

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Departamento de Ingeniería Agrícola



TRABAJO DE DIPLOMA

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL MANEJO DEL RIEGO POR PIVOTE CENTRAL EN LA EMPRESA DE CULTIVOS VARIOS “VALLE DEL YABÚ”

Autor: Odelvis Barrabia Izquierdo

Tutores: Dr. C. Elvis López Bravo

MsC. Isbel Díaz Hernández

Santa Clara, 2017

DEDICATORIA

Les dedico mi primera meta profesional a mis padres por su apoyo, sacrificio y dedicación durante toda mi etapa estudiantil.

A mi hermano y mi novia por haber insistido siempre en que me supere y por haber creído en mí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis restantes familiares por su preocupación durante toda mi formación,

A todos mis amigos y compañeros del aula quienes me inspiraron a seguir esta carrera.

Agradecimiento especial:

A mis tutores, por su dedicación, orientación, confianza y colaboración en la realización del trabajo, pero sobre todo, por compartir sus conocimientos conmigo y por haberme enseñado que no hay obstáculo que no puedas enfrentar,

A todas aquellas personas que de una forma u otra tuvieron una participación durante la carrera

RESUMEN

En la presente investigación se diseñó un SIG para la gestión de la información del funcionamiento de los sistemas de riego por Pivote Central, instalados en áreas productivas pertenecientes a la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú”, a partir de la cartografía de la zona a escala 1: 25 000 empleando el software MapInfo 10.5. A partir de la organización de la información en una base de datos relacional compuesta por un total de 15 tablas o capas de información, se conformó un espacio de trabajo. A partir de las herramientas de consultas del software, los comandos Consulta /Selección y Mapa / Crear Mapas Temáticos se generaron salidas cartográficas, tales como: mapa de suelos, mapa de evaluación de drenaje de los suelos, mapa de fuentes de abasto, mapa de localización de las máquinas de riego y mapa de potencia de los motores eléctricos, todos ellos indispensables como herramientas de trabajo para la toma de decisiones por parte de los especialistas del Taller de Riego de la Empresa.

ABSTRACT

In the present investigation, a GIS was designed for the management of the information on the operation of irrigation systems by Pivot Central, installed in productive areas belonging to the "Valle del Yabú" Crop Company, based on the mapping of the area Scale 1: 25,000 using the MapInfo 10.5 software. From the organization of the information in a relational database composed of a total of 15 tables or layers of information, a workspace was formed. From the query tools of the software, the Query / Selection and Map / Create Thematic Maps commands generated cartographic outputs, such as: soil map, soil drainage evaluation map, supply source map, map Location of the irrigation machines and power map of the electric motors, all of them indispensable as working tools for decision making by the specialists of the Irrigation Workshop of the Company.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: ESTADO ACTUAL DEL TEMA.....	5
1.1 Los sistemas de riego en la agricultura	5
1.2. Los sistemas de riego por Pivote Central	8
1.3. Investigaciones realizadas en máquinas de riego por Pivote Central	14
1.4. Aplicación de los Sistemas de Información Geográficos (SIG) en la Agricultura	16
1.5 Sistemas de mapas, características y vínculos con los sistemas de información geográficos (SIG)	18
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.1 Metodología para la recolección de datos y descripción del área de estudio	20
2.2. Metodología para la elaboración del sistema de información geográfica (SIG)	21
2.3 Metodología utilizada en procesos de consultas, generación de salidas cartográficas e interpretación de la información	21
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
3.1 Resultados de la recolección de datos y descripción del área de estudio	23
3.2 Resultados de la confección del SIG destinado a la gestión de la información del funcionamiento de las máquinas de riego por Pivote Central seleccionadas	25
3.3 Resultados del análisis de la información para la gestión del funcionamiento de las máquinas de riego por Pivote Central seleccionadas	29
3.3.1. Análisis de los resultados de la mapificación de la distribución de los suelos presentes en el área de estudio.....	31
3.3.2. Análisis de los resultados de la mapificación de la distribución de los embalses como fuentes de abasto de agua.....	32
3.3.3. Análisis de los resultados de la mapificación de la evaluación cualitativa del drenaje de los suelos	33
3.3.4. Análisis de los resultados de la mapificación de las características técnicas de las máquinas de riego por Pivote Central seleccionadas.....	34
CONCLUSIONES.....	37
RECOMENDACIONES.....	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
ANEXOS	41

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental y de suma utilidad para las actividades agropecuarias, por lo que se requiere de un aprovechamiento óptimo del mismo, considerando su escasez en algunas zonas del país, asociada al peligro que representa en la actualidad las intensas sequías. Actualmente, con la introducción de diversas tecnologías y mediante la creación de prototipos, los sistemas de riego y de almacenamiento posibilitan el uso efectivo del vital líquido no solo para consumo, sino también para asegurar la producción de calidad, tanto a nivel de pequeños como de grandes productores (Aidarov, 1982).

Al pasar de los años el hombre se ha enfrentado al desafío constante de aumentar la producción agrícola en respuesta a la creciente demanda de la población. Este aumento, a su vez, se ha producido de dos formas: con la expansión de nuevas áreas agrícolas, y dentro de cada área, con el aumento de los rendimientos teniendo en cuenta las características de cada suelo y utilizando los avances tecnológicos favorables para la obtención de mejores resultados a la hora de realizar las labores planificadas y poniendo en práctica la agricultura de precisión como alternativa a los retos de la agricultura del futuro. Estas tecnologías modernas constituyen herramientas de trabajo para la toma de decisiones en la gestión de los procesos agrícolas.

Los sistemas de información geográfica (SIG) se presentan como una de estas herramientas, ya que estos sistemas entre otras ventajas dan la posibilidad analizar datos y de resolver problemas de gestión y planificación, pudiendo realizar consultas a la base de datos que poseen. También estos mapas SIG proporcionan además informes interactivos de la información disponible, no solamente listas de diferentes características, sino gráficos, informes, fotografías y prácticamente cualquier contenido relevante. Se combina una eficaz visualización con un potente marco de análisis y modelado, por lo que se convierte en una ventana a resultados analíticos muy completos. El mapa SIG se usa fundamentalmente para acceder a modelos de análisis y ejecutarlos, además de mostrar sus resultados como una nueva capa de mapa (Regalado, 2014).

En el año 1962 se presentó la primera utilización real de los Sistemas de Información Geográficos (SIG) en el mundo, concretamente en Ottawa (Ontario, Canadá) y a cargo del Departamento Federal de Silvicultura y Desarrollo Rural. Desarrollado por Roger Tomlinson, el llamado Sistema de información geográfica de Canadá fue utilizado para almacenar, analizar y manipular datos recogidos para el Inventario de Tierras Canadá una iniciativa orientada a la gestión de los grandes recursos naturales del país con información cartográfica relativa a tipos y usos del suelo, agricultura, espacios de recreo, vida silvestre, aves acuáticas y silvicultura, todo ello a una escala de 1:50.000. Se añadió, así mismo, un factor de clasificación para permitir el análisis de la información.

La utilización de los SIG en la agricultura, parte por un proceso de aceptación de las tecnologías de información en las prácticas convencionales, produciendo un impacto en la forma de trabajar el suelo para la producción agrícola. Tal vez el desarrollo más influyente para apresurar transferencia de tecnología a la agricultura ha sido el desarrollo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Incorporando en las prácticas agrícolas estándares, los productores, los investigadores y los consultores han podido mejorar la precisión de las actividades de manejo agronómico existentes, poniéndolas en ejecución a escala. La agricultura de precisión y las tecnologías asociadas a la medición de la variabilidad han sido el resultado de la utilización de los SIG (Griso, 2007).

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de los mapas digitales. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía. La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología geoespacial de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma (Dueñas, 2012).

Estas tecnologías ayudan a la búsqueda de estrategias para enfrentar los problemas, de dirección y manejo de los recursos disponibles. Por lo que representa una herramienta muy útil para la dirección de casi todos los modelos de desarrollo económico, no obstante, es necesario aprovechar para ello todas las fortalezas y oportunidades que brinda el entorno y el uso de los recursos propios de cada lugar. Bajo tal enfoque, en las condiciones específicas de Cuba, los sistemas de riego por Pivote central por su aporte al uso racional del agua, ahorro energético, satisfactorios resultados productivos, los SIG, representan una variable de peso a evaluar (Rodriguez, 1997).

Objeto de estudio

Los SIG en la gestión de los sistemas de riego por Pivote Central.

Problema científico

¿Cómo gestionar la información del funcionamiento de los sistemas de riego por Pivote Central instalados en áreas productivas pertenecientes a la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú”?

Hipótesis

El diseño de un SIG permitirá la gestión de la información del funcionamiento de los sistemas de riego por Pivote Central instalados en áreas productivas pertenecientes a la Empresa Cultivos Varios “Valle del Yabú”.

Objetivo General

Diseñar un SIG para la gestión de la información del funcionamiento de los sistemas de riego por Pivote Central instalados en áreas productivas pertenecientes a la Empresa Cultivos Varios “Valle del Yabú”

Objetivos Específicos:

1. Identificar las características de los sistemas de riego por Pivote Central instalados en áreas productivas pertenecientes a la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú.
2. Elaborar el Sistema de Información Geográfica (SIG) para la gestión del riego por Pivote Central.
3. Proponer las principales aplicaciones del SIG en la gestión de la información del funcionamiento de los sistemas de riego por Pivote Central en las áreas productivas seleccionadas.

CAPÍTULO I: ESTADO ACTUAL DEL TEMA

1.1 Los sistemas de riego en la agricultura

El desarrollo del riego se remonta a las civilizaciones del Oriente Antiguo (China, Egipto, India). De manera que se propaga aceleradamente hacia Europa y África del Norte, luego que los primeros conquistadores de la región africana notaran su éxito, los conquistadores españoles descubrieron perfectos sistemas de riego en las culturas mayas, aztecas e incas a su llegada al siglo XV. En el año 1800 la superficie total del riego en el mundo comprendía los 8 millones de hectáreas. Mientras que en el siglo XIX, el riego alcanza un posterior desarrollo en países como Pakistán, Rusia, Estados Unidos y Japón (Hansen, 1966).

En América Latina la superficie potencial de riego es muy elevada con un estimado de 77 millones de hectáreas. Más del 60% de dicha superficie se concentra en cuatro países principalmente: Argentina, Brasil, México, Perú. No obstante el desarrollo del riego se ha incrementado gradualmente durante la segunda mitad del siglo XX en la mayoría de los países de la región. El periodo de 1961 a 1997 constituye el de mayor multiplicidad de esta actividad agro-técnica por el continente americano (FAO, 2013).

En el ecosistema cubano el riego se ha desarrollado paulatinamente. Antes del triunfo de la revolución era prácticamente ilusorio en el país. Donde se podía encontrar era en el riego a la caña de azúcar. Posteriormente en 1959, el riego tuvo un gran incremento a partir de las inversiones del estado cubano, fomentando nuevas fuentes de abasto, sistemas de riego y drenaje, también se llevó a cabo la formación de especialistas y técnicos especializados, además las bases necesarias para la creación de una industria nacional de equipos de regadíos.

El desarrollo del riego en Cuba evolucionó satisfactoriamente, para el año 1991 el país alcanzó la mayor cantidad de área bajo riego de la historia. Para esta fecha provocada por la crisis económica originada por la caída del campo socialista y la acentuación del bloqueo económico norteamericano, se producen serias afectaciones al desarrollo hidráulico cubano y por consecuencia a la actividad del riego. Estas condiciones económicas indujeron una inestabilidad en el suministro de combustible y un deterioro turbulento de los sistemas de riego al detenerse el proceso inversionista

en las obras hidráulicas y, por ende, en los regadíos y existir una escasez en los recursos financieros para el mantenimiento de los sistemas ya construidos. Estas razones provocaron que en el año 2000 se hubiesen perdido en valor de uso para regadíos unas 160 577 ha, disminuyendo el área bajo regadío del país un 27%.

Al pasar de los años, para el 2002, aprecian signos de recuperación visibles en el incremento de nuevas áreas bajo riego (arroz, huertos y organopónicos). Sin embargo, el período especial, el deterioro de los sistemas de riego y la inestabilidad en el suministro de diesel incidieron en la difícil situación del riego y drenaje en la actualidad lo que unido a la decadencia de la fuerza técnica no ha permitido explotar eficientemente los sistemas de riego y drenaje. Independientemente de esta situación, el país realiza inusitados esfuerzos para mantener los niveles de áreas bajo riego, lograr un mejor uso del agua y la energía e incrementar las producciones agrícolas. De modo que se trabaja en un Programa de Modernización y Electrificación de los sistemas de riego (Golovanov y M. G. Mamaev, 1985).

La eficiencia del riego implica la capacidad de minimizar las pérdidas de agua. Factores tales como la dispersión por el viento o la evaporación del agua de la superficie del suelo y de la planta afectan el nivel de eficiencia. Simplemente hacer llegar el agua al suelo y controlar la escorrentía también incrementa la eficiencia. En el campo del riego mecanizado, el avance más significativo en lo que respecta a la eficiencia ha sido la instalación de los aspersores en bajantes, hacia abajo fuera del viento.

La escorrentía es uno de los problemas ambientales más delicados encontrados en el sector del riego porque puede encausar agua contaminada y abono hasta ríos y arroyo. Además erosión no solo constituye un problema ambiental pero también causa pérdidas de abono y una reducción del crecimiento y del rendimiento del cultivo. Una mayor escorrentía reduce la eficiencia del riego, incrementando los gastos de funcionamiento.

Cada día es mayor el número de productores que toman conciencia sobre la relevancia que tiene en sus cultivos el uso racional del agua de riego. Se ha comprobado que la forma de regar puede generarles mejores cosechas y mayores ingresos, sabiendo que el agua es un recurso cada vez más escaso, del cual hay que hacer el mejor uso

posible. En este sentido, existen varios sistemas de riego recomendables para cada segmento productivo, según las posibilidades.

Los sistemas de riego empleados en la agricultura se utilizan con el objetivo de obtener un mayor resultado y calidad en la producción, también aseguran el uso efectivo del agua necesaria para dicha producción. Existe una gran variedad de sistemas de riego, pero siempre algunos son más eficientes que otros como se explica a continuación.

Riego por inundación: El método más sencillo de riego es la inundación, y normalmente no requiere el uso de bombas. El tipo más común de inundación es el riego con surcos, donde el agua se dirige o bombea hacia una serie de surcos que se inundan. Esta tecnología requiere cierta inclinación del terreno, para que el agua pueda fluir fácilmente de un extremo a otro del surco, sin desbordarse por los lados. La misma cantidad de agua debe llegar a cada zona de los surcos. El riego por inundación requiere una gran cantidad de agua y su eficacia no es muy alta ya que la mayoría del agua no se puede extraer directamente en las raíces de las plantas (González, 2013).

Riego por goteo: Un método eficaz de riego, caracterizado por ser una fuente eficiente de ahorro de agua, es el denominado sistema de riego por goteo. Conocido además bajo el nombre de ‘riego gota a gota’, consiste en proporcionar la cantidad de agua justa a cada planta en la zona de influencia de las raíces, por medio de un sistema de válvulas, tuberías y mangueras con emisores. Este sistema creado en Israel, también puede utilizarse de manera subterránea, consiguiendo ahorrar hasta un 40 % o más de agua, en comparación a otros sistemas convencionales”, menciona en Ing. Agr. Sebald Hahn, especialista en sistemas de riego. El riego por goteo ofrece soluciones para todos los cultivos agrícolas en todo el mundo, incluyendo huertas, montes frutales, cultivos de campo, agricultura orgánica, jardinería, sistemas agroforestales. Puede ser utilizado en todos los tipos de suelos según textura y relieve, y en diferentes condiciones climáticas.

Riego por aspersión: Es método de riego que funciona generalmente con una bomba centrífuga, que puede estar adherida a un motor en un solo cuerpo. Este puede ser impulsado por combustible, por energía eléctrica o por un elemento ajeno a la bomba. Para el funcionamiento adecuado, es necesario contar con un pozo, aguada o un grifo principal del cual se extraerá el líquido para dirigir a la parcela, por una red de tuberías.

Consta de un dispositivo pulverizador que se coloca en la boquilla. Su función, como su nombre lo indica, es pulverizar el chorro para hacer caer el agua sobre el terreno o las plantas de manera uniforme simulando la lluvia.

Riego subterráneo: El sistema bajo tierra está específicamente dedicado a la agricultura extensiva. La tecnología se compone de mangueras que van enterradas a 25 o 30 cm de profundidad, que cuentan con picos ubicados estratégicamente para la salida de agua. Posee un bombeo mucho menor al de los implementos de riego convencionales y permite el ahorro y uso eficiente del agua. De este modo, se favorece la absorción de líquido por parte de las plantas. Puede emplearse en el cultivo de maíz, sorgo, soja y girasol. Su beneficio principal se encuentra en que facilita la penetración del agua al nivel radicular de las plantas. Al tener la red de tuberías subterráneas, se facilitan las tareas agrícolas, sobre todo aquellas que requieren el uso de maquinarias en el campo. Además no presenta inconvenientes de instalación en parcelas irregulares.

Riego por pivote: El riego por pivote logra cubrir grandes extensiones de cultivo como soja o maíz y permite paliar las deficiencias de agua en las épocas críticas o periodos de sequía prolongada. El equipo consta de ejes fijos, ruedas en sus tramos y de un motor eléctrico para efectuar giros y posicionarse en diferentes superficies. Esta tecnología es muy útil y optimiza el riego mediante un aprovechamiento efectivo del agua. Su alcance es variable, pudiendo cubrir las 180 ha, con una longitud de 537 m. Si bien el costo de inversión inicial es elevado, se traduce en la aplicación de 380.000 l de agua por hora, equivalente a 11 mm de riego, pero aumenta significativamente la eficiencia de producción.

1.2. Los sistemas de riego por Pivote Central

La máquina de riego por Pivote Central (Figura.1) es una máquina que rota en círculo alrededor de una estructura base en el centro del campo regado. La estructura base de pivote es también la que permite el ingreso del agua y potencia al equipo y es sostén del tablero control. Las estructuras base son generalmente permanentes en sistemas grandes, pero pueden ser trasladables en sistemas más pequeños. La potencia eléctrica es abastecida a motores de las torres y bombas hidráulicas a través de un anillo colector

ubicado en la estructura base. Además, la estructura base sostiene el tramo vertical de tubería y la junta que permite el giro del pivote.



Figura. 1 Sistema de riego por Pivote Central.

Esta máquina consiste en un ramal de riego con un extremo fijo, por el que recibe el agua y la energía eléctrica, y otro móvil que describe un círculo de giro alrededor del primero. El pivote está formado por una tubería porta emisores que va sustentada sobre torres automotrices, dotadas de un motor eléctrico con dos ruedas neumáticas o de un motor hidráulico con dos ruedas de hierro. La tubería, que normalmente es de acero galvanizado, sirve junto con barras o cables, de elemento resistente para vencer los esfuerzos sobre el vuelo entre torres. En esta tubería se encuentran los emisores, que pueden ser de tres tipos: aspersores giratorios, boquillas difusoras y cañones de extremo.

Cada tramo de tubería va unido a una torre soporte y articulado con el tramo anterior, debiendo permitir giros según un eje vertical y otro horizontal. La unión debe ser estanca y sólida ya que tiene que transmitir esfuerzos importantes, especialmente en equipos móviles.

Los sistemas de pivote central, utilizan diferentes cantidades y configuraciones de emisores de riego, de acuerdo al cultivo y tipo de suelo. Al final de cada lateral pivotante, generalmente se usan cañones de baja presión, para que los mismos puedan trabajar, y así incrementar el radio de alcance (Figura. 2).

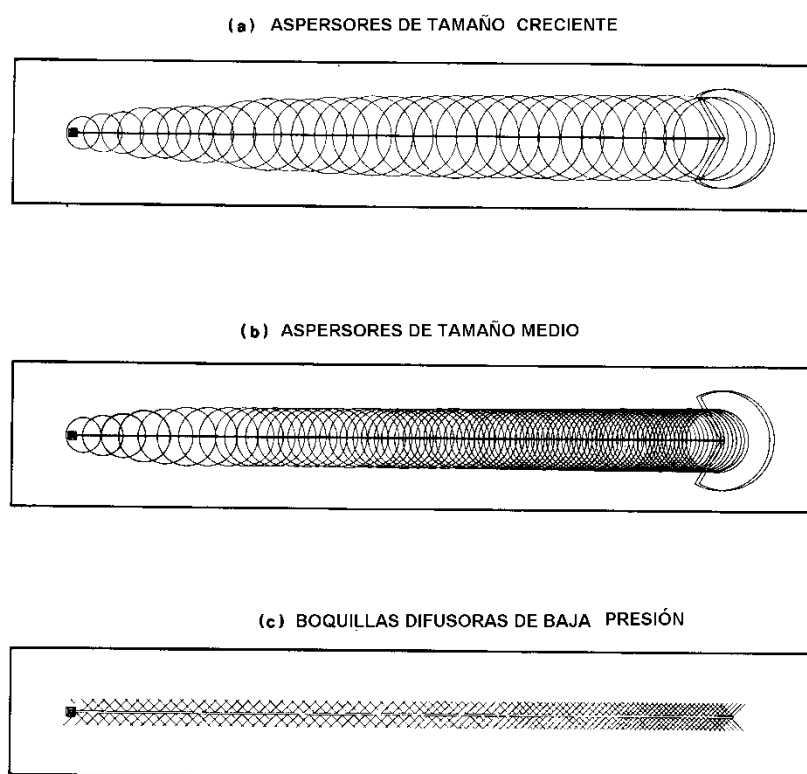


Figura. 2 Radio de alcance de aspersores utilizados en las máquinas de Pivote Central.

Las partes del equipo pivote que merecen una atención más detallada son el centro pivote, la tubería porta emisores, los emisores, y los sistemas de propulsión y alineamiento. El centro pivote está formado por una estructura de acero en forma de pirámide que va anclada en una zapata de hormigón. Sostiene un tramo vertical de tuberías que lleva una junta estanca, basándose en anillos rasantes, que permite el giro. A la parte superior de esta tubería porta emisores mediante a un codo que puede girar libremente.

La tubería porta emisores suele ser de diámetro único y adaptado al caudal a transportar. Debe ser sólida, pues forma parte de la celosía del vuelo. Como el agua llevara disueltos abonos y productos fitosanitarios también debe ser resistente a la corrosión en sus diversas formas. La tubería porta emisores se encuentra dividida en varios tramos, en cuyos extremos se encuentran las torres. El tramo varía entre 25 y 75 m, aunque las más frecuentes son de aproximadamente 38 m (tramo corto) y 50 m

(tramo largo). Los equipos de tramo largo son, normalmente más económicos, por llevar menos torres. Tienen el inconveniente que se adaptan peor a topografías onduladas y transmiten más peso al terreno, con el consiguiente riesgo de atascamiento. Las longitudes del lateral también son variables entre 60 y 800 m.

Los dos tipos de aspersores usados en Pivotes centrales y laterales móviles son de impacto y spray. Los de impacto son generalmente de baja presión y bajo ángulo y van montados directamente sobre la tubería lateral del Pivote. Los tipo spray puede ser montado sobre la tubería de lateral, pero más frecuentemente se ubican en el extremo de una tubería bajante flexible, conectada en forma de U a la parte superior de la tubería lateral, manteniendo los emisores sobre el surco donde se encuentra el cultivo. La altura puede ser modificada según el crecimiento del cultivo. La localización, espaciamiento, tamaño y descarga de cada aspersor es especificado por el fabricante. Un pivote estándar de 400 m tiene 100 a 110 aspersores. Los spray de baja presión son los más comúnmente utilizados para reducir las pérdidas por viento y evaporación, aunque los de impacto son aún utilizados en algunas zonas. Uso de aspersores de impacto de alta presión es raro. El uso de reguladores de presión o controles de flujo ubicados junto al emisor, es común en sistemas de baja presión.

En nuestro País, se ha desarrollado un programa de computación, para la ubicación de los emisores a lo largo de la tubería principal de los pivotes. Durante cada sucesivo pase, el pivote central aplica una lámina igual de agua a todo lo largo del lateral. Para lograr esto, la sección final de la máquina, aplica mayor cantidad de agua que las que están próximas al pivote, pero en un período de tiempo más corto. Por lo tanto la intensidad de aplicación, es superior, en el extremo, más alejado del pivote, que junto al mismo.

Un pivote central o lateral móvil consiste básicamente en una tubería lateral con aspersores. La tubería lateral es soportada por tensores de acero y torres espaciadas entre 30 y 60 m. Cada torre cuenta con un motor y va sentada sobre dos o cuatro grandes ruedas de goma. El conjunto de tuberías, tensores y aspersores entre dos torres se llama tramo. En cada torre hay acoples flexibles que conectan las tuberías de dos tramos adyacentes. El largo máximo de los tramos es función del tamaño de la

tubería, su espesor, pendiente y topografía del terreno. El largo de los tramos no tienen por qué ser uniformes y generalmente varía para adecuarse a las dimensiones del campo o para ajustar la altura de los aspersores en terrenos ondulados. El voladizo es una tubería de menor diámetro, con aspersores, suspendida por cables al final de la última torre para aumentar el área regada. Cañones y sistemas de esquinas pueden ser colocados al final del equipo para aumentar el radio mojado o regar en las esquinas.

La mayoría de los pivotes son eléctricos, aunque también usan motores hidráulicos que son más caros. Un motor eléctrico o hidráulico va en cada torre para permitir su movimiento en forma autónoma. Cables eléctricos y líneas hidráulicas van colocados longitudinalmente a la tubería lateral, contando con cajas de control en cada torre. El panel de control usualmente se localiza en la estructura base o centro de pivote.

Sin incluir la estructura base, puede haber de una a quince torres en cada sistema. Las torres son generalmente identificadas por números, comenzando desde la más cercana a la base del Pivote o el motor, en caso de laterales de avance frontal. Las torres siguen la misma huella en el campo, lo que puede provocar problemas de tracción y escurrimiento por la compactación del suelo húmedo. Este problema es frecuente en suelos de texturas arcillosas, básicamente cambiando el diámetro, el ancho o la banda del rodado se puede encontrar la solución. En casos más críticos de tracción, la implementación de un aro adicional de rodado o la estabilización de la huella en el campo pueden ser requeridas.

La mantención de la alineación de los pivotes o laterales de avance frontal es fundamental para el correcto funcionamiento del equipo. El equipo puede sufrir grandes daños si falla el alineamiento, por ello cuentan con sensores localizados sobre las tuberías en cada torre, haciéndolas avanzar o parar de manera que no pierdan la alineación. Generalmente la primera torre tiene un cronómetro adicional que, detiene el sistema cuando hay problemas del alineamiento. Una tracción inadecuada de las torres puede producir problemas de enfilamiento.

Generalmente la torre más alejada del punto de Pivote controla el movimiento de la máquina. El tiempo de rotación mínimo es generalmente entre 14 y 20 hrs. (2 – 3 m/min. en la torre final). En cada torre se pueden instalar cajas reductoras para aumentar la

velocidad y así reducir el tiempo de rotación a menos de 12 hrs. (4,3 m/min. en torre final) lo que es deseable en suelos livianos, arenosos o arcillosos agrietados. Un panel de control regula la velocidad media de la torre más alejada, que actúa como guía para el sistema completo. Esta torre se hace funcionar un cierto porcentaje de tiempo de cada minuto, un 100% produce que la máquina avance a máxima velocidad (mínimo tiempo de rotación), mientras al 50% de avance, la última torre se mueve a la mitad de la velocidad máxima. Por supuesto, la rotación más lenta aplica mayor cantidad de agua.

Las máquinas modernas tienen espaciamiento uniforme de aspersores que varía entre 2,3 a 3 m, dependiendo del fabricante. Cerca del centro, donde el avance es lento, puede ocurrir que no todas las salidas tengan un aspersor instalado, con el fin de reducir la aplicación de agua. Después de la primera torre todas las salidas tienen su aspersor.

Las máquinas modernas son generalmente diseñadas para operar a 250 KPa o menos. Estas presiones son insuficientes para los cañones finales, por lo que se colocan bombas eléctricas en la última torre. La descarga de los cañones finales y sistemas de equinas deben ser controlados para no mojar caminos, flujos de agua, redes de drenaje, especialmente cuando se aplican químicos.

Ventajas del sistema de riego por Pívot Central:

- Es relativamente sencillo diseñar un sistema que satisfaga la demanda pico del cultivo, sin causar un impacto significativo en el costo de la inversión.
- El control del riego solo está limitado por las condiciones atmosféricas (perdidas por evaporación y efecto del viento sobre la uniformidad).
- La uniformidad es independiente de las características hidrofísicas del suelo.
- La alta eficiencia de aplicación reduce el volumen de agua durante el ciclo del cultivo, hay autores que indican valores de coeficiente de uniformidad de 94%.
- Se logran altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra, agua y energía.
- La dosis de riego únicamente es función del tiempo, se adaptan muy bien tanto a dosis grandes o pequeñas.
- Se adapta bien a terrenos con diferentes permeabilidades, ya que dosifica en forma rigurosa.

- Permite la aplicación de fertilizantes mediante la inyección, con muy buena uniformidad y eficiencia.
- Se adapta a la rotación de cultivos y a riegos estratégicos.
- No requiere nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas.
- En el interior de las parcelas no requiere de sistematización especial, adicional a la requerida para la conservación del suelo, lo que permite una buena mecanización.
- Se maximiza el uso de la tierra dentro de la parcela, al no requerir canales, acequias, calles de trineos, etc.

1.3. Investigaciones realizadas en máquinas de riego por Pivote Central

Con el objetivo de determinar los diferentes factores que inciden en la explotación de las máquinas de riego por Pivote Central se han desarrollado múltiples investigaciones, específicamente en la máquina Western perteneciente a la UBPC-3 “Jesús Menéndez” donde el suelo en el cual está emplazada se clasifica como: pardo gleizoso en superficie (Hernández *et al.*, 2006), y la capacidad de campo es de 52,7%, con densidad aparente es de 0,94 g/cm³ ubicada en la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú”. Para determinar la demanda energética se realizaron una serie de mediciones en la máquina de pivote central eléctrica los que mostraron que los factores que inciden en el consumo energético son el inadecuado manejo de la actividad del riego y el bajo coeficiente de uniformidad (Daniel, 2015).

Con la introducción de modificaciones en los sistemas de riego han redundado en mejoras en cuanto al ahorro del agua. En resultados sobre la aplicación de sistemas de bajo consumo energético *LEPA* en un pivote móvil hidráulico marca Fregat han mostrado que estos sistemas depositan el agua directamente en los diques, dentro del surco, por lo cual las pérdidas por evaporación están virtualmente eliminadas, dando lugar a un ahorro de agua del 16%. En cuanto al ahorro de agua se arriba a la conclusión que el riego nocturno o a tempranas horas de la mañana provoca menos pérdida por evaporación (Penton, 2015).

En las investigaciones de (Arguelles Santana, 2014) se realizó una programación del riego mediante métodos agro meteorológicos, para determinar la influencia en el ahorro de agua, energía y los rendimientos del cultivo, pues la misma se realizaba en ocasiones sin rigor técnico, para ello, se calculó la evapotranspiración de referencia mediante la fórmula de Penman Monteith con datos de una estación agro meteorológica cercana y se usaron coeficientes K_c ajustados por los autores para cada decena del cultivo. Se chequeó la tensión de humedad del suelo, mediante lecturas diarias de tensiómetros ubicados en el campo. Fue monitoreada la máquina de riego por Pivote del campo 330 de la UBPC 3 “Jesús Menéndez” pertenecientes a la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú”.

Se demostró que con una programación correcta de la actividad de riego se pudieron minimizar los costos de energía ajustándose a lo calculado en el balance de humedad en el suelo, se logran satisfacer las necesidades del cultivo, en sus diferentes fases, lo cual, modifica la práctica en la mencionada UBPC y permite la realización adecuada de las labores de cultivos y labores fitosanitarias, sin atasques de las máquinas por excesivo número de vueltas. Con estos resultados se demuestra el ahorro energético y el aumento favorable de la producción.

En la investigación de (Gonzales Campillo, 2008) durante las campañas paperas 2006 – 2007 y 2008 en áreas de la Empresa de Cultivos Varios de Cascajal, en las 5 máquinas de riego por aspersión de pivote central del tipo Fregat instaladas en dicha entidad. Se obtuvo que las máquinas de riego trabajan con una deficiente regulación que afectó la uniformidad, no se aplicaron las láminas de riego requeridas por el cultivo, lo que produjo escurrimiento superficial, por lo que existió un manejo poco eficiente del agua de riego. Se recomienda capacitar a los obreros y técnicos de cada área con el manejo adecuado de las máquinas de riego y sus características técnicas y de funcionamiento; y dada la importancia del agua para la vida en el planeta contribuir al desarrollo de una conciencia de ahorro que también favorecería la reducción del consumo de energía eléctrica, lo que reporta un efecto económico y un impacto positivo sobre el medio ambiente.

En el resultado de la investigación realizada por Ramón Pérez Leira (R., 1995). basándose en el cambio del módulo de aspersión en pivotes centrales según criterios económicos para Cuba en cuanto al modelo teórico para la determinación del momento óptimo de sustituir el módulo de reguladores de presión y emisores de un pivote. El modelo parte del criterio de que el desgaste en los reguladores de presión y en las boquillas incide en la disminución de la uniformidad del riego y este último en la pérdida de rendimientos. Para compensar estas pérdidas se requiere elevar la dosis de riego con vistas a compensar el déficit que se produce en las zonas de mínima entrega lo cual genera incremento de los costos de explotación. Se consideran en este modelo los costos por consumo adicional de agua y de energía, por mantenimiento y por mano de obra, así como las pérdidas de rendimiento asociadas a las zonas con riego insuficiente y con riego excesivo. La suma de todos estos componentes es comparada con el costo de la adquisición y montaje de un nuevo módulo de aspersión, lo cual le permite al agricultor decidir el momento propicio para hacer la sustitución a partir de criterios económicos.

1.4. Aplicación de los Sistemas de Información Geográficos (SIG) en la Agricultura

Con el desarrollo alcanzado en materia de SIG a nivel mundial, estos se han convertido en una poderosa herramienta de todos los sectores de la vida socioeconómica del hombre en las tareas de planificación, ordenamiento y manejo de los territorios. En cuanto al uso de este sistema en la agricultura surge el término agricultura de precisión (AP). La cual involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo y terrenos donde se desarrollan. Permitiendo satisfacer una de las exigencias de la agricultura moderna: el manejo óptimo de grandes extensiones (Emiliano, 2017).

Gracias a la evolución que ha tenido la tecnología, hoy día los (SIG) proporcionan una amplia gama de aplicaciones y procesos que, con entender los conceptos y teoría, se puede realizar de una forma más sencilla y rápida el análisis y delimitación de diferentes escenarios como cuencas, terrenos y sistemas de producción; se ha realizado mediante la interpretación de los mapas cartográficos (Villalta, 2013).

Este sistema juega un papel indispensable en los proyectos de nivelación de terrenos ya que necesitan levantamientos topográficos de alta precisión. Aunque disponga de planos para los estudios preliminares, será necesario realizar un levantamiento que deje señalizado el terreno para utilizar este mismo estaquillado cuando se vaya a replantar la nueva superficie proyectada (Vegoa, 2014).

Para permitir monitorear diversas variables del entorno, en agricultura actual, la idea de contar con la información pertinente en el momento y lugar oportuno constituye otro objetivo vital para la toma de decisiones de manejo predial, ya sea para reaccionar adecuadamente ante una situación emergente, como para generar un aumento en la productividad y el rendimiento del predio. Un SIG se transforma en una herramienta indispensable a la hora de administrar y hacer gestiones ya que este puede brindar una gran ayuda en esto.

Las diversas investigaciones que se han realizado al respecto, se puede mencionar aquella llevada a cabo en la Provincia de Almería, España, destinada a mejorar la gestión de la distribución de agua mediante redes colectivas de tuberías para riego en zonas con cultivos hortícolas intensivos.

En dicho estudio, se elaboró una completa base cartográfica digital que reflejaba la situación real de la red de riego, con lo cual fue posible realizar un análisis detallado de la misma, como también de la gestión de la zona regable. Lo que generó una reducción en la inversión y en los costos de explotación, así como un aumento de la producción agrícola, por lo que los primeros beneficiados fueron los gestores y usuarios de dichos sistemas de riego.

En Cuba uno de los estudios en el cual se ha empleado los SIG como herramienta para el manejo de los recursos hídricos en la caña de azúcar, encontramos al realizado por (George Martín, 2013). En este se realiza una regionalización de los requerimientos hídricos de la caña de azúcar en la UEB Atención a los Productores Agropecuario “Urbano Noris”, en la provincia de Holguín; obteniendo mapas temáticos de zonas pluviométricas y regionalización de requerimientos hídricos por cepas (primavera, primaveras quedadas, retoños y fríos) a nivel de campo. Por lo que se demuestra la factibilidad del empleo de esta herramienta en el manejo de recursos como estos.

1.5 Sistemas de mapas, características y vínculos con los sistemas de información geográficos (SIG)

El empleo de los mapas es de absoluta importancia, son herramientas las cuales deben cumplir una misión significativa, explicar una historia, presentar una idea o ilustrar una situación. Para ello, se deben incluir mapas base y capas que tengan una buena cartografía. En las capas se pueden incluir temas que caractericen la zona que se representa a mayor información más confiable será el mismo. El mapa puede tener una o más capas. Reuniendo varias capas o fuentes de datos en un solo mapa, se debe tener en cuenta de no agregar tantas cosas en un mapa puede resultar difícil de interpretar (Arcgis, 2016).

Con el surgimiento de los Sistemas de información geográfico (SIG) se ha viabilizado la creación de mapas. Ya que estos permiten generar mapas que permiten trabajar con datos posicionados en el espacio con referencia a un sistema de coordenadas planas o geográfica. La creación de dicho mapa no es tan sencilla. De hecho, con la proliferación de estos tipos de software y aplicaciones es muy común cometer fallos técnicos o estéticos que perjudican su capacidad informativa y representativa (Alonso, 2015).

Este sistema es capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

El (SIG) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz (Dávila, 2016).

Nuestro país está en sus primeras etapas se da pasos de avance en la parte catastral. La cual permite caracterizar territorios en cuanto a informaciones catastrales. Estas constituyen, bases de datos aplicados a los SIG, como apoyo a la mapificación y

creación de bases de datos digitalizadas que complementen toda una gama de informaciones (Regalado, 2014).

Una muestra de estos tipos de mapas son los que están basados en mapas topográficos que representan cualquier fenómeno geográfico de la superficie terrestre. Los cuales persiguen objetivos bien definidos. Y hacen referencia a la representación de ciertas características de distribución, relación, densidad o regionalización de objetos reales (vegetación, suelos, geología, etc.), o de conceptos abstractos (indicadores de desarrollo económico, de calidad de vida, etc.).

Para representar variables numéricas utilizan todo tipo de recursos visuales, como superficies de distintos colores o tramas, flechas para indicar el movimiento de un fenómeno (flujos; a veces tienen un grosor proporcional a su magnitud), el trazado de líneas que unen puntos de igual valor, círculos o símbolos de tamaño proporcional al valor numérico, o incluso mapas deformados para que cada unidad geográfica se represente con un tamaño proporcional a su valor numérico (Solocum, 2005).

En los mapas la utilización de colores en los diversos niveles con otros símbolos y trazos auxiliares permite reconocer montañas, valles, ríos, altozanos y otras características del terreno. También se incluye información sobre construcciones humanas, tales como poblaciones, carreteras, puentes, presas, líneas eléctricas, distintas plantaciones, etc. También se debe indicar la escala, la dirección del Norte geográfico y magnético, referencias GPS, símbolos, relación con otros planos, el organismo autor y el año de su elaboración (Mend, 2010).

Gracias a los avances en el conocimiento humano, fundamentalmente en las ramas de la Matemática, la Cibernética, la Física, la Electrónica y las Geo-ciencias, los cuales han permitido el desarrollo de sistemas modernos para la representación, ubicación y análisis del medio geográfico, como son los sensores remotos o satélites artificiales y los paquetes CAD (Computer Asisted Design) (Diseño Asistido por Computadora), los que desde entonces se han ido especializando en aplicaciones concretas como mecánica, arquitectura, electrónica o cartografía. Estos últimos junto a los sistemas de gestión de bases de datos, fueron los antecesores directos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que han alcanzado su mayor auge en la presente década, a la par de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) (Rodríguez, 1997).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Metodología para la recolección de datos y descripción del área de estudio

Se realizaron visitas dirigidas a tres áreas productivas pertenecientes a la Empresa Cultivos Varios “Valle del Yabú”, municipio Santa Clara, provincia Villa Clara para identificar las principales características de los sistemas de riego por Pivote Central, así como la determinación de su ubicación específicamente en la UBPC No 3 “Jesús Menéndez”, la UEB “Pirey” y la UEB “Pararrayos”, seleccionándose una muestra de seis máquinas del total instaladas, teniendo como criterio para su selección: su localización, resultados de rendimientos agrícolas, mayor tiempo de explotación, entre otras.

Los datos de las máquinas de riego por Pivote Central de interés y que constituirían campos de la base de datos a conformar para el diseño del SIG fueron los siguientes:

- Ubicación geográfica (Coordenadas planas rectangulares- metros)
- Modelo
- Año de instalación
- Longitud total de las máquinas
- Número de tramos y longitud de los mismos
- Longitud del Voladizo
- Peso de máquina en suelo seco
- Peso de máquina en suelo mojado
- Tipo de aspersores
- Presión del sistema
- Flujo total del sistema
- Aplicación de agua
- Tipo de motor
- Tamaño de neumático
- Radio de neumático
- Empleo de fertirriego

- Frecuencia de mantenimientos
- Ejecutores de mantenimiento
- Cultivo principal y cultivos en rotación

Además se emplearon los sistemas de teledetección (imágenes satelitales georeferenciadas) y bases cartográficas del territorio, herramientas que posibilitaron la localización de las máquinas de riego objeto de estudio, cultivos plantados, tipo de suelos, fuentes de abasto para el riego, así como la revisión de documentos técnicos (carta de explotación de las máquinas, guía de mantenimiento, etc.)

2.2. Metodología para la elaboración del sistema de información geográfica (SIG)

Para la confección del SIG se partió de la información obtenida en trabajo de campo, para luego en trabajo de gabinete proceder a conformar la base de datos (campos) a los cuales se asociarían los elementos gráficos con sus correspondientes datos de tipo alfanuméricos. Con todos los datos disponibles que se colectaron se actualizó la información referente a los sistemas de riego por Pivote Central. Se creó una base de datos en Microsoft Excel donde se resumió toda la información de las áreas objeto de estudio, la cual se importó al sistema MapInfo versión 10.5. Para la creación de las bases de datos gráficas (espaciales) se empleó la base catastral del municipio Santa Clara a escala 1:25 000 para el montaje del sistema a implementar. Además, se partió de imágenes satelitales tipo ráster georeferenciadas para la localización de las máquinas de riego, creándose la base de la topología directamente sobre MapInfo.

2.3 Metodología utilizada en procesos de consultas, generación de salidas cartográficas e interpretación de la información

Una vez concluido la asociación de la base de datos alfanumérica con la gráfica, el SIG estuvo listo para su manipulación, estableciéndose en la práctica de la operatividad del SIG, los procesos de consulta y la generación de salidas cartográficas para la posterior interpretación de los resultados obtenidos.

Las distintas salidas del SIG implementado se organizaron en un conjunto de capas o tablas (ficheros .TAB) y estas a su vez en un espacio de trabajo (workspaces), fundamentales para el manejo del sistema ya que de esta forma se pueden obtener los mapas con las distintas temáticas (capas) deseadas y la gestión de la información a través de herramientas de consulta a la base de datos como: Info Tool y el comando Query / Select.

También se elaboraron distintos mapas temáticos empleando el comando Map / Create Tematic Map, tales como; la distribución de los diferentes tipos de suelo presentes en áreas productivas de la Empresa Cultivos Varios “Valle del Yabú”, un mapa de evaluación del drenaje y ortomapas (mapas sobre imágenes satelitales) con la ubicación de las máquinas de riego por Pivote Central y la descripción de las mismas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de la recolección de datos y descripción del área de estudio

Como resultado de las visitas dirigidas a las tres áreas productivas pertenecientes a la Empresa Cultivos Varios “Valle del Yabú”, municipio Santa Clara, provincia Villa Clara se pudo identificar las principales características de los sistemas de riego por Pivote Central, ubicados en tres de las entidades de dicha empresa: la UBPC No 3 “Jesús Menéndez”, la UEB “Pararrayos” y la UEB “Pirey”. De esta manera se obtuvieron los datos de interés para la conformación de la base de datos que se exportaría al sistema Mapinfo, sistema automatizado que podría emplearse en un futuro como herramienta de trabajo para la toma de decisiones y gestión de la información de estos valiosos sistemas de ingeniería agrícola para el desarrollo de los sistemas de producción.

La información de cada una de las máquinas de riego estudiadas se presenta en la siguiente tabla 1.

Máquina	1 Campo 28	2 Campo 41	3 Campo 3	4 Campo 14	5 Campo 48	6 Campo 41
Ubicación geográfica	X:603.199 Y:291.864	X:602.458 Y:291.450	X:604.898 Y:290.660	X:602.833 Y:294.099	X:600.504 Y:295.526	X:599.776 Y:295.039
Modelo	TUSA	TUSA	TUSA	TUSA	TUSA	TUSA
Año de instalac.	2.008	2.010	2.008	2007	2007	2012
Longitud/ m	239,9	207,5	238, 7	260,2	280,1	239,4
No de tramos	4	3	4	5	5	4
Long tramo 1/ m	61,2	61,2	49.7	55, 4	55,4	55,4
Long tramo 2/ m	60,6	60,6	49.1	49,1	54,9	54,9
Long tramo 3/ m	54,9	60,6	54.9	49,1	54,9	54,9
Long tramo 4/ m	54,9	-	54.9	49,1	49,1	54,9
Long tramo 5/ m	-	-	-	49,1	49,1	-
Voladizo/ m	8,4	25,1	25.1	8,4	16,7	19,4
Peso en suelo seco/ kg	8 515	6 550	8 515	8 515	10 615	8 550
Peso en suelo mojado/ kg	13 210	9 970	13 210	13 210	16 450	13 270
Tipo de aspersores	spray D3000B	spray D3000B	spray D3000B	spray D3000B	spray D3000B	spray D3000B
Tipo de motor	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico
Presión del sistema/ bar	1,9	1,6	1,9	2,0	2,1	1,9
Flujo total del sistema/ m ³ /h	84,42	63,3	80,1	99,4	115,0	84,3
Aplicación de agua/mm	24.56	24,42	27, 56	16,11	16,79	23,62
Tamaño de neumático	14.9 x 2	14.9 x 2	14.9 x 2	14.9 x 2	14.9 x 2	14.9 x 2
Radio de neumático/ cm	57.4	57.4	57.4	57.4	57.4	57.4
Fertirriego	si	si	si	si	si	si
Frec. de manten.	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
Ejecutores de mantenimiento	Esp. Taller de Riego	Esp. Taller de Riego	Esp. Taller de Riego	Esp. Taller de Riego	Esp. Taller de Riego	Esp. Taller de Riego
Cultivo principal	Papa	Papa	papa, maíz	frijol, maíz	frijol y maíz	papa, maíz
Cultivo en rotación	frijol y maíz	frijol y maíz	boniato, calabaza, pepino	Papa, malanga	Papa, malanga	frijol, boniato

Tabla. 1 Características de las máquinas de riego por Pivote Central objeto de estudio

3.2 Resultados de la confección del SIG destinado a la gestión de la información del funcionamiento de las máquinas de riego por Pivote Central seleccionadas

En la confección de un SIG para la gestión de la información del funcionamiento de las máquinas de riego por Pivote Central que fueron seleccionadas, se realizó una amplia investigación en busca de los datos que conformarían las diferentes capas del mismo, a partir de los cuales se creó una Base de Datos (BD) relacional que permitiera ejecutar los análisis espaciales necesarios para la toma de decisiones en cuanto a la gestión del riego en las áreas productivas de la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú”.

En esta BD cada capa posee un conjunto de campos de información los cuales fueron estructurados jerárquicamente desde los datos generales de las máquinas, técnicos y fitotécnicos empleados para cada sistema de producción con sus atributos, donde cada elemento básico: línea, áreas o puntos se asocian a su tabla de datos relacional.

En este concepto de BD, un mapa base, es un mapa de tipo topográfico, al que se agregan capas o tablas de información de acuerdo a la aplicación en cuestión. En la BD diseñada se definieron elementos como: consejos populares, fincas, poblados, viales, embalses, ríos y arroyos, relieve, tipos de suelos, datos de máquinas y capas ráster (imágenes satelitales de las áreas de estudio), por lo que el SIG conformado responde a una base de datos integrada, compuesta por aspectos geométricos (espacial), topológico (relacional) y descriptivo (atributo).

De las capas de información empleadas en el SIG que se destacan en los análisis topológicos ejecutados para dar cumplimiento al objetivo de dichas investigación se encuentran las siguientes: tipo de suelos, embalses, imágenes satelitales y datos de las máquinas.

En la capa tipo de suelos se brinda información acerca de su tipología según la Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (autores, 1975) y la evaluación cualitativa del drenaje en cada uno de ellos, además de su ubicación espacial (aspecto geométrico).

En la capa embalses se brinda información en relación al nombre, volumen del embalse (m^3) y volumen de entrega anual (m^3) a los sistemas de riego instalados en las áreas productivas de la empresa.

Para garantizar la localización de cada una de las máquinas de riego por Pivote Central se utilizó imágenes satelitales tipo ráster georeferenciadas provenientes de Google Earth.

La capa datos de las máquinas brinda la información recopilada en las entidades encargada de la gestión de dichos sistemas de riego, información que puede ser actualizada periódicamente según se necesite de forma automática a utilizar e implementar el SIG creado para tal fin, propuesto como resultado de esta investigación, a partir de los cuales se generaron varias salidas cartográficas.

Para las salidas cartográficas se emplearon valiosas herramientas del sistema Mapinfo que permitieron las consultas a las capas que conformaron dicha base de datos y que se integraron en un espacio de trabajo (Workspace). Una de estas salidas la constituyó el mapa de tipo de suelos, para el cual se empleó el comando Query / Select para realizar una consulta a la tabla tipo de suelos, de tal manera que se pudiera determinar los suelos predominantes en el área donde se encuentran ubicadas las máquinas de riego objeto de estudio. En la Figura 3 se ilustra el proceder tecnológico dentro del entorno de Mapinfo, donde se especifica el camino a través de ventanas donde se declara la selección de la tabla TiposSuelosVC_region.tab, para posteriormente agregar la condición que satisfaga la consulta, es decir, definir el tipo de expresión según la consulta a la columna (campo) denominado “Tipos”, la operación a ejecutar (=) para que el sistema determine espacialmente y en la base de datos los sectores o polígonos donde se encuentra el tipo de suelos “Pardo con Carbonatos”, según el elemento ejemplificado.

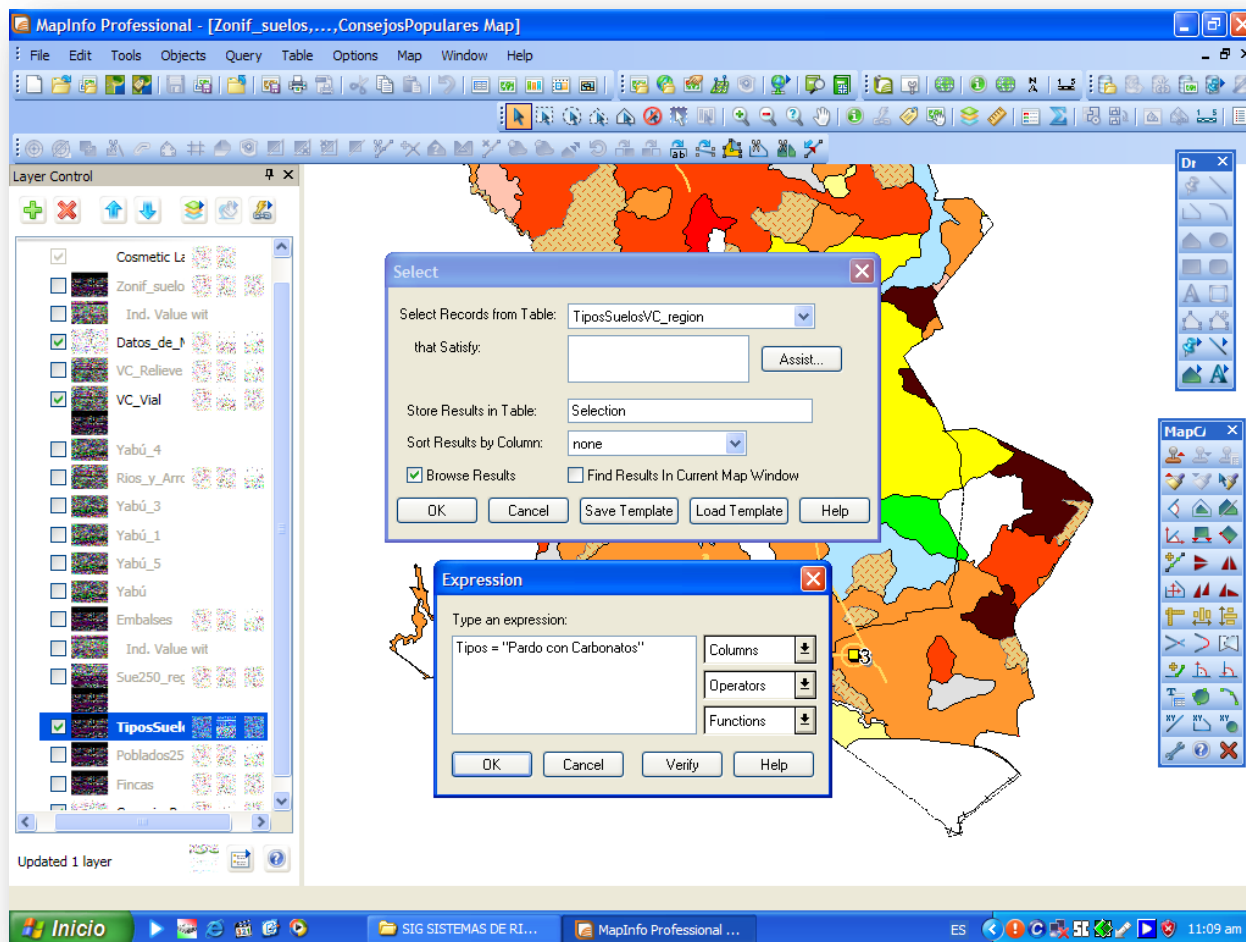


Figura. 3 Interfaz gráfica del sistema MapInfo 10.5 donde se ilustra el proceder de las consultas a las bases de datos relacionales.

Otra de las bondades de los SIG es la de generar mapas temáticos a partir de la correlación de dos o más capas de información, y a partir de los cuales se pueden realizar los análisis para la propuesta de soluciones a problemas que surgen como resultado de la gestión de procesos agrícolas donde intervienen elementos de ingeniería agrícola, como es el caso de la presente investigación.

Teniendo en cuenta que para ejecutar una planificación correcta del riego debe tenerse en cuenta las características del suelo como el drenaje, la compactación, las condiciones climatológicas y las demandas de los diferentes cultivos, entre otras, es que se necesita contar con medios tecnológicos avanzados que optimicen tiempo, y recursos humanos y materiales para la toma de decisiones en este sentido. De esta manera es que se propone la utilización del SIG para la generación de mapas que garanticen la evaluación de dichas variables al contar con la información necesaria para que el sistema MapInfo ejecute los análisis topológicos. En la Figura 4 se muestra un ejemplo en relación a la conformación de un mapa de evaluación de drenaje a partir del comando Map / Create Thematic Map

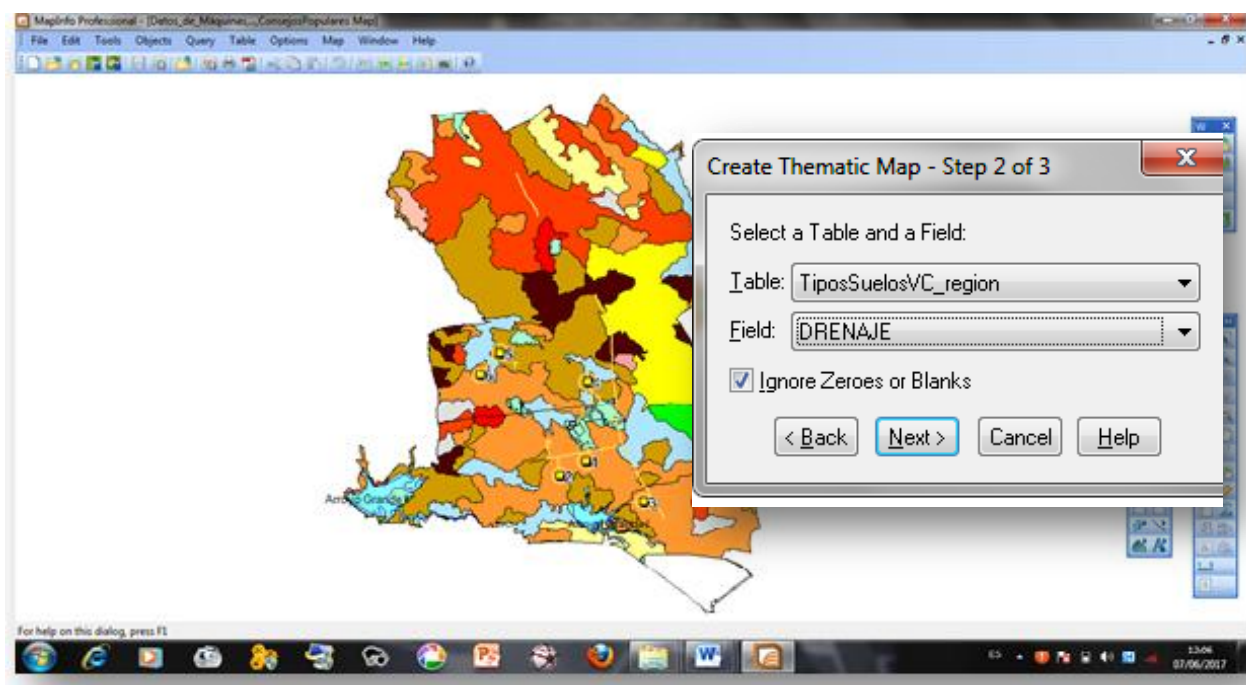


Figura. 4 Interfaz gráfica del sistema MapInfo 10.5 donde se representa creación de un mapa temático (Mapa de evaluación de drenaje del área de estudio).

3.3 Resultados del análisis de la información para la gestión del funcionamiento de las máquinas de riego por Pivote Central seleccionadas

La base de datos de los sistemas de riego por Pivote Central seleccionados en la investigación fue generada en el sistema MapInfo (Datos de máquinas tab), la que se asoció a un objeto plotado sobre la base cartográfica y teniendo como referencia para su ubicación las imágenes satelitales georeferenciadas de las zonas donde se localizan cada una de ellas, determinándose las coordenadas planas rectangulares correspondientes. En la Figura. 5 se ilustra la interfaz gráfica del Sistema MapInfo 10.5 en la cual se representa la localización de las seis máquinas de riego objeto de estudio.

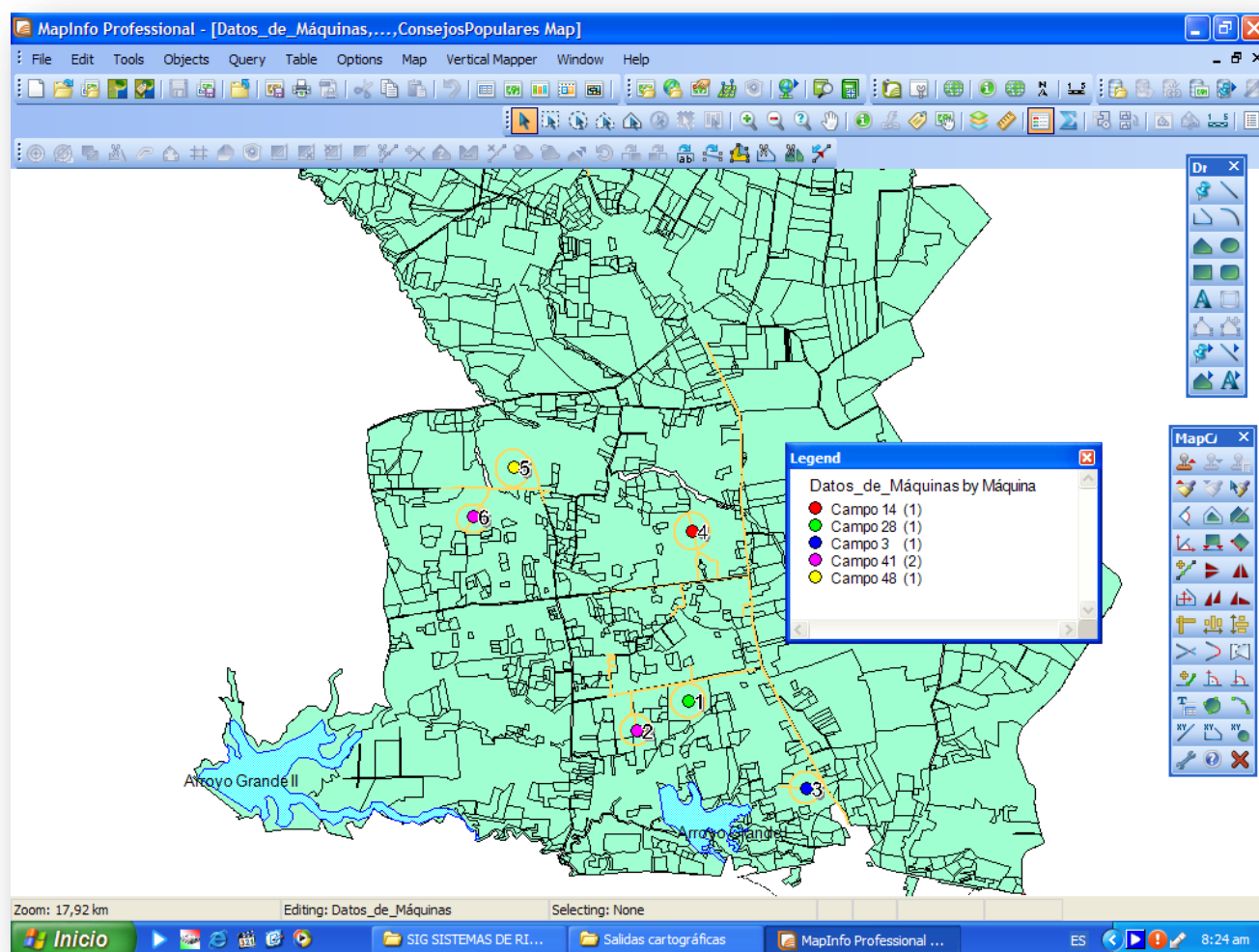


Figura. 5 Interfaz gráfica del sistema Mapinfo 10.5 donde se representa la localización y el número de máquinas de riego por Pivote Central objeto de estudio

Los datos de cada una de las máquinas de riego por Pivote Central presentados en la tabla 1, la cual al ser procesada desde el sistema MapInfo a través del empleo de herramientas de consulta de la información de la base de datos como el Info- Tool, genera resultados como el siguiente, la descripción de la máquina ubicada en áreas productivas del Campo 14 perteneciente a la UEB Pirey (Figura 6), siguiendo el mismo procedimiento para el resto de las máquinas de riego.

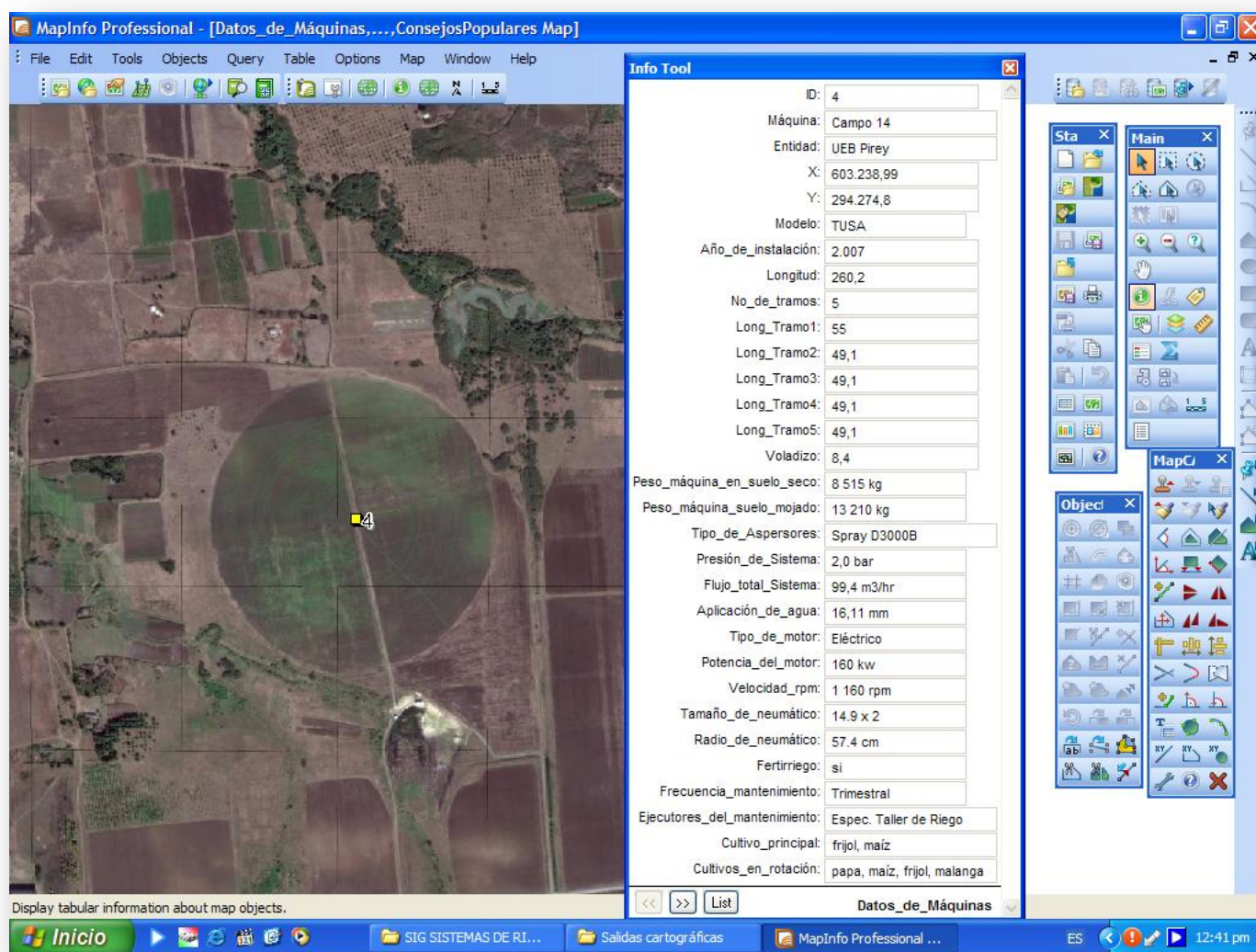


Figura. 6 Interfaz gráfica del sistema MapInfo 10.5 donde se representa la localización sobre una imagen satelital de la máquina de Campo 14.

A la hora de analizar la gestión del riego en áreas productivas hay que tener en cuenta los elementos fundamentales: los tipos de suelos, la fuente de abasto (Figura 8) y evaluación del drenaje (Figura 9), para los cuales se generó salidas cartográficas que facilitarán los análisis correspondientes desde el sistema MapInfo para la toma de decisiones por parte del personal de las entidades objeto de estudio.

3.3.1. Análisis de los resultados de la mapificación de la distribución de los suelos presentes en el área de estudio

En el caso del mapa de distribución de los suelos del territorio (Figura 7) es evidente que en las áreas productivas donde se encuentran instaladas las máquinas de riego predominan los suelos Pardo con Carbonatos y Pardo sin Carbonatos, con textura Loam arcilloso, destacándose que el mayor número de las máquinas de riego estudiadas se encuentran sobre los suelos Pardo con Carbonatos, es decir, 4 del total (6), para un 67%.

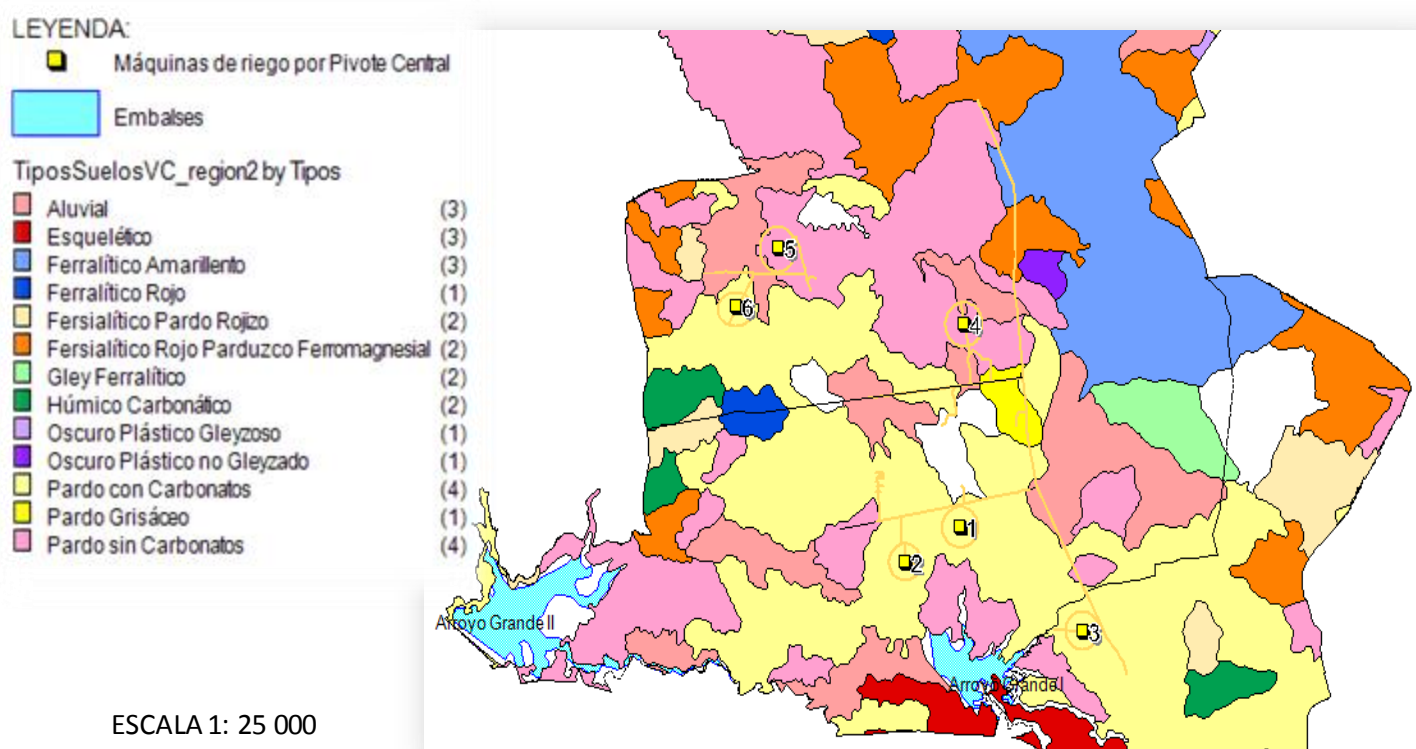


Figura 7. Mapa de Suelos del territorio donde se encuentran ubicadas las máquinas de riego por Pivote Central.

3.3.2. Análisis de los resultados de la mapificación de la distribución de los embalses como fuentes de abasto de agua

Como se ilustra en la figura 8, los sistemas de riego por Pivote Central tienen garantizadas las fuentes de abasto de agua necesarias, ubicadas al sur – suroeste de las áreas productivas seleccionadas para la investigación, estando habilitadas las mismas no comprometiéndose el volumen total anual de entrega planificado, independientemente de las condiciones de sequía que en los últimos años ha afectado el territorio.

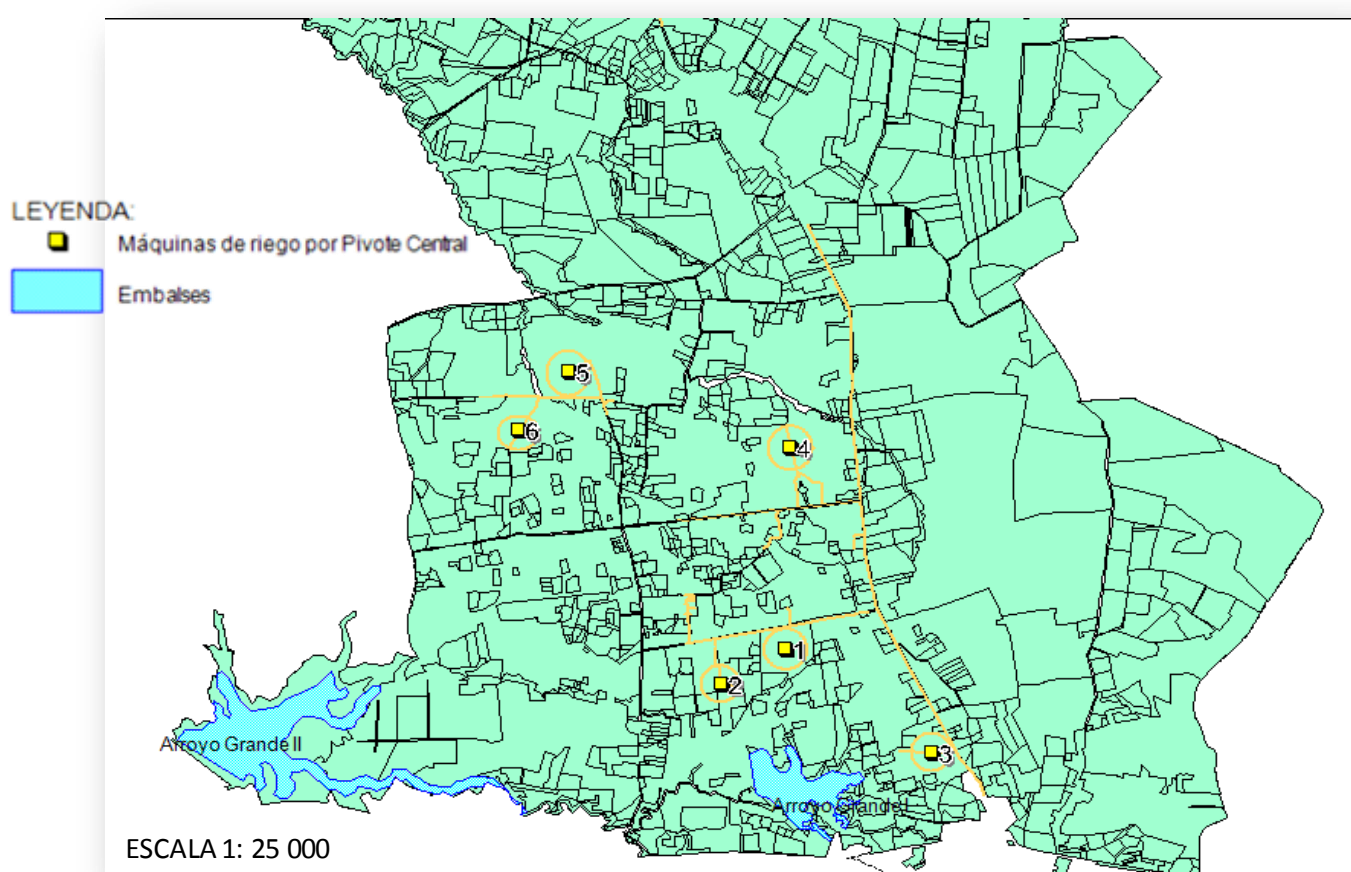


Figura 8. Mapa donde se localizan las dos fuentes de abasto de agua disponible para los sistemas de riego objeto de estudio.

En la tabla 2 se ilustran los principales embalses que suministran el agua para el riego que se emplea en áreas productivas de la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú”.

Tabla 2. Volumen total y de entrega de los embalses de la zona de estudio

Nombre del Embalse	Volumen total	Volumen de entrega anual
Arroyo grande 1	5 000 000 m ³	2 500 000 m ³
Arroyo grande 2	20 000 000 m ³	12 000 000 m ³

3.3.3. Análisis de los resultados de la mapificación de la evaluación cualitativa del drenaje de los suelos

Al establecer la correlación entre las bases de datos de los tipos de suelos y sus características físicas como la textura, que influye en el nivel de retención de humedad, es que el sistema generó a través de las herramientas de geoprocésamiento un mapa de evaluación del drenaje (Figura 9), sobre la base de tres categorías: imperfectamente drenado, regularmente drenado y bien drenado. A partir de dicha salida cartográfica se pudo determinar que el total de las máquinas de riego por Pivote Central se encuentran instaladas en áreas productivas de la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú” sobre suelos que poseen un drenaje regular.

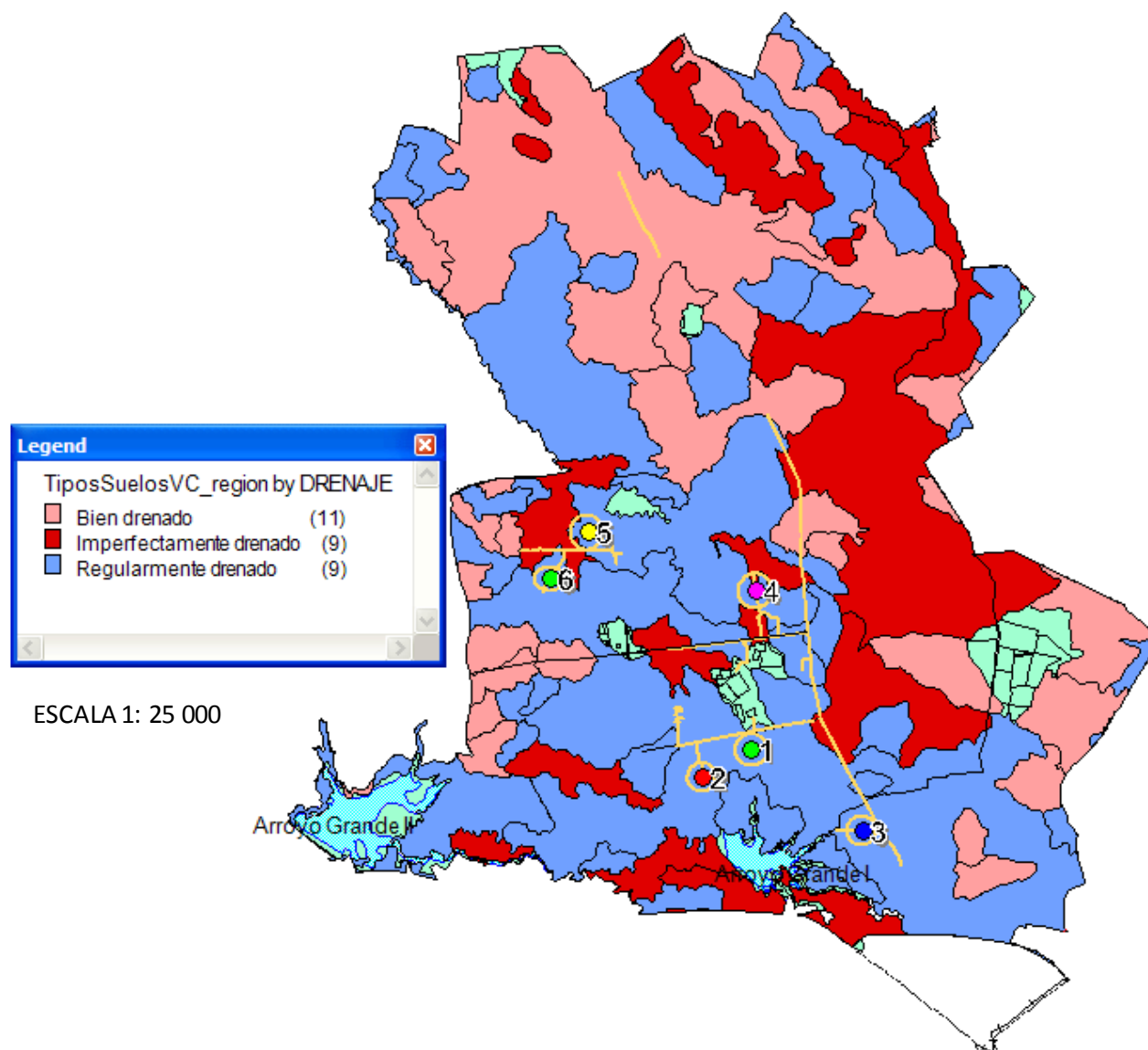


Figura. 9 Mapa de evaluación cualitativa del drenaje del territorio donde se localizan los sistemas de riego objeto de estudio.

3.3.4. Análisis de los resultados de la mapificación de las características técnicas de las máquinas de riego por Pivote Central seleccionadas

Otra de las salidas cartográficas que se proponen es la relacionada con las características técnicas de las máquinas de riego por Pivote Central, tales como: longitud de la máquina, número de tramos, peso de la máquina en diferentes condiciones de humedad del suelo, presión del sistema, flujo del sistema, potencia del motor eléctrico que bombea el agua hacia las máquinas, entre otras variables

que se necesitan conocer por parte de los técnicos y operarios de este tipo de sistema de riego.

En la Figura 10 se ilustra la salida cartográfica resultante del geoprocesamiento de los datos correspondientes a la potencia de los motores eléctricos que bombean el agua hacia las máquinas de riego, a modo de ejemplificar una de las tantas formas de gestionar la información del funcionamiento de los mismos.

Es de destacar, que a partir del análisis de los resultados de la representación espacial de los datos de esta variable (Figura 10), solo un motor opera con una potencia superior a 100 kw, hacia la máquina instalada en el campo 14 perteneciente a la UEB “Pirey”, la de menor potencia (18,5 kw), correspondiente al sistema de bombeo hacia la máquina de riego instalada en el campo 41 de la misma entidad. Es de señalar que la mayor cantidad de máquinas de riego objeto de estudio, es decir 3, poseen un sistema de bombeo que opera con motores eléctricos a una potencia de 75 kw, una perteneciente a la UEB “Pararrayos”, otra de la UEB “Pirey” y la tercera ubicada en un área productiva de la UBPC 3 “Jesús Menéndez”.

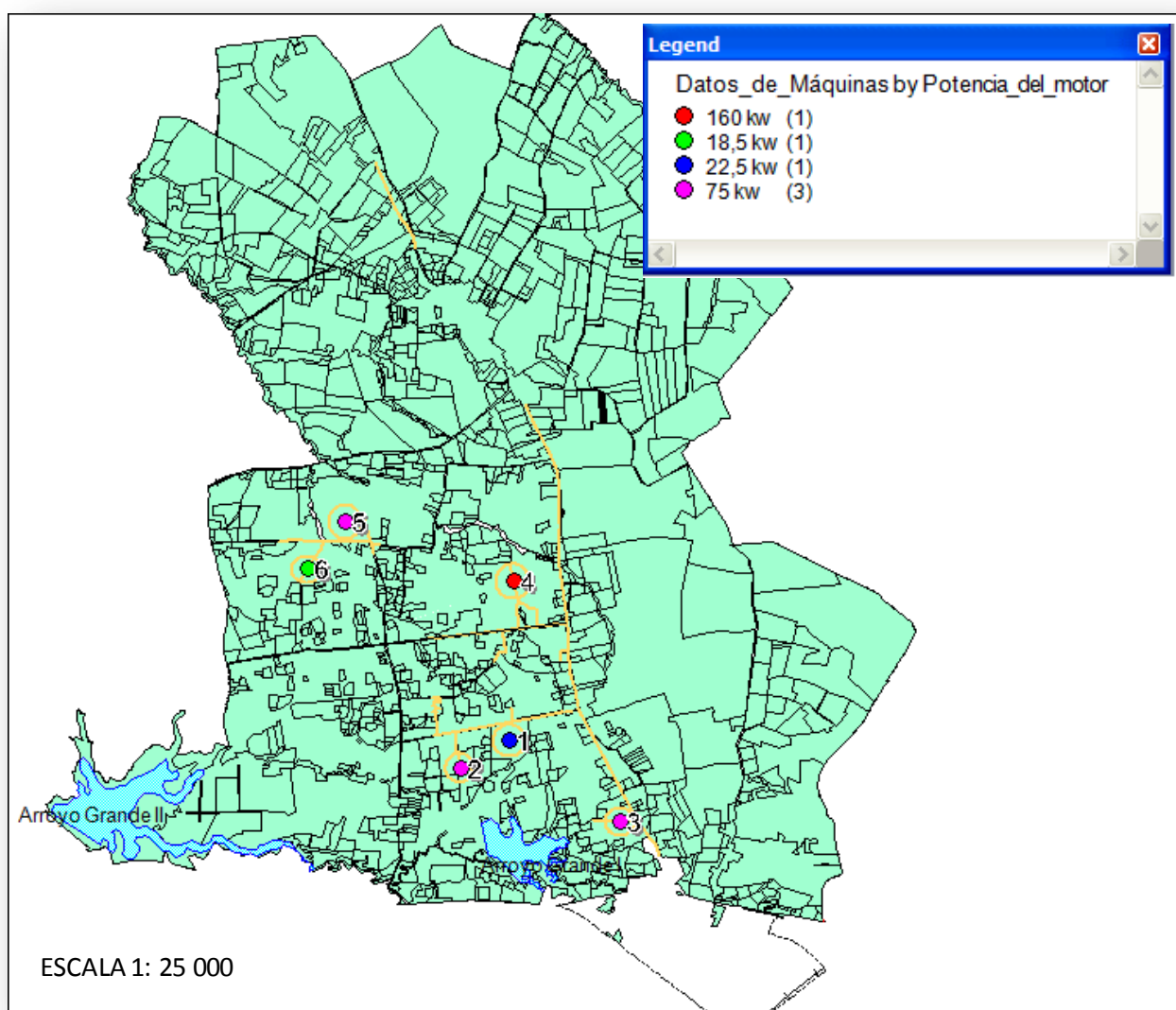


Figura 10. Mapa de potencia de los motores eléctricos de los que disponen cada máquina de riego objeto de estudio.

CONCLUSIONES

1. En la determinación de los criterios de selección de las seis máquinas de riego por Pivote Central y de sus principales características se tuvo en cuenta: su localización, resultados de rendimientos agrícolas, mayor tiempo de explotación, entre otras.
2. El SIG obtenido para la gestión del riego por Pivote Central en las áreas productivas seleccionadas de la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú” está compuesto por 15 capas, destacándose dentro de estas por su nivel de importancia las de: embalses, tipo de suelo, datos de las máquinas y las cuatro capas tipo ráster correspondientes a las imágenes satelitales.
3. A partir de la operatividad con el SIG haciendo uso de las herramientas de consulta a las BD se pudieron generar salidas cartográficas para facilitar la gestión de la información del funcionamiento de los sistemas de riego por Pivote Central de las áreas productivas seleccionadas.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar el completamiento del SIG con el resto de las máquinas de riego por Pivote Central instaladas en las demás áreas productivas de la Empresa.
2. Proponer la implementación del SIG para la gestión del riego por Pivote Central a la Dirección del Taller de Riego de la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDAROV, I. P.: *Régimen de riego de los cultivos agrícolas. El riego*, Ed. Editorial Científico Técnica, La Habana, Cuba, 1982.
- ALONSO, D.: *Crear un mapa con un SIG*, [en línea] Disponible en: <http://mappinggis.com/2015/06/como-crear-una-composición-de-mapa-con-qgis/> [Consulta].2015
- ARCGIS, O.: *Crear el primer mapa*, [en línea] Disponible en: <https://doc.arcgis.com/es/arcgis-online/create-maps/make-your-first-map.htm> [Consulta].2016
- ARGUELLES SANTANA, R.: *Incidencia de la programación de riego para el ahorro de agua, energía eléctrica y los rendimientos del cultivo de la papa en la UBPC-3,* "Jesús Menéndez". Tesis Departamento de Agronomía, Universidad Central "MARTA ABREU" De Las Villas, Santa Clara, Cuba, 2014.
- AUTORES, C. D.: "Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba ": 1975.
- DANIEL: *Eficiencia energética del riego en la máquina de pivote central*, Tesis Departamento de Ingeniería Agrícola Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, 2015.
- DAVILA, F.: *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica* [en línea] Disponible en: http://www.sge.org/fileadmin/contenidos/archivos/ibercarto/actividades/primera_reunion_sevilla/sig2.pdf. [Consulta].2016
- DUEÑAS, R.: "Representación de los datos en un SIG": 2012.
- EMILIANO, G. Y. F., F.: *Agricultura de precisión*, [en línea] Disponible en: <http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf> [Consulta].2017
- FAO: " Principios y aplicación del riego": 2013.
- GEORGE MARTIN, G.: "Regionalización de los requerimientos hidráulicos de la caña de azúcar": 2013.
- GOLOVANOV Y M. G. MAMAEV, M. G.: *El Riego*, Ed. Editorial Mir, Moscú, 1985.
- GONZALES CAMPILLO, J. C.: *Manejo del riego y balance energético de la Empresa Cultivos Varios Cascajal*, Tesis Departamento de Agronomía Universidad MARTA ABREU De Las Villas, Santa Clara, Cuba, 2008.
- GONZALES, P. Y. M. M. A.: "Programa de riego y drenaje en Cuba": 2013.
- GRISO, R.: *Precisión Farming Tools: Soil Electrical Conductivity*, Ed. Virginia cooperative extensión, 2007.
- HANSEN, I. Y.: *Principios y aplicaciones del riego*, Ed. Instituto Cubano del libro, Edición Revolucionaria, 1966.
- MEND, A.: "Cursillo de Protección en Montaña": 2010.
- PENTON, Y.: *Investigación de la tecnología LEPA para máquinas de Pivote Central* Tesis Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS, 2015.
- R., P.: *El cambio del módulo de aspersión en pivotes según criterios económicos para Cuba*, Tesis Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Manabí, Ecuador, 1995.

- REGALADO, Y.: *Elaboración de una base de datos mapificada y digitalizada de los suelos del municipio de Manicaragua empleando el software MapInfo 8.5*, Tesis Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas., Tesis, 2014.
- RODRIGUEZ, S.: *Implementación de un sistema de información geográfica para el manejo de información territorial de los municipios Cardenas y Varadero*, Tesis Facultad de Ggeografía, UNIVERSIDAD DE LA HABANA, 1997.
- SOLOCUM, T.: "Thematic Cartography and Geographic Visualization": 2005.
- VEGOA, R.: *Drenaje Agrícola*, Ed. Felix Varela, La Habana, Cuba, 2014.
- VILLALTA, V.: "MANUAL PARA LA DELIMITACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS": 2013.

ANEXOS

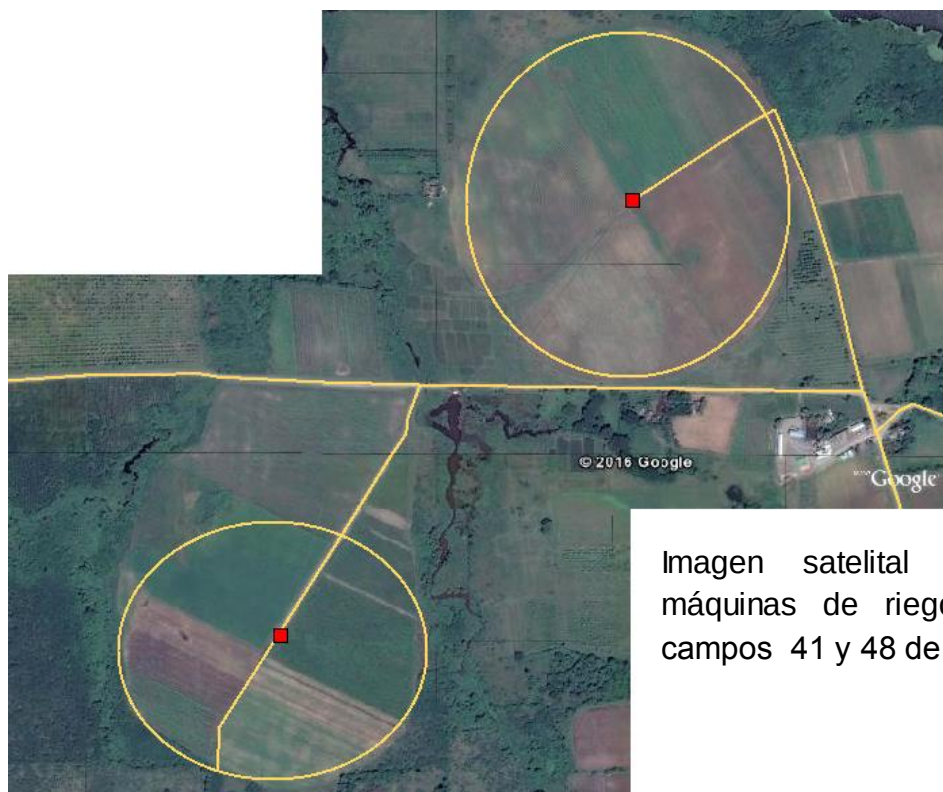


Imagen satelital tipo ráster de las máquinas de riego por Pivote Central, campos 41 y 48 de la UEB "Pirey"



Imagen satelital tipo ráster de la máquina de riego por Pivote Central del Campo 14. UEB "Pirey"



Imagen satelital tipo ráster de las máquinas de riego por Pivote Central de los Campos 28 y 41. UBPC “Jesús Menéndez”



Imagen satelital tipo ráster de la máquina de riego por Pivote Central del Campo 3. UEB “Pararrayos”

Tipos	DRENAJE
Pardo Grisáceo	Regularmente drenado
Húmico Carbonático	Bien drenado
Fersialítico Rojo Parduzco Ferromagnesial	Bien drenado
Ferralítico Rojo	Bien drenado
Aluvial	Imperfectamente drenado
Aluvial	Imperfectamente drenado
Aluvial	Imperfectamente drenado
Fersialítico Pardo Rojizo	Bien drenado
Esquelético	Imperfectamente drenado
Gley Ferralítico	Bien drenado
Ferralítico Amarillento	Imperfectamente drenado
Esquelético	Imperfectamente drenado
Esquelético	Imperfectamente drenado
Pardo con Carbonatos	Regularmente drenado
Húmico Carbonático	Bien drenado
Gley Ferralítico	Bien drenado
Ferralítico Amarillento	Imperfectamente drenado
Ferralítico Amarillento	Imperfectamente drenado
Fersialítico Pardo Rojizo	Bien drenado
Pardo sin Carbonatos	Regularmente drenado
Oscuro Plástico no Gleyzado	Bien drenado
Fersialítico Rojo Parduzco Ferromagnesial	Bien drenado
Pardo con Carbonatos	Regularmente drenado
Oscuro Plástico Gleyzoso	Bien drenado
Pardo con Carbonatos	Regularmente drenado
Pardo sin Carbonatos	Regularmente drenado
Pardo sin Carbonatos	Regularmente drenado
Pardo con Carbonatos	Regularmente drenado
Pardo sin Carbonatos	Regularmente drenado

Base de datos correspondiente a la tabla Tipos de Suelos, donde aparece reflejada la evaluación del tipo de drenaje en cada caso.