

VETAS DE ARENA EN LA PLANICIE COSTERA DEL PACÍFICO SU DIGITALIZACIÓN: UNA HERRAMIENTA PARA TOMA DE DECISIONES

Braulio Villatoro¹; Pablo Valiente²; Carlos Consuegra³; Carlos Ramirez⁴; Pablo de León⁵; José del Cid⁶; Byron Aquino⁷; Mauricio Rodríguez⁸; Ismael Molina⁹; Juan Carlos Monzón¹⁰

¹Especialista en SIG CENGICAÑA; ²Prácticante EFA; ³EPS-FAUSAC; ^{4,5,6,7,8,9,10}Técnicos de SIG de los Ingenios Tululá, Palo Gordo, Magdalena, La Unión, Pantaleón-Concepción, San Diego y Santa Ana

INTRODUCCIÓN

El 98 por ciento de la zona cañera guatemalteca se encuentra asentada en la planicie costera del Pacífico; región caracterizada por poseer suelos muy fértiles que favorecen la agricultura intensiva. Una de las características principales de esta zona es la predominancia de áreas con depósitos aluviales que arrastran los cauces de los ríos de la parte más alta de la zona, específicamente de la cordillera volcánica del país. Esta característica junto al relieve y el clima –entre otras - influyeron en la formación y distribución de los suelos (CENGICAÑA, 1996).

La zona cañera se encuentra en las siguientes regiones fisiográficas: Llanura aluvial de los ríos Icán-Nahualate-Madre Vieja, Llanura Aluvial del río María Linda, Abanico aluvial de los ríos Coyolate-Acomé-Achiguate y Abanico aluvial del río los Esclavos; cada uno de estos abanicos se divide en 3 partes; vértice, media y distal.

A lo largo del tiempo en el proceso de formación de los suelos de la zona cañera han ocurrido diversos deslaves o inundaciones, principalmente

en los estratos bajo y litoral, lo cual ha dado origen a depósitos de arena en el perfil de los suelos, conocidos como vetas de arena. Según Castro, (Castro *et al.*, 2007), las vetas arenosas constituyen áreas físicas definidas y diferenciadas por uno o más estratos de arena en el perfil del suelo. Los análisis de textura realizados en el laboratorio de CENGICAÑA, muestran que los porcentajes de arena medidos en estos suelos son mayores de 90 por ciento. En las áreas con vetas de arena se observa un rompimiento en la capilaridad, que provoca un estrés precoz en la caña de azúcar. Normalmente, los rendimientos decrecen alrededor de un 20 por ciento en comparación con un suelo sin presencia de vetas.

Las vetas arenosas se identificaron por medio de fotointerpretación de la fotografía aérea digital ortorectificada (ortofoto) generada por el MAGA en el 2006. Las vetas identificadas dentro de las áreas administradas por los ingenios en los cuatro estratos altitudinales fueron digitalizadas utilizando ArcGIS 9.3, a una escala de trabajo 1:2,500. Al generar el mapa de vetas de la zona cañera, se determinó que existen dos tipos de vetas que pueden ser identificadas, las superficiales y subsuperficiales. Las vetas fueron identificadas indirectamente, mediante la observación de las diferencias en coloración de la caña de azúcar. Para validar las vetas identificadas en la fotointerpretación, se programaron muestreos de validación en campo y revisión por parte de los usuarios.

OBJETIVO

Obtener el shapefile de las vetas de arena de la zona cañera de la costa sur de Guatemala a través de la digitalización, validación y cuantificación de las mismas en el área administrada por los ingenios.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolló a través de cuatro etapas: 1.) Obtención de información geográfica, 2.) Digitalización de vetas de

arena en lotes bajo administración de los ingenios, 3.) Validación de las vetas digitalizadas y 4.) Cuantificación de área de las vetas de arena a nivel de estratos altitudinales, ingenios y zonificación agroecológica.

Obtención de información geográfica

La digitalización de las vetas de arena se hizo utilizando como base las ortofotos de Guatemala que generó el MAGA. Las ortofotos se obtuvieron de fotografías aéreas tomadas

entre noviembre-2005 y abril-2006; se generaron 3 tipos: RGB (color normal), (CIR) infrarojo y DEM (Modelo de Elevación Digital). Estas ortofotos las obtuvo CENGICAÑA a través de un acuerdo de cooperación con la UPGGR-MAGA. (CENGICAÑA, 2008). También se realizó la actualización de los shapefiles del área administrada de los ingenios que comparten su información con CENGICAÑA. Para la cuantificación del área se utilizaron capas de información generadas por CENGICAÑA; siendo las capas de estratos altitudinales (CENGICAÑA, 2009) y zonificación agroecológica (Villatoro *et al.*, 2010)

Digitalización de vetas de arena en lotes bajo administración de los ingenios.

Con las ortofotos de tipo RGB (color normal) y CIR (color infrarojo) fué posible observar la presencia de vetas en los lotes cultivados con caña como se observa en la Figura 1.

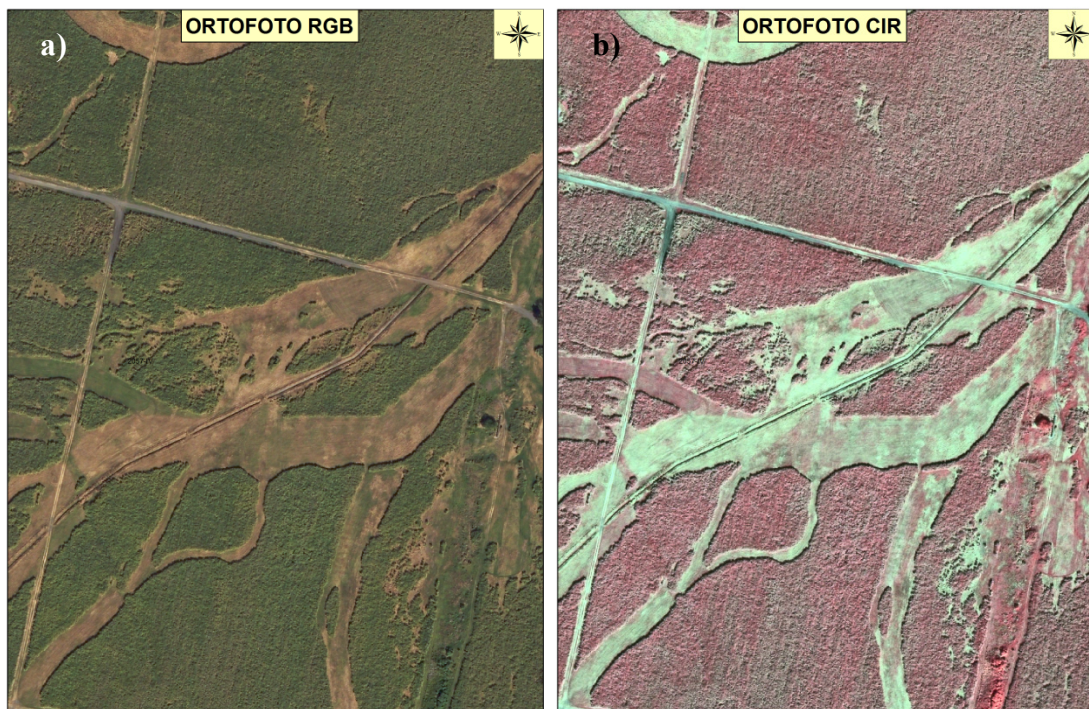


Figura 1. Ortofotografía tipo RGB donde se observan Ortofotografía tipo CIR donde se observan las vetas de arena a) y las vetas de arena b)

¹La **ortofotografía** (del **griego** *Orthós*: correcto, exacto) es una presentación **fotográfica** de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano **cartográfico**. Se consigue mediante un conjunto de **imágenes aéreas** (tomadas desde un avión o satélite) que han sido corregidas digitalmente para representar una **proyección ortogonal** sin efectos de perspectiva y en la que por lo tanto es posible realizar mediciones exactas, al contrario que sobre una fotografía aérea simple, que siempre presentará deformaciones causadas por la perspectiva desde la cámara, la altura o la velocidad a la que se mueve la cámara. A este proceso de corrección digital se le llama **ortorectificación**. Por lo tanto, una **ortofoto** combina las características de detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano.

Utilizando de forma combinada los dos tipos de ortofotos se procede a digitalizar¹ las vetas de arena. En la ortofoto tipo RGB la veta se observa de color amarillo, naranja o café, el cual contrasta con lo verde de la caña en un suelo sin presencia de veta. En la ortofoto tipo CIR se observa la veta con un color blanco; porque en infrarojo a mayor rojo mayor vegetación.

Para la digitalización de las vetas de arena se procedió a establecer un área mínima de muestreo, también llamada “Unidad Mínima Cartografiable” (Salitchev, 1979).

Validación de las vetas digitalizadas.

La validación consistió en la verificación de la veta

digitalizada si efectivamente era una veta o era otra la causa del cambio en el color de la vegetación de la caña (ejemplo: plagas, bajíos, acequias, inundación, etc.). La validación fue realizada en dos formas: a nivel de campo por medio de muestreos y a nivel de revisión por parte de los usuarios.

Validación a nivel de campo por medio de muestreos

Se tomaron polígonos de vetas al azar de las digitalizadas; para la fácil ubicación de estos polígonos se optó por muestrear vetas cercanas a las carreteras asfaltadas de la zona cañera y se definieron 25 puntos. Al localizar el punto se realizó un barrenamiento cada 0.20 m. hasta una profundidad de 1 m, luego las muestras se trasladaron al Laboratorio Agronómico de CENGICAÑA para verificar la textura de cada una de las muestras. Para la ubicación de las muestras se utilizó un navegador GPS y se registraron los puntos de muestreo. En cada lote se muestreó también el área sin presencia de veta para compararlos con los de las vetas y verificar que eran suelos sin la presencia de arena en el perfil.

La ubicación de los puntos de muestreo se presenta en la Figura 2 y la identificación de cada uno de los lotes se presenta en el Cuadro 1.

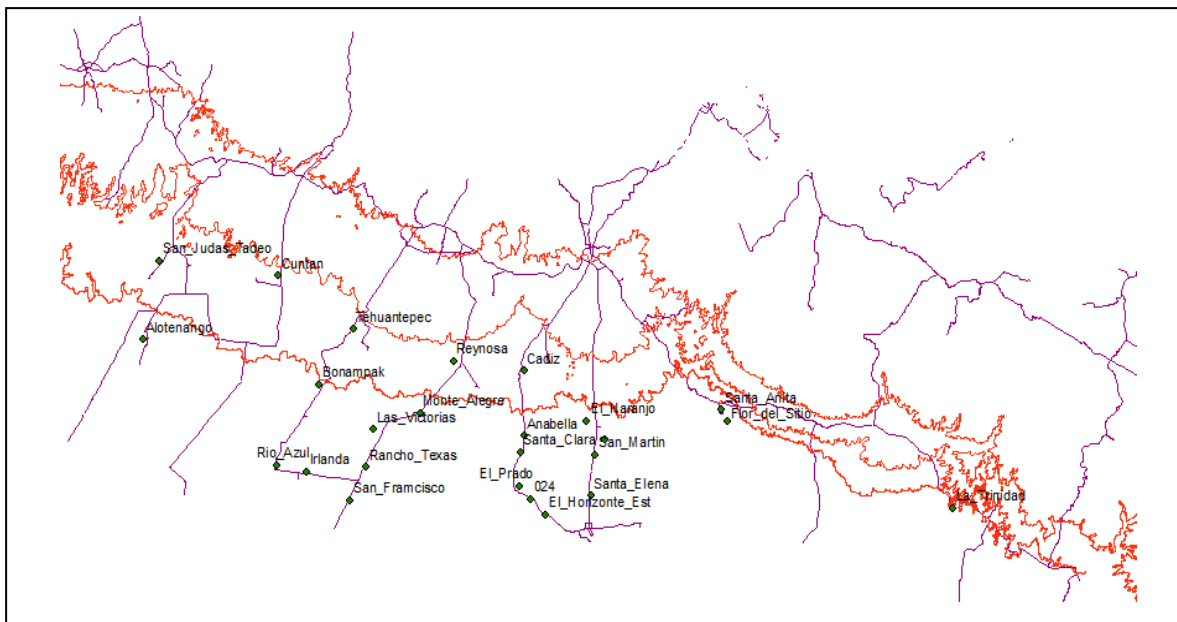


Figura 2. Ubicación de puntos de validación por medio de muestreos

¹Digitalizar hace referencia a la creación de una nueva capa de información, utilizando como base alguna fotografía aérea, ortofoto, dibujo, capa, shapefile, mapa, etc. que se encuentra debajo en un ambiente de sistemas de información geográfico, donde el 100% es área útil y se encuentra a escala.

Cuadro 1. Identificación de los lotes muestreados para la validación de campo

Punto	Ingenio	Finca	Lote	Punto	Ingenio	Finca	Lote
1	Santa Ana	Cadiz	10810108	14	La unión	Monte Alegre	17606
2	Magdalena	Anabella	1690103	15	Magdalena	San Francisco	1420409
3	Pantaleón	El Prado	0304	16	Pantaleón	Rancho Texas	0301
4	Santa Ana	El Naranjo	0170715	17	Santa Ana	Las Victorias	13400201
5	Santa Ana	Palo Pinta	11220005	18	La Unión	Río Azul	311406
6	Pantaleón	San Martín	2180201	19	Santa Ana	Irlanda	13510409
7	San Diego	Santa Elena	0160206	20	Pantaleón	Bonampak	0203
8	Pantaleón	Santa Anita	0201	21	Magdalena	Alotenango	5000203
9	Magdalena	Flor del Sitio	4150103	22	Pantaleón	San Judas Tadeo	0201
10	Magdalena	La Trinidad	3020201	23	Pantaleón	Cuntan	1602
11	Santa Ana	Santa Clara	1130002	24	La Unión	Tehuantepeq	5213
12	San Diego	024	0240401	25	Magdalena	Reynosa	0150406
13	Magdalena	El Horizonte	1470103				

Validación a nivel de usuarios

Se realizó con la ayuda del Comité de usuarios SIG de la AIA, al cual se le agradece el apoyo brindado. Se generaron mapas a nivel de finca con las vetas digitalizadas y se exportaron a un formato .jpg; estos mapas se imprimieron y se distribuyeron entre los miembros del Comité para que las personas encargadas de los campos de cultivo con la experiencia y conocimiento de las fincas confirmaran, eliminaran o dibujaran las vetas faltantes en los mapas entregados.

Al recibir la información de cada uno de los ingenios con los cambios efectuados se procedió a realizarle una limpieza al shapefile de vetas de arena; se eliminaron las áreas que no son vetas y se agregaron los áreas que se habían quedado sin dibujar al momento de la digitalización.

Cuantificación del área de las vetas

Se calculó cuanta área de veta existe en el área digitalizada a nivel de estratos altitudinales, ingenio y zonificación agroecológica; esta cuantificación es del área de pura veta, no es el área en la que se encuentra distribuida. La cuantificación se realizó utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica ArcGIS, ArcView 9.3® de ESRI.

De las 230,000 hectáreas reportadas en el análisis de la zafra 2010-2011, para este estudio no se tomaron en cuenta las áreas del ingenio Madre Tierra, por no tener la información geográfica de sus lotes tampoco se tomaron en cuenta las áreas del ingenio el Pilar mide los proveedores de caña. En la zona del Ingenio

RESULTADOS**Obtención de información geográfica**

Para la digitalización de las vetas se utilizaron 233 ortofotos. También se actualizaron los shapefiles de los ingenios que comparten su información geográfica con CENGICANA. El número de ortofotos utilizadas y el número de lotes de cada ingenio se presentan en el Cuadro 2.

Según el Cuadro 2 el número de ortofotos que representan las áreas administradas por los ingenios son relativas al área de cada uno y a la distribución de sus fincas en la zona cañera. De esa manera Magdalena y Pantaleón son los que están en mayor número de ortofotos. Por la estructura de lote que cada ingenio utiliza hace que varíe el número de lotes en cada uno.

Cuadro 2. Número de ortofotos y número de lotes por ingenio

Ingenio	No. de ortofotos	No. de lotes
LA UNION	30	2309
MAGDALENA	107	1898
PALO GORDO	23	316
PANTALEON	128	2760
SANTA ANA	63	2041
SAN DIEGO	26	636
TULULA	0	717

Validación de las vetas

Validación a nivel de muestreos de campo

Los datos de los muestreos realizados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados de laboratorio donde se observa el estrato en el que estaba la veta de arena en el perfil del punto de muestreo

Ingenio	Finca	Lote	Estrato	% Arcilla	% Limo	% Arena	Textura
Santa Ana	Cádiz	10810108	0-20	6.01	1.61	92.38	Arena
Magdalena	Anabella	1690103	20-40	5.92	1.81	92.27	Arena
Pantaleón	El Prado	0304	40-60	6.57	1.42	92.01	Arena
Santa Ana	El Naranjo	0170715	20-40	8.02	3.72	88.26	Arena Franca
Santa Ana	Palo Pinta	11220005	20-40	8.35	9.64	82.02	Arena Franca
Pantaleón	San Martín	2180201	40-60	8.41	1.49	90.10	Arena
San Diego	Santa Elena	0160206	0-20	8.53	1.36	90.11	Arena
Pantaleón	Santa Anita	0201	0-20	8.19	3.63	88.19	Arena Franca
Magdalena	Flor del Sitio	4150103	40-60	6.71	1.49	91.81	Arena
Magdalena	La Trinidad	3020201	20-40	5.88	1.77	92.35	Arena
Santa Ana	Santa Clara	1130002	0-20	8.00	7.76	84.24	Arena Franca
San Diego	024	0240401	20-40	7.98	9.84	82.18	Arena Franca
Magdalena	El Horizonte	1470103	20-40	6.02	1.82	92.16	Arena
La Unión	Monte Alegre	17606	0-20	8.30	2.17	89.52	Arena Franca
Magdalena	San Francisco	1420409	20-40	6.35	2.22	91.43	Arena
Pantaleón	Rancho Texas	0301	40-60	8.47	1.76	89.77	Arena Franca
Santa Ana	Las Victorias	13400201	0-20	6.71	1.49	91.8	Arena
La Unión	Río Azul	311406	20-40	6.90	2.06	91.04	Arena
Santa Ana	Irlanda	13510409	40-60	6.12	2.83	91.05	Arena
Pantaleón	Bonampak	0203	20-40	6.52	1.35	92.13	Arena
Magdalena	Alotenango	5000203	20-40	5.72	1.95	92.33	Arena
Pantaleón	San Judas Tadeo	0201	40-60	6.26	1.78	91.96	Arena
Pantaleón	Cuntan	1602	0-20	5.89	1.75	92.36	Arena
La Unión	Tehuantepec	5213	0-20	6.89	1.72	91.39	Arena
Magdalena	Reynosa	0150406	20-40	7.03	1.92	91.05	Arena

Las áreas que se muestrearon donde existe presencia de las vetas de arena fueron a nivel superficial y también a nivel sub-superficial según el estrato en el que se encontró la arena en el perfil de acuerdo a los tres estratos muestreados

Cuantificación de área de las vetas de arena a nivel de estratos altitudinales, ingenio y zonificación agroecológica.

Se cuantificó un área de 6,652 hectáreas como veta de arena de las 145,570 hectáreas que fue el área base de trabajo. El

número de vetas, la suma del área de vetas y el promedio de área/veta, por cada estrato altitudinal se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Número de vetas, suma del área de vetas y promedio de área/veta en cada estrato altitudinal de la costa sur

Estrato altitudinal	No. vetas	Área (ha)	Área/veta promedio
Alto	72	72	1.0
Medio	234	312	1.3
Bajo	742	1261	1.7
Litoral	3672	5007	1.4
TOTAL	4720	6652	1.4

En el Cuadro 4 se confirma lo indicado por Castro *et al.*, 2007, con respecto a que el mayor porcentaje de vetas se encuentran en los estratos bajo y litoral. Según el Cuadro 4 el estrato bajo tiene 19.2 por ciento y el estrato litoral 75.3 por ciento del área total. La distribución de las vetas en los estratos se puede observar en la Figura 3.



Figura 3. Mapa de vetas de arena en base a la estratificación altitudinal.

A nivel de ingenio, el número de vetas, la suma del área de vetas y el promedio de área/veta, se presenta en el Cuadro 5.

Según el Cuadro 5, los ingenios con el mayor número de vetas y mayor área de vetas son Magdalena y Pantaleón respectivamente, también se observa que el

área promedio de cada veta es de 1.4 ha/veta, estando el rango entre 0.9 y 1.9 ha/veta.

La distribución de las vetas de arena en las zonas agroecológicas se presenta en el Cuadro 6.

Según el Cuadro 6 las zonas agroecológicas con mayor presencia de vetas son: zona 35 (S10H5), zona 12 (S03H5), zona 11 (S03H4), zona 34 (S10H4) y zona 10 (S03H3); correspondiendo con las zonas que tienen mayor área sembrada con caña. El promedio de área/veta se similar al promedio por estrato y a nivel de ingenios; siendo la zona 8 (S02H4) con 4.1 hectáreas/veta la única por encima del rango.

Cuadro 5. Número de vetas, suma del área de vetas y promedio de área/veta en cada ingenio de la costa sur

Ingenio	No. Vetas	Área (ha) suma	Área/veta promedio
La Unión	275	533	1.9
Magdalena	2007	2853	1.4
Pantaleón	1429	1870	1.3
Palo Gordo	118	105	0.9
Santa Ana	584	946	1.6
San Diego	307	345	1.1
Tulula	0	0	0
TOTAL	4720	6652	1.4

Cuadro 6. Número de vetas, suma del área de vetas y promedio de área/veta en cada Zona agroecológica de la costa sur

ZAE	No. vetas	Área (ha) suma	Área/veta promedio	ZAE	No. vetas	Área (ha) suma	Área/veta promedio
0	893	1031	1.2	22	1	1	0.7
2	115	197	1.7	24	7	4	0.6
3	210	369	1.8	25	5	4	0.8
4	88	118	1.3	27	21	42	2.0
6	87	138	1.6	28	21	40	1.9
7	85	143	1.7	29	3	3	1.1
8	64	264	4.1	30	20	31	1.6
9	3	1	0.2	32	25	19	0.8
10	167	329	2.0	33	151	270	1.8
11	426	602	1.4	34	425	568	1.3
12	832	1016	1.2	35	861	1200	1.4
14	10	9	0.9	39	16	16	1.0
15	24	25	1.0	40	46	79	1.7
18	44	57	1.3	42	6	4	0.6
19	1	1	0.8	43	4	9	2.3
20	23	20	0.9	44	14	15	1.1
21	22	29	1.3	TOTAL	4720	6652	1.4

CONCLUSIONES

El área de vetas de arena en la zona cañera suman 6,652 hectáreas. Estas se encuentran en los cuatro estratos altitudinales de la zona cañera divididas de la siguiente manera: 72 hectáreas en el estrato alto, 312 hectáreas en el estrato medio, 1,261 hectáreas en el estrato bajo y 5,007 hectáreas en el estrato litoral.

A nivel de área administrada por ingenio se encuentran distribuidas de la siguiente manera: La Unión 533 hectáreas, Magdalena 2,853 hectáreas, Pantaleón-Concepción 1,870 hectáreas, Palo Gordo 105 hectáreas, Santa Ana 946 hectáreas y San Diego 345 hectáreas.

A nivel de zona agroecológica, las cinco zonas con mayor área de vetas de arena son: la zona 35 (S10H5) 1,200 hectáreas, zona 12 (S03H5) 1,006 hectáreas, zona 11 (S03H4) 602 hectáreas, zona 34 (S10H4) 568 hectáreas y zona 10 (S03H3) 329 hectáreas. En el Ingenio Tulula no se encontraron vetas de arena.

BIBLIOGRAFIA

1. Castro, OR.; Suárez, A.; Villatoro, B.; Rosales, C. 2007. Estrategias técnicas de riego para el manejo de vetas arenosas. Una aproximación de agricultura de precisión para la zona cañera guatemalteca. *In: Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2006-2007. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. CENGICAÑA. GT. p. 188-197.*
2. Castro, OR.; Rosales, C.; del Cid, J. 2008. Estudio preliminar del manejo del riego en áreas con vetas de arena utilizando sistemas mecanizados zona litoral del pacífico guatemalteco. Una oportunidad para reducir el gasto de combustible y eficientar el uso del recurso hídrico. *In: Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2007-2008. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. CENGICAÑA. GT. p. 182-193.*
3. Castro, OR.; Illescas, R.; Mansilla, M.; Toc, M.; Villatoro, B.; del Cid, J.; Rosales, C.; Monterroso, H. 2010. Manejo del riego en áreas definidas con aporte capilar del estrato litoral con fines de ahorro de agua y energía en la operación del riego. Caso Administración "La Felicidad", ingenio Magdalena. *In: Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2009-2010. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. CENGICAÑA. GT. p. 256-266.*
4. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. 2008. Informe Anual 2006-2007. Guatemala. p. 62.
5. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. 2009. Informe Anual 2007-2008. Guatemala. p. 71-76.
6. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. 2011. Informe Anual 2009-2010. Guatemala. p. 75.
7. Salitchev, KA. 1979. Cartografía. Editorial Pueblo y Educación. Cuba
8. Villatoro, B.; Pérez, O.; Suárez, A.; Castro, O.; Rodríguez, M.; Ufer, C. 2010. Zonificación Agroecológica para el Cultivo de Caña de Azúcar en la Zona Cañera de la Costa Sur de Guatemala –Primera Aproximación-. *In: Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2009-2010. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. CENGICAÑA, GT. p. 325-331.*