

## Nota técnica

# ANÁLISIS GEO-REFERENCIADO DE LA DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE MANOS POR RACIMO EN UN ÁREA BANANERA

*Kenneth Bolívar\**, *José Antonio Domínguez\**, *Alejandra Teresita Arroyo<sup>1</sup>\**, *Johan Perret\**, *Moisés Soto\**

**Palabras clave:** Agricultura de precisión, banano, indicadores fenológicos, productividad, población.  
**Keywords:** Precision agriculture, banana, phenological indicators, productivity, population.

**Recibido:** 13/02/13

**Aceptado:** 08/06/13

## RESUMEN

Resulta crucial adecuar las herramientas tecnológicas basadas en sistemas de posicionamiento global a las prácticas agrícolas para mejorar la eficiencia de producción por área, incrementando la productividad. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una metodología de análisis georeferenciado, basado en el número de manos por racimo de una finca. El trabajo se llevó a cabo la Finca Bananera de la Universidad EARTH; la metodología consistió de varias etapas: primero, se determinó la distancia máxima de muestreo con un semivariograma, calculada en 125 m; para obtener información más precisa, el muestreo se realizó a una distancia de 80 m por 50 m; se hizo la recolección de información georeferenciada de la población en un área circular de 8 m de radio, como número de manos por racimo. Se generaron mapas del comportamiento de la productividad y la densidad poblacional en el bloque 1. Se encontró mayor área dentro del rango óptimo del número de unidades productivas por hectárea. En términos productivos el 4% (5,28 ha) del área de la finca está por debajo del punto de equilibrio financiero y el 94% está por encima del punto de equilibrio. Algunas áreas

## ABSTRACT

**Geo-referenced analysis of the distribution of the number of hands per bunch in an area of banana production.** To adapt technological tools based on global positioning systems to agricultural practices is crucial to improve the efficiency of production per area, increasing the productivity levels. The objective of this project was to develop a methodology, using phenological indicators and precision agriculture, to estimate the production in the banana plantation at EARTH University. Was to generate Maps of the productivity behavior and population density were generated in Block 1. The methodology consisted of several stages: first, the maximum distance of the sampling was determined with a semivariogram, calculated at 125 m; to gather more accurate information, sampling was performed at a distance of 80 m by 50 m; geo-referenced data collection of the population was made in a circular area of 8 m radius, as number of hands per bunch. Finally, the data was interpolated to obtain maps of areas and their production rates. A larger area was found within the optimal range of the number of production units per hectare. In terms of

<sup>1</sup> Autor para correspondencia. Correo electrónico: aarroyo@earth.ac.cr

\* Universidad EARTH. Las Mercedes de Guácimo. Limón.

bajan su productividad cuando exceden las 1800 plantas. $\text{ha}^{-1}$ . Se logró desarrollar una metodología para la toma de datos a partir del índice fenológico del número de manos por racimo y de la agricultura de precisión. La herramienta identificó los puntos críticos productivos pero no los asoció a ninguna variable de suelo o climática; por lo tanto, se recomienda realizar un nuevo análisis de las zonas; incorporando otras variables de forma integrada.

production, 4% (5,28 ha) of the farm area was below the breakeven point - and 94% was above the equilibrium point. Some areas lower their productivity when they exceed the 1800 plants. $\text{ha}^{-1}$ . It was possible to develop a methodology to collect data from phenological index of number of hands per bunch and precision agriculture. The tool identified the critical production points but they were not associated with any soil or climatic variable. Therefore, it is recommended to perform further analysis of the areas, incorporating other variables in an integrated way.

## INTRODUCCIÓN

En el 2011, según cifras del Banco Central de Costa Rica (BCCR), la participación de las exportaciones bananeras dentro del total de exportaciones nacionales representó el 7,7% de éstas, y un 35% de las exportaciones agrícolas.

El cultivo de banano es una actividad originaria del sureste asiático introducida en Latinoamérica a mediados del siglo XIX. Esta actividad representó para Costa Rica un ingreso de US\$ 804 986 150 en el 2011, lo que representa un 8,1% por encima de los US\$ 744 577 337 alcanzados en el 2010. También se registró un aumento del ingreso de divisas entre 2009 y 2010 de un 18,6% (US\$ 627 610 920 en el 2009). El crecimiento en la demanda de los últimos años se ha dado como consecuencia del crecimiento poblacional y factores climáticos que afectan el desarrollo del cultivo en países productores.

En el cultivo de banano la aplicación de paquetes tecnológicos son realizados sin considerar la variación espacial desde el punto de vista nutricional del suelo y climática. Esta técnica de manejo limita el aprovechamiento potencial del suelo, el cual varía dentro de un área de producción y por lo tanto el manejo homogéneo de una finca es poco eficiente. En consecuencia se hace necesario dar un manejo específico a las

diferentes unidades de producción logrando un nivel de eficiencia mayor. No obstante, en Costa Rica, CORBANA (2011) ha promovido el uso del SIG (Sistema de Información Geográfica) en el cultivo de banano para representar la distribución de los diferentes tipos de suelo dentro de las fincas lo que permite la identificación de lotes que presentan bajos rendimientos.

Ante esta realidad nace la necesidad de aplicar la tecnología conocida como agricultura de precisión (AP). Esta se refiere al conjunto de técnicas y principios orientados a optimizar el uso de los insumos agrícolas en función de la cuantificación de la variabilidad espacial nutricional y temporal de la producción con el objetivo de mejorar la eficiencia del cultivo y la calidad ambiental (Petitgas 1996, Chartunil et ál. 2007, Castañeda 2011). El nivel de precisión dependerá de los objetivos perseguidos, de la varianza del dato en la población, y de una cuestión de costos y practicidad (Bragachini et ál. 2011). La agricultura de precisión es un concepto que incluye una serie de pasos: 1) Captura de información; 2) Análisis (Diagnóstico) espacio-temporal; 3) Diseño e Implementación de la propuesta de manejo y 4) Evaluación (económica, ambiental, transferencia de tecnología) (Castañeda 2011). Cada paso del proceso tiene sus propios requerimientos tecnológicos y conceptuales y debe adecuarse a

las prácticas de manejo agronómico de cada finca y a las condiciones existentes.

La aplicación de agricultura de precisión permitirá identificar y clasificar el comportamiento productivo y tomar acciones, por ejemplo, de erradicación o renovación de la plantación. Tal es el caso de la empresa Standard Fruit Company que ha tomado la decisión de erradicar 1 500 ha de baja productividad, donde los costos ya no dan para seguir operando, según comentó el vicepresidente legal Juan Carlos Rojas en la revista Entorno bananero (2011). Según Castañeda 2011, una de las principales limitantes para la aplicación de agricultura de precisión en el cultivo de banano es la falta de tecnologías que permitan el monitoreo por sitio específico.

Se considera fundamental en cualquier cultivo categorizar las áreas en función de la productividad para darle un manejo diferenciado. Desde sus inicios la finca comercial bananera de la Universidad EARTH cuenta con un registro de las siguientes variables: peso de los racimos, número de cintas rescatadas, chiras.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, densidad de población, análisis de suelos, foliares, entre otros. Toda esta información se ha registrado por cable de distribución de cosecha, forma tradicional de recopilar información en fincas bananeras. La información generada ha sido utilizada en el desarrollo de proyectos de investigación en la búsqueda de nuevas alternativas de producción. Hasta la fecha, los trabajos efectuados en este campo, presentan el problema en la toma de datos, ya que es necesario esperar hasta la cosecha para determinar la producción, y esta se hace por bloque y por cable generando mapas con áreas rectangulares, no propia de las variaciones del suelo y del cultivo.

Desde inicios del 2011, se ha trabajado en georreferenciar todos los bloques de producción de la finca comercial bananera de la Universidad EARTH, con el objetivo de generar mapas digitales que sirvan como base para estudios posteriores que requieran de información georreferenciada, aunque, desde el 2000 se han georeferenciado sectores de la finca de producción según diferentes objetivos.

El presente trabajo busca mostrar una metodología que permita identificar diferentes unidades de manejo productivo mediante la variable fenológica número de manos por racimo y su variación espacial (información georreferenciada). La ecuación lineal del número de manos y la productividad determinada por Cubillo (2005) permitirá estimar la productividad. Esta metodología permitirá una estimación rápida de la producción esperada y la identificación de áreas que se encuentren por debajo del punto de equilibrio financiero. Además, la identificación de áreas con diferente producción y potencial del suelo permitirá considerar la variación espacial del suelo para maximizar el uso de la tierra.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el bloque 1 de la finca comercial de la Universidad EARTH, ubicada en las mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica. La temperatura promedio anual es de 27°C y la precipitación promedio anual es de 3500 mm. Su ubicación geográfica es de 10°17'49" latitud norte y 83°37'43" longitud oeste. El área de trabajo está sembrada con diferentes variedades de banano (*Musa acuminata*) donde el predominante es el clon Williams (*Cavendish AAA*).

La distancia de muestreo se determinó a partir de un semivariograma con base en 100 muestras realizadas en campo cada 20 m aproximadamente. Se seleccionó al azar cada planta y se realizó un conteo del número de manos, seguidamente se procedió a georreferenciarla con un GPS marca Garmin 60 CSX. Los datos obtenidos en campo se ingresaron al programa SURFER 8.0 para la generación del semivariograma. Resultó que a partir de los 125 m de distancia los datos comienzan a ser espacialmente independientes, por lo tanto, la distancia óptima de muestreo para el número de manos es de 125 m (Figura 1).

Sin embargo, para efectos de una mejor distribución de los puntos en campo, los muestreos se realizaron a una distancia de 80 m de forma horizontal sobre el cable y 50 m de forma

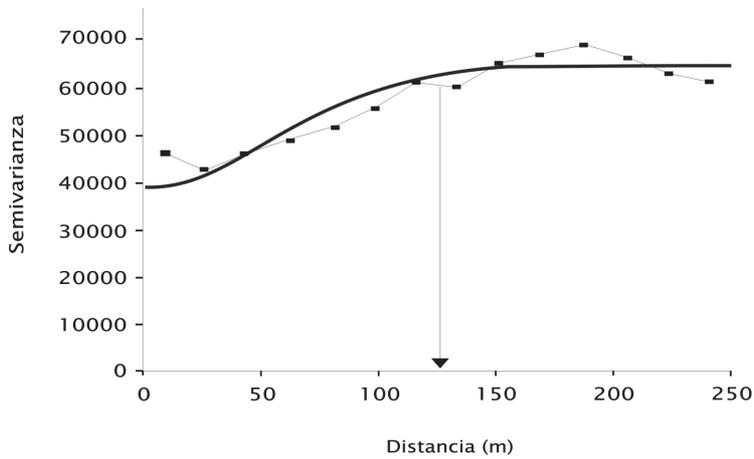


Fig. 1. Semivariograma del número de manos.racimo<sup>-1</sup>.  
 Los puntos representan los datos observados, la línea representa el modelo ajustado.

vertical (Figura 2). Este muestreo se realizó de forma simultánea en la misma área de muestreo de la población.

Para realizar el muestreo de población se definieron áreas circulares de 8 m de radio utilizando una cuerda. Se determinó la posición

geográfica del área de muestreo tomando como base su centro, con un GPS marca GARMIN 60CSx el cual tiene una precisión de 3 m de error. Se procedió a contar todas las unidades productivas (UP) encontradas dentro del área definida. Se definió un área circular por cada 0,669 ha en

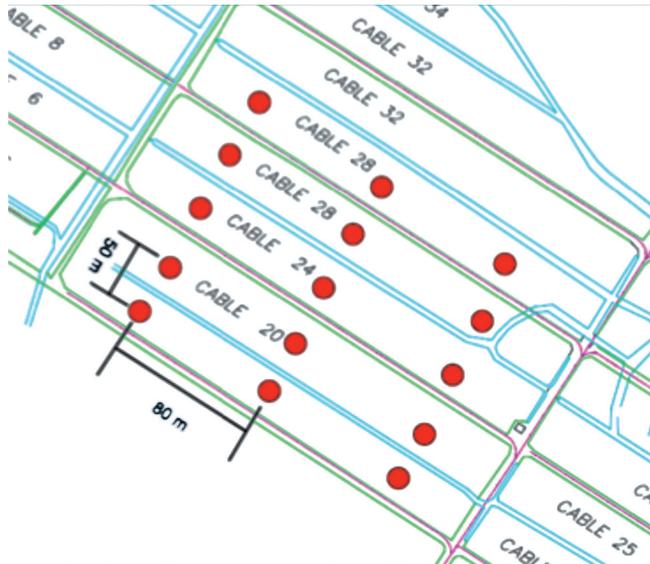


Fig. 2. Esquema del muestreo sistemático utilizado para el conteo del número de manos y población. Los puntos rojos representan los puntos de muestreo.

promedio. El total de plantas de cada área se multiplicó por el factor 49,7359 para estimar el total de UP por hectárea. El factor se obtuvo al dividir el área de una hectárea entre el área comprendida por el círculo de 8 m de radio. Con la información registrada de la población se realizaron gráficos y cálculos de porcentajes de área según una escala de clasificación que va desde muy baja a muy alta población (Cuadro 1).

Cuadro 1. Densidad de población del bloque muestreado de junio a octubre de 2011.

Rango	Descripción
<1200	Muy baja
1200-1400	Baja
1400-1600	Media
1600-1800	Normal (óptima)
1800-2200	Alta
>2200	Muy alta

Para la determinación de la productividad por hectárea, se utilizó el número de manos por racimo. En 2005, Cubillo determinó una función lineal que relaciona la productividad con el número de manos por racimo. Las variables consideradas en dicho estudio partieron de la determinación del número de manos por racimo, peso del racimo y cajas por racimos. La recolección de datos se hizo en plantas con diferentes estadios de desarrollo. Posteriormente, la información recolectada en campo se sometió a un análisis de correlación de Pearson donde se demostró que existía una correlación directa con un valor de  $r=0,73$  y estadísticamente significativa ( $p=0,0001$ ) entre el peso de la fruta y el número de manos. Además, se ajustó una análisis de regresión simple entre la productividad medida en cajas. $ha^{-1}.año^{-1}$  (y) y el número de manos por racimo (x), resultando en la siguiente función lineal:

$$Y=296,73 x + 301 \quad [1]$$

A partir de la aplicación de la fórmula [1] se obtuvieron los resultados de productividad;

esos valores fueron identificados en los mapas según una escala de clasificación de 7 rangos que va de excelente hasta por debajo del punto de equilibrio.

El punto de equilibrio financiero es la cantidad de cajas. $ha^{-1}.año^{-1}$  que se deben producir para cubrir los costos, este es un indicador que permite evaluar cada sección de la finca desde el punto de vista económico. Barrantes R. Punto de equilibrio financiero de la empresa bananera EARTH 2011. Comunicación personal. Para calcularlo se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{\text{Total ingresos}}{\text{Número de cajas}} - \frac{\text{Total costo de produc.}}{\text{Número de cajas}} \quad [2]$$

Para el análisis de los datos se utilizaron 2 tipos de programas: Surfer y Google Earth. El mapa generado en el programa Surfer considera los valores extremos Norte-sur y Este-oeste. Con el propósito de delimitar el área de interés se debe crear un Blanking file.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la información georeferenciada de la densidad de población se construyó un mapa del bloque de cultivo analizado y se identificaron los sitios de densidad que van desde muy baja (menos de 1200 UP. $ha^{-1}$ ) a muy alta (más de 2200 U. $ha^{-1}$ , Figura 3, izquierda). El 67% del área mostró una densidad óptima (1600-1800 UP. $ha^{-1}$ ), el 19% una densidad alta (1800-2200 UP. $ha^{-1}$ ), distribuida en manchones y 14% del área presenta niveles de densidad medios (entre 1400-1600) también con una distribución heterogénea. En la parte norte del bloque analizado se identifica el área de alta densidad más grande mientras que existen otras 2 áreas de menor tamaño rodeando un área de densidad media. El área de densidad media más grande se encuentra en el centro del lote (entre 10,210 y 10,216 de latitud y -83,614 y -83,610 de longitud, Figura 3, izquierda).

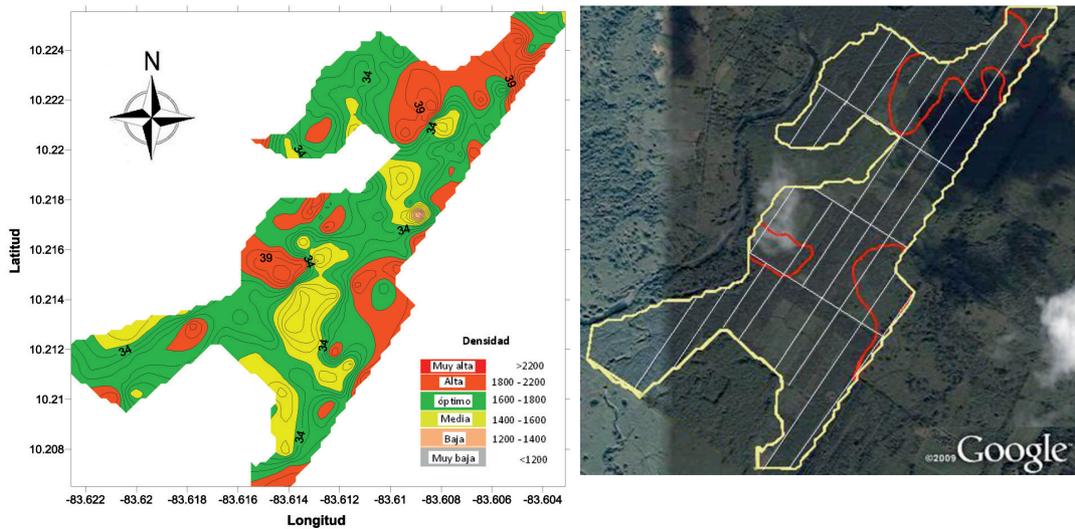


Fig. 3. Distribución espacial de la densidad de población registrada en el periodo junio-septiembre 2011 en el bloque 1 de la Finca Comercial de la Universidad EARTH (izquierda). Foto aérea del área del bloque 1 de la Finca Comercial de la Universidad EARTH de contorno amarillo y áreas con alta densidad de población de contorno rojo, derecha.

Las variaciones espaciales de densidad siguen un comportamiento independiente de los cables de cosecha, es decir que la densidad de plantas no es la misma dentro de un cable de cosecha. En la Figura 3 de la derecha, se muestra una foto aérea tomada de Google Earth (junio-setiembre 2011) de la zona, del bloque de producción analizado donde se pueden distinguir las líneas de los cables de cosecha y se observa que las áreas de alta densidad que corresponden al contorno rojo abarcan partes de diferentes cables. Como puede observarse, las 3 áreas más importantes de alta densidad no se relacionan con los cables de cosecha que cuadrículan el bloque.

El punto de equilibrio financiero de 2037 cajas.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de la finca bananera de la Universidad EARTH obtenido con la ecuación [2], se utiliza como punto de partida para determinar el número de manos que le corresponde. Aplicando la ecuación [1], para un punto de equilibrio de 2037 cajas.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> se requieren racimos con 5,85 manos.

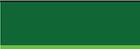
$$Y=296,73 (5,85)+301=2037 \text{ cajas.ha}^{-1}.\text{año}^{-1} \quad [3]$$

Los racimos por debajo de 5 manos son eliminados y no son considerados dentro del cálculo. Sin embargo, en el presente estudio se tomaron en cuenta las plantas sin racimos (práctica desbunche) con un valor de 5 manos.

Con la información de la productividad estimada a partir del número de manos registrado según la ecuación [1] y el valor del punto de equilibrio se generaron 7 categorías (rangos) de producción, que van desde excelente a muy por debajo del Punto de Equilibrio Financiero. (Cuadro 2).

Para el 93% del área del bloque analizado se estima una producción promedio por encima del punto de equilibrio financiero (2037 cajas.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>), 3% del área tiene una producción estimada igual al punto de equilibrio y un 4% está por debajo. Para el 42% del área se estimó una producción entre 2330 y 2526 cajas.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, mientras que para el 19% del bloque de producción analizado se estima una producción que va desde 2526-2794 racimos.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>. Por otra parte, un 32% del área del bloque muestra una producción apenas por

Cuadro 2. Distribución de la productividad del bloque muestreado de junio a octubre de 2011. Productividad esperada de acuerdo con el número de manos. Según la Función Lineal: Productividad=296,73 X Número de manos + 301.

Rango		Área		Color	Clasificación
Número de Manos	Productividad	Ha	%		
8,5-10,0	2823-3268	0,0	0		Excelente
7,2-8,4	2437-2794	27,52	19		Muy buena
6,5-7,1	2230-2408	61,37	42		Buena
5,9-6,4	2052-2200	45,37	32		Moderada
5,85	2037	4,49	3		Punto de equilibrio financiero (PEF)
5,1-5,8	1814-2022	5,28	4		Por debajo del PEF
4,0-5,0	1488-1785	0,0	0		Muy por debajo del PEF

encima del punto de equilibrio (2037-2230 cajas. ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>), por lo que debe monitorearse en forma permanente para evitar su deterioro (Cuadro 2). No hay áreas de producción con racimos de menos de 5 manos, ni con racimos de más de 8,5 manos en promedio.

En el centro del área del bloque analizado se presenta la zona de moderada producción en

sentido norte-sur, dividiéndolo en 2 áreas con mayor productividad, oeste y noreste (Figura 4). Al conocer la distribución de la productividad, es recomendable analizar las diferentes variables mediante el uso de herramientas de agricultura de precisión y tomar las medidas correctivas por medio de un modelo de las áreas de buena producción dentro del mismo lote.

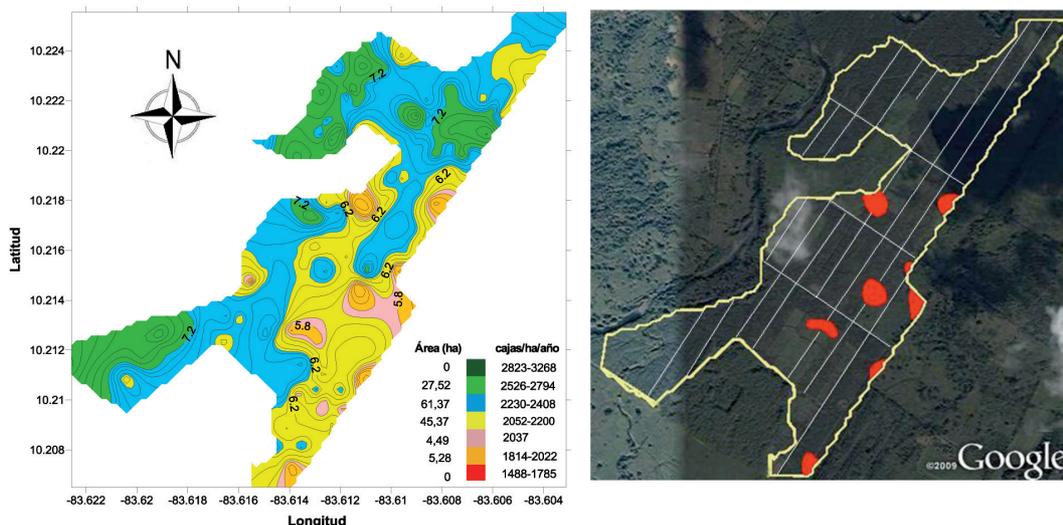


Fig. 4. Productividad obtenida a partir del número de manos por racimo registrado en el período junio-septiembre 2011 (izquierda). Foto aérea del área del bloque 1 de la Finca Bananera de la Universidad EARTH de contorno amarillo y áreas con productividad por debajo del punto de equilibrio financiero de áreas rellenas con rojo, derecha.

Las áreas por debajo del punto de equilibrio financiero, se presentan en forma de pequeñas áreas distribuidas en la parte central de la finca en sentido norte-sur. Las áreas por debajo del punto de equilibrio inciden directamente en la productividad de 2 o más cables simultáneamente, el reconocimiento de esta variación permite una evaluación más cercana a la realidad para la toma de decisiones, lo cual no se observaría en un análisis delimitado por cables (Figura 4, derecha).

Las zonas de pobre crecimiento y desarrollo de las frutas coinciden con las zonas de alta densidad. Esto podría deberse a la competencia por nutrientes y luz entre las plantas. Otro factor clave podría estar relacionado con la baja calidad del suelo presente en este bloque, que está caracterizado por una alta pedregosidad a través de los diferentes horizontes. La vida útil de la plantación presenta una estrecha relación con la calidad del suelo. Una densidad de 1600-1800 plantas.ha<sup>-1</sup> le permite expresar a la planta su potencial productivo.

No necesariamente altas poblaciones producen altas productividades, si se realiza un alto número de resiembras y estas no se desarrollan adecuadamente debido a factores ecológicos negativos, los frutos pequeños, con menos de 6 manos, deben ser eliminados por el proceso conocido como “desbunche” ya que esto afecta de forma directa la productividad además de elevar los costos de producción. En el bloque 1, algunas áreas de baja productividad están relacionadas con la alta densidad, como se puede observar en la Figura 5, las áreas encerradas A, B y C; sin embargo, no siempre se observa dicha coincidencia.

Por otro lado, si la población es baja y las plantas no crecen con suficiente vigor, se deben identificar las causas y tomar las medidas correctivas antes de repoblar, puesto que, poblaciones altas tienen un efecto negativo en la calidad de la fruta. No se han detectado áreas con bajas poblaciones sin embargo alguna áreas de población

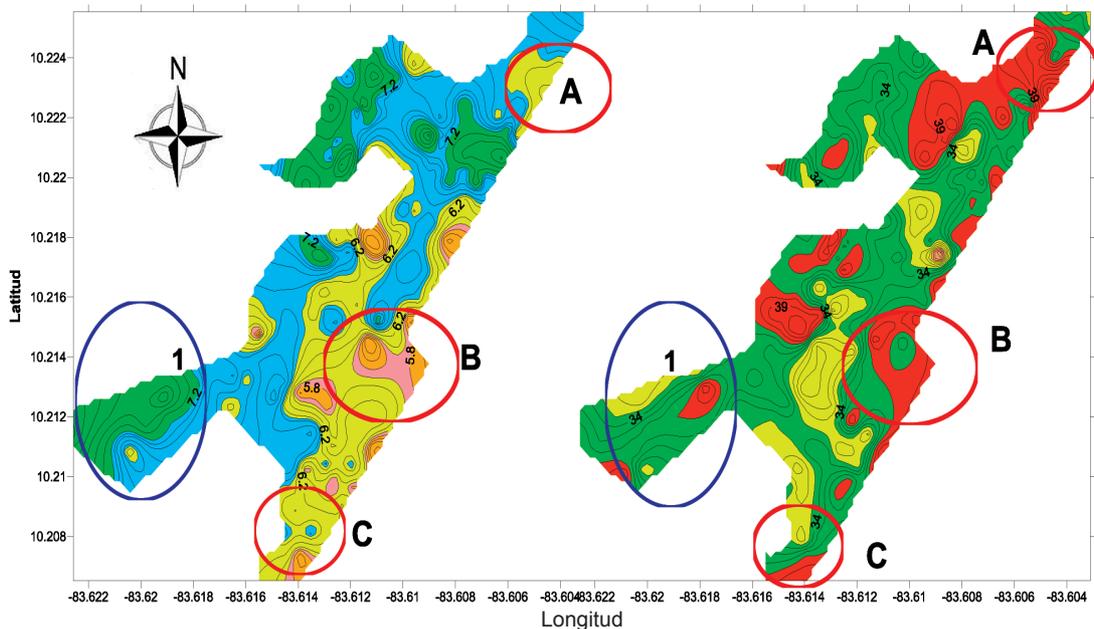


Fig. 5. Comparación de mapas de distribución, de la productividad (izquierda) y de la densidad de población (derecha) registrada en el período junio-septiembre 2011. En ambos mapas se identifican áreas de interés: A, B y C son áreas de alta densidad y baja productividad; 1 es un área de alta productividad y diferentes densidades.

media coinciden con productividades cercanas al punto de equilibrio (Figura 5).

También se ha observado el caso de productividades buenas (2230-2408 cajas.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) y muy buenas (2526-2794 cajas.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) en áreas con distintos tipos de densidades (óptimas, media y alta). Un ejemplo de ello es el área marcada con el número 1 en la Figura 5.

## CONCLUSIONES

La metodología desarrollada en la finca bananera EARTH para determinar la productividad a través del número de manos en el bloque 1 permite visualizar el comportamiento espacial productivo. Esta herramienta aplicada en los sistemas agrícolas de producción bananero a lo largo del ciclo productivo de la plantación define la tendencia espacial productiva. La acción a seguir debe estar acompañada de un análisis integral de otros factores que regulan la producción. Esta herramienta identifica los puntos críticos productivos a través de un índice fenológico (número de manos por racimo) pero no la asocia a variables de suelo ni clima. Es una fotografía de la productividad por lo que es importante hacer el muestreo en un periodo corto para obtener datos con una tendencia cercana a la realidad y para la Zona Atlántica en Costa Rica se recomienda realizar 2 muestreos por año, adecuándose a las épocas climáticas.

Para aplicar esta metodología es importante, definir las distancias de muestreos con el uso del semivariograma para cada sitio en estudio, mediante una recolección previa de la variable de interés. Una vez determinadas las zonas y sus niveles de producción es recomendable realizar un análisis de las zonas con baja productividad e incorporar de forma integrada variables como el nivel freático, fertilidad de suelos, incidencia de plagas, enfermedades, entre otros. Además se debe monitorear en forma constante, las

áreas cercanas al punto de equilibrio financiero mediante las herramientas de la agricultura de precisión para determinar las causas y tomar las acciones correctivas.

Además de considerar variables de producción como el número de manos por racimo y la densidad de plantas, se deben considerar variables de clima y suelo como el contenido de Aluminio, de Cobre y de Calcio y con algunas propiedades físicas del suelo que tienen relación con el peso del racimo (Vaquero 2003 y Castañeda 2011).

## LITERATURA CITADA

- BRAGACHINI M., MARTINI A. VON., BIANCHINI A. 2011. Proyecto agricultura de precisión Córdoba (AR): INTA. Consultado 28 febrero 2011. Disponible en <http://www.bit.ly/nmdemf>
- CASTAÑEDA D. 2011. Evaluación de métodos estadísticos para el desarrollo de una propuesta de manejo por sitio específico para banano. Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 129 p.
- CHARTUNIL E., CARVALHO F., MARÇAL D., RUZ E. 2007. Nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria. Consultado 27 febrero 2011. Disponible en <http://webiica.iica.ac.cr/bibliotecas/replica/B0483e/B0483e.pdf>
- CORBANA (Corporación Bananera Nacional C.R.). 2011. Importación mundial de banano. Consultado 1 marzo 2011. Disponible en <http://www.bit.ly/r9HICB>
- CUBILLO A.A. 2005. Uso de índices fenológicos en la agricultura de precisión del cultivo de banano. Tesis de licenciatura, Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica. 34 p.
- PETITGAS P. 1996. Geostatistics and their applications to fisheries survey data: a history of ideas, 1990-2007, pp. 114-142. In: B A. Megrey y E. Mosknes (eds.). Computers and fisheries research. Londres (GB): Chapman-Hall. Consultado 18 agosto 2011. Disponible en <http://www.bit.ly/pmWf7Q>
- VAQUERO R. 2003. Soil physical properties and banana root growth, pp. 125-131. In: D. Turner y F. Rosales (eds.). Banana root system: toward a better understanding for its productive management. San José de Costa Rica: Proceedings Inibap. Musalac. Corbana.



