, ya que como lo mencionan Enger y Smith (2006): "…cada porción de tierra tiene cualidades específicas, basadas en su ubicación y conformación física, así algunos terrenos son valiosos por las especies únicas que habitan en ellos y otros tienen un potencial fuera de lo común para la agricultura".

Es así que, el interés del presente estudio es cambiar el enfoque actual de expansión de la frontera agrícola de forma horizontal a una vertical, es decir, tal y como lo menciona Cortés (2004): "Aumentado la producción por unidad de superficie en las tierras de verdadera vocación agrícola", especialmente, en las zonas donde coincide la aptitud natural (zonificación propuesta) con el uso actual de los cultivos en estudio (arroz, maíz, caña de azúcar); con lo cual se obtendrán mejores rendimientos y, de esta manera, ser competitivos con estos productos, asegurando, en primer lugar, las necesidades alimentarias del país con productos estratégicos de la canasta básica familiar; así como, incrementando las exportaciones con los excedentes, contribuyendo a la reducción de la dependencia alimentaria de productos importados, regulando también la balanza comercial a favor del país, es decir, aumentando el ingreso de divisas.

De esta forma se cumpliría, lo escrito en la Constitución (Asamblea Constituyente, 2008), la cual menciona que es obligación del Estado garantizar la soberanía alimentaria del pueblo ecuatoriano (artículo 281), así como también, el evitar la destrucción de bosques o ecosistemas naturales, para convertirlos en ecosistemas agrícolas, ya que según el artículo 400, se declara de interés público la conservación de la biodiversidad.

CONCLUSIÓN

Con este enfoque, se planteó la determinación de zonas aptas para los cultivos de arroz, maíz y caña de azúcar en 14 cantones ubicados en la cuenca baja del río Guayas, en donde se propone ampliar la frontera horizontal hacia zonas con condiciones naturales óptimas, ampliando además la frontera vertical, es decir, aumentando la producción por unidad de superficie, tomando también en cuenta aspectos como inversión en tecnología, capacitación, sistemas de riego, uso racional de agroquímicos, uso de variedades mejoradas, acceso al crédito; así como

también, la articulación a mercados estables y con precios justos. Es necesario el desarrollo de estudios a detalle que generen información temática actualizada del territorio para que quienes toman decisiones tengan más herramientas de planificación.

REFERENCIAS

- Acosta, A., Correa, R.,Falconí, F., Jácome, H. y Ramírez, R. (2006). El rostro oculto del TLC. Quito: AbyaYala.
- Asamblea Constituyente. (2008). Constitución de la República del Ecuador
- Chonchol, J. (2004). La soberanía alimentaria. En F. Hourttar (Ed), Globalización agricultura y pobreza. (pp.55-72) Quito, Ecuador: AbyaYala.
- Cortés, A. (2004). Suelos Colombianos: una mirada desde la academia. Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Recursos Naturales.
- De La Rosa, D. (2008). Evaluación agro-ecológica de suelos. Madrid: Mundi-Prensa.pp 103-116.
- Enger, E. y Smith, B. (2006). Ciencia Ambiental: un estudio de interrelaciones. Edición 10. México: Mc Graw-Hill.
- Espinosa, J., Moreno, J., y Bernal, G. (2018). The Soils of Ecuador. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-25319-0. ISSN 2211-1255.
- FAO (1997). Zonificación agroecológica. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Servicio de Recursos, Manejo y Conservación de Suelos. Boletín de Suelos número 73, Italy. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/W2962S/W2962S00.htm (Consultado enero 2018).
- FAO (2016). Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen Técnico. Roma. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf (Consultado en junio 2018).
- FAO (2018). FAOSTAT. Food and Agriculture Data. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: www.faostat.fao.org (Consultado en enero 2018).
- Gómez, J. (1985). Requerimientos ecológicos para algunos cultivos en el Ecuador. Quito: MAG-PRONAREG.
- González, A. (2010). Generación de geoinformación para la gestión del territorio y valoración de tierras rurales de la cuenca del río Guayas, escala 1: 25 000 (diapositivas). Presentado en reunión preparatoria para el atlas de suelos de Latinoamérica. Disponible en: http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/Library/Maps/LatinAmerica_Atlas/Meeting2010/08Sep/1_D%20Solos%20EQUADOR.pdf (Consultado en enero 2018).
- González, H. A. y Hernández, J. R. (2016). Zonificación agroecológica del Coffea arabica en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 53, Instituto de Geografia, UNAM, México, pp. 105-118. DOI: 10.14350/rig.49329
- Graetz, H. A. (2008). Suelos y fertilización. Trillas. México. pp. 95-97.
- IEE (2018). Proyecto "Generación de geoinformación para la gestión del territorio". Cartografía temática: Geomorfología, geopedología, clima e hidrología. Instituto Espacial Ecuatoriano. Disponible en: http://www.ideportal.iee.gob.ec/ (Consultado en enero 2018).
- INEC (2016). Compendio estadístico 2016. Ecuador. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- Jiménez, C. A., Vargas, T., Salinas, C., Aguirre, M. y Rodríguez, C. (2004). Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. Investigaciones Geográficas. Boletín, num. 53, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 58-74.
- Macias, F. (2015). Retos y oportunidades de la ciencia del suelo: aprendiendo de los suelos, aprendiendo de la naturaleza. Spanish Journal of Soil Science.Vol. 5, No 1. DOI:10.3232/SJSS.2015.V5.N1.01
- MAGAP-CGSIN (2014a). Zonificación agroecológica económica del cultivo de maíz duro (Zea mays L.) en el Ecuador a escala 1: 250 000. Resumen Ejecutivo. Ecuador. Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca. Coordinación General del Sistema de Información Nacional. http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/zae/maiz_duro.pdf (Consultado en enero 2018).
- MAGAP-CGSIN (2014b). Zonificación agroecológica económica del cultivo de arroz (Oryza sativa L.) en el Ecuador a escala

1: 250 000. Resumen Ejecutivo. Ecuador. Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca. Coordinación General del Sistema de Información Nacional. http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/zae/arroz.pdf (Consultado en enero 2018).

- MAGAP (2016). La política agropecuaria ecuatoriana: Hacia el desarrollo territorial rural sostenible 2015-2025, I Parte. Ecuador. Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca. Disponible en: http://servicios.agricultura.gob.ec/politicas/La%20Pol%C3%ADticas%20Agropecuarias%20al%20%202025%20I%20parte.pdf (Consultado en enero 2018).
- MAGAP-CGSIN (2016a). Boletín situacional Arroz. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acualcultura y Pesca. Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2016/boletin_situacional_arroz_2015.pdf (Consultado en enero 2018).
- MAGAP-CGSIN (2016b). Boletín situacional Maíz. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acualcultura y Pesca. Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2016/boletin_situacional_maiz_duro_seco_2015.pdf (Consultado en enero 2018).
- MAGAP-CGSIN (2016c). Boletín situacional caña de azúcar. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acualcultura y Pesca. Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2016/boletin_situacional_cana_azucar_2015.pdf (Consultado en enero 2018).
- Montaño, M., y Sanfeliu, T. (2008). Ecosistema Guayas (Ecuador). Medioambiente y sostenibilidad. Revista Tecnológica ESPOL. Vol. 21, núm. 1, pp. 1-6. Disponible en http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/131/75 (Consultado en enero 2018).
- Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M., y Poch, R. M. (2014). Edafología: uso y protección de suelos (No. 631.4 P839ed). Mundi-Prensa.
- Saltos, N., y Vázquez, L. (2009). Ecuador su realidad. Fundación de Investigación y Promociones Sociales "José Peralta". Quito Ecuador.
- SENPLADES (2017). Plan Nacional de Desarrollo, 2017-2021 "Toda Una Vida". Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Disponible en: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf (Consultado en enero 2018).
- Soil Survey Staff (2014). Keys to Soil Taxonomy. United States Departament of Agriculture. Natural Resources Conservation Service.
- Villavicencio, A., y W. Vásquez, W (2008). Guía técnica de cultivos: Manual No. 73 Quito: INIAP. Disponible en:http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/851 (Consultado en enero 2018).