

ARTÍCULO ORIGINAL

Transformación digital en la Unidad Docente Productiva «El Guayabal»

Digital transformation in the Productive Teaching Unit «El Guayabal»

Neili Machado García

neili.machado@gmail.com • <https://orcid.org/0000-0001-6294-6481>

Gabriel Alberto Pérez Guerra

gabrielpg@unah.edu.cu • <https://orcid.org/0000-0001-6438-3627>

Claudia Aguilar Rajme

claudiaar@unah.edu.cu • <https://orcid.org/0000-0002-1733-2867>

UNIVERSIDAD AGRARIA DE LA HABANA

Recibido: 2023/10/25 • Aceptado: 2024/02/21

RESUMEN

La agricultura es una actividad fundamental para la supervivencia de la humanidad, ya que proporciona alimentos, materias primas y recursos naturales para la vida cotidiana, además de su importancia económica; la agricultura también tiene un gran impacto en el medio ambiente y la sociedad. Es una actividad que debe ser gestionada de manera responsable y sostenible, para garantizar el bienestar de las generaciones presentes y futuras. Los sistemas de soporte a la toma de decisiones son herramientas valiosas para este sector, que pueden ayudar a mejorar ese proceso y aumentar la eficiencia y la productividad del sector agrícola. En esta investigación se define el procedimiento que se debe seguir para apoyar la toma de decisiones sobre la producción agrícola, en la Unidad Docente Productiva «El Guayabal». En este procedimiento se tienen en cuenta los indicadores medioambientales de esa área geográfica y los resultados productivos históricos, para ayudar a los expertos y productores a decidir dónde y cuándo sembrar qué cultivos, para obtener los mejores resultados. Se hace necesario entonces almacenar, de forma estructurada, la información de los cultivos del centro y vincularla con los datos de la zona que están disponibles en un Sistema de Información Geográfica, para luego analizarlo de conjunto y que se pueda llegar a conclusiones basadas en los resultados de ese análisis.

Palabras clave: transformación digital, toma de decisiones, agricultura, datos espaciales, sistemas de información geográfica.

ABSTRACT

Agriculture is a fundamental activity for the survival of humanity, as it provides food, raw materials and natural resources for daily life. In addition to its economic importance, agriculture also has a great impact on the environment and society. It is an activity that must

be managed in a responsible and sustainable manner to ensure the well-being of present and future generations. Decision support systems are valuable tools for this sector, which can help improve decision making and increase the efficiency and productivity of the agricultural sector. This research defines the procedure to be followed to support decision making on agricultural production in the Productive Teaching Unit «El Guayabal». This procedure takes into account the environmental indicators of this geographical area and the historical production results to help experts and producers decide where and when to plant which crops to obtain the best results. For this purpose, it is necessary to store in a structured way the information of the crops of the center and link it with the data of the area that are already available in a Geographic Information System in order to analyze it together and reach conclusions based on the results of such analysis.

Keywords: digital transformation, decision support, agriculture, spatial data, geographic information systems.

INTRODUCCIÓN

Según informe Programa Mundial de Alimentos de las Naciones Unidas (PMA o WFP, por sus siglas en inglés), el número de personas que padecen hambre en el mundo alcanzaba los 828 millones en 2021, mientras que el sobrepeso y la obesidad continúan aumentando en todas las regiones del mundo (WFP, 2023). Esto evidencia un marcado desbalance en las condiciones de vida y alimentación. Según los expertos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), el crecimiento y la transformación continua del sector agropecuario ofrecen oportunidades sustanciales para el desarrollo agrícola, la reducción de la pobreza, los avances en materia de seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición humana (World Health Organization, 2020).

En Cuba, debido a que existen dificultades para la adquisición de recursos, el Gobierno ha trazado el Plan Nacional de Soberanía Alimentaria y Educación Nutricional (Plan SAN) (Consejo de Ministros de Cuba, 2020), el cual se sustenta en la capacidad de la nación para producir alimentos de forma sostenible y dar acceso a la población a una alimentación balanceada, nutritiva e inocua, al reducir la dependencia de medios e insumos externos, con respeto a la diversidad cultural y responsabilidad ambiental. Así mismo, se aprobaron en abril de 2021 sesenta y tres medidas (Castro, Ramos, Del Sol González, y Veloz Placencia, 2021), de las cuales treinta se consideran prioritarias y algunas de implementación inmediata, todas orientadas al sector agropecuario, y se propone impulsar el desarrollo local entre productores y cooperativas agropecuarias, para la gestión conjunta de actividades productivas que incrementen el valor agregado de las producciones primarias.

Si a esto se suma la política de informatización de la sociedad (Consejo de Ministros de Cuba, 2017), que se aplica actualmente en el país, se hace necesario dar un enfoque científico de la agricultura. La inteligencia artificial (IA) tiene el potencial de mejorar significativamente la eficiencia y productividad de este sector, y proporcionar una mayor seguridad alimentaria para la población mundial. Puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre el uso de recursos, como el agua y los nutrientes, y a identificar y controlar plagas y enfermedades. Por otra parte, los avances tecnológicos han llevado al desarrollo de drones y sensores que generan grandes

cantidades de datos y la IA permite procesar todo ese volumen de información más fácilmente, de forma tal que se obtengan datos útiles para los agricultores (Ramón Fernández, 2020).

Existen varias formas de procesar y analizar esos datos, una de ellas es utilizar algoritmos de aprendizaje automático (ML, por sus siglas en inglés) para detectar patrones y tendencias en los datos. Por ejemplo, los algoritmos de ML pueden utilizarse para analizar imágenes de cultivos, detectar plagas o enfermedades, analizar datos meteorológicos y predecir las condiciones climáticas futuras. Estas herramientas permiten a los agricultores visualizar y analizar fácilmente los datos, lo que les ayuda a tomar decisiones informadas sobre el uso de recursos y el manejo de cultivos. Además, algunas de estas herramientas y algoritmos están disponibles en plataformas en la nube, lo que permite a los agricultores acceder a los datos y analizarlos desde cualquier lugar y en cualquier momento (Ponte, Espinosa, Gibeaux de González, y González, 2021).

Al momento de tomar decisiones en el sector agrícola es importante poder analizar los diferentes factores que inciden sobre una cosecha, como pueden ser tipo de suelo, los minerales presentes en él, la época del año, características climatológicas, tipo de cultivo y fertilizantes utilizados, entre otros. En muchas ocasiones, estos datos provienen de diferentes fuentes y la forma que existe para poder conocer cuáles corresponden al área de interés es necesaria para ubicarlos geográficamente. La georreferencia es la ubicación concreta de un punto en un sistema de coordenadas geográficas (ASALE, 2022), por lo que al tener la información georreferenciada se pueden visualizar en un mapa y relacionar con otros datos, siempre y cuando estos también estén georreferenciados. La georreferenciación de los datos permite a los agricultores ver cómo los factores ambientales (clima, suelo, relieve, etc.) afectan a los cultivos en diferentes áreas. También ayuda a planificar y administrar mejor los recursos (agua, fertilizantes, etc.), al poder identificar las áreas que requieren más atención y que los recursos necesarios para su rendimiento sea mayor (Angulo Orobio, 2023). Los datos georreferenciados pueden ser utilizados como una fuente valiosa de información para mejorar los procesos de toma de decisiones en la agricultura.

Algunas de las herramientas para ayudar a que las personas tomen mejores decisiones se conocen como Sistemas de Soporte de Decisión (DSS, por sus siglas en inglés). El apoyo a una decisión significa auxiliar a las personas para que reúnan conocimientos, generen alternativas y sugieran decisiones, basados fundamentalmente en IA y ML. A nivel internacional, se pueden encontrar múltiples ejemplos de estos sistemas, algunos de ellos en las investigaciones de Jacobs (2019); Charania y Li (2020); Trichkova y Paunova (2021); Malvar, Badam y Chandra (2022); y Climate FieldView (2023).

En el contexto de Cuba, los procesos de digitalización de la sociedad se enfocan hacia la llamada transformación digital (TD); sin embargo, en el sector de la agricultura esas transformaciones son mucho más lentas, aunque se aprecian avances. Ejemplos de estos avances se pueden encontrar en los trabajos de Machado, González, y Balmaseda (2014); Molina, Pereira y García (2015); Machado, Machado, Rodríguez y Balmaseda (2016); Franco, Guerra, García y Pérez (2022); y Martínez, Molina, García y López (2022).

La Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez (UNAH) cuenta con la Unidad Docente Productiva (UDP) «El Guayabal», la cual es una granja agrícola ubicada en el municipio de San José de Las Lajas, que posee áreas de producción agropecuaria centradas fundamentalmente en mostrar la aplicación de la ciencia y la tecnología en el campo agrario. En estas áreas se llevan a cabo investigaciones que contribuyen a la formación teórica y práctica de estudiantes y al mejoramiento de la producción de alimentos. La UDP cuenta con un registro histórico de las producciones obtenidas desde 2001 hasta la actualidad. Estos valores no están georreferenciados, por lo que actualmente no se puede establecer relación alguna entre esos resultados productivos y las características del entorno que pueden o no incidir sobre ellos y, por tanto, solo se puede llevar el registro de lo que ya se produjo sin

posibilidad de valorar la incidencia de otros factores para decisiones futuras, por lo que esta investigación se propone como objetivo desarrollar una infraestructura capaz de integrar datos geográficos de fuentes heterogéneas en un SIG, con un procedimiento para el apoyo a la toma de decisiones en la producción agrícola de la UDP «El Guayabal».

Esta investigación tiene especial relevancia, ya que genera herramientas informáticas que contienen información correspondiente al área de la granja. Entre ellas destaca la base de datos del SIG, con todas las capas de información georreferenciada que posee de la zona. El clima y los recursos naturales son factores que afectan la producción agrícola; su influencia en un cultivo determinado depende de las características de la localidad geográfica y las condiciones específicas de producción, por lo que tener conocimiento de estas puede hacer la diferencia a la hora de obtener resultados en la producción.

METODOLOGÍA

En este capítulo se realiza una caracterización del área de estudio y se presentan las características de la información que fue utilizada durante esta investigación. Luego se presenta el procedimiento que se debe seguir para el apoyo a la toma de decisiones y, finalmente, las herramientas de software utilizadas para el almacenamiento y la gestión de la información.

Caracterización del área de estudio

La investigación se realizó en la UDP «El Guayabal», la cual se encuentra ubicada en las coordenadas 22°59'57.49"N y 82°10'09.42"W, a las afueras del poblado de San José de las Lajas. Pertenece a la provincia Mayabeque, específicamente a la UNAH, de la cual se encuentra a solo 5,3 km. Esta unidad docente combina el trabajo de investigación de estudiantes y profesores del Complejo Científico Docente¹ con la producción agropecuaria y permite la validación de esas investigaciones en un escenario controlado. Las producciones resultantes de esta entidad se destinan fundamentalmente para contribuir a la alimentación de los estudiantes, profesores y trabajadores del complejo (Pérez, Franco, Ruiz, y García, 2022).

Posee una extensión de 665,7 ha, equivalente a 49,6 caballerías. Su área agrícola es de 72,2 ha y sus suelos son predominantemente ferralíticos rojos. En este centro se desarrollan procesos de ingeniería, agrícolas, de salud y reproducción animal. Así mismo, se trabaja en la ceba de toros, cría, apicultura, acuicultura y en la comercialización de estos. Su área productiva cuenta con cría de ganado mayor y menor, como: vacas, cerdos, aves, conejos y peces. El centro se caracteriza por la labor investigativa y científica, así como por la producción agropecuaria que se pretende sea cada vez mayor (Franco, 2022). En ella predominan los suelos de tipo ferralítico rojo con una erodabilidad baja, lo cual indica que el factor generador del fenómeno en esta localidad está asociado básicamente a la erosión por impacto y al efímero escurrimiento producido durante las precipitaciones (Vega, Febles, y Tolón, 2011).

De acuerdo con el Instituto de Meteorología (INSMET) (2022), el clima de la zona, comprende dos épocas o estaciones perfectamente definidas: una de abundantes lluvias y temperatura, humedad relativa, evaporación y horas/sol más altas, que comprende los meses de mayo a octubre, y otra que se caracteriza por valores menores a los indicadores señalados, que incluye de noviembre a abril. En la época de lluvias, las precipitaciones alcanzan 67,2 % del total anual, con un promedio de precipitación anual de 87 mm; sin embargo, hay una gran variación entre

¹ El Complejo Científico Docente está formado por la UNAH, el Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA), el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) y el Instituto de Ciencia Animal (ICA).

épocas del año, lo que permite dividir los meses de muy secos a muy húmedos. La temperatura media del aire alcanza sus valores mayores en julio y agosto (32 °C) y los valores inferiores en enero y febrero (16 °C y 18 °C). El promedio mensual de evaporación alcanza su valor máximo en mayo (230,6 mm) y su valor mínimo en diciembre (113,6 mm). En general, los valores de máxima evaporación se corresponden con los de máxima insolación.

Para el desarrollo de esta investigación, los directivos del centro facilitaron los siguientes documentos: Reporte Anual de la Producción Agrícola (2020-2021), Resumen Mensual de la Producción Agrícola en Proceso (2018-2021) y los Boletines Económicos (2011-2019).

Estos documentos permitieron determinar los productos que se cultivan en la UDP y las fechas de siembra y cosecha. Para determinar las ubicaciones geográficas de las principales áreas productivas, los directivos del centro guiaron un recorrido por las áreas. Se utilizó la herramienta informática para dispositivos móviles Fields Area Measure Pro², la cual permitió —con la ayuda del GPS y las imágenes satelitales— mapear áreas de producción agropecuaria. Utilizando esta técnica se marcaron y etiquetaron las diferentes áreas de producción agrícola de la UDP «El Guayabal», así como la localización y extensión de la máquina de riego (tipo Fregat).

Toda la información espacial obtenida se almacenó en ficheros de información geográfica (SHP, KML y OSM), con sus respectivas fechas de creación. Por otro lado, el Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNAH facilitó los mapas de suelo del área, los cuales contienen los tipos de suelo presentes en el área y la concentración de fósforo, magnesio, potasio y pH de los suelos.

En la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales (FCEE) de la UNAH, como parte del proyecto no asociado a programa «Desarrollo del escenario tecnológico-científico-docente-productivo de la agricultura cubana en la Granja Universitaria Guayabal», se confecciona el Anuario Estadístico del Guayabal, con la información brindada por los directivos del centro. Este anuario, en su primera versión, comprende datos entre 2002 y 2011, de los cincuenta indicadores (tabla 1) asociados a la producción en este período, conteniendo así un total de 2 380 registros.

Tabla 1. Indicadores presentes en el Anuario Estadístico del Guayabal

No.	Indicador	Unidad de medida
1	Producción de huevo	unidad
2	Cantidad de gallinas ponedoras a inicios del mes	cabezas
3	Cantidad de gallinas ponedoras a finales del mes	cabezas
4	Cantidad de gallinas ponedoras promedio en el mes	cabezas
5	Rendimiento de gallinas ponedoras	unidad/cabezas
6	Carne de gallina	kg
7	Gallinas sacrificadas	unidad
8	Rendimiento de gallinas sacrificadas	cabezas
9	Peso promedio total de gallinas sacrificadas	kg
10	Cantidad de pollos de ceba	cabezas
11	Pollos de ceba sacrificados	cabezas
12	Rendimiento de pollos de ceba sacrificados	cabezas
13	Cantidad carne de conejo	kg

² Herramienta para dispositivos móviles desarrollada por la empresa Farmis, dedicada a la medición de terrenos, utilizando la ayuda de dispositivos GPS e imágenes satelitales.

No.	Indicador	Unidad de medida
14	Cantidad de conejos sacrificados	cabezas
15	Rendimiento de conejos sacrificados	cabezas
16	Peso promedio de conejos sacrificados	kg
17	Cantidad carne de cerdo	kg
18	Cantidad de cerdos sacrificados	cabezas
19	Rendimiento de cerdos sacrificados	cabezas
20	Peso total de cerdos sacrificados	cabezas
21	Cantidad de carne vacuna	kg
22	Cantidad de sacrificios vacunos	cabezas
23	Rendimiento de sacrificios vacunos	kg/cabezas
24	Peso total de vacunos sacrificados	kg
25	Cantidad de carne de búfalos	kg
26	Cantidad de sacrificios de búfalo	cabezas
27	Rendimiento de sacrificios de búfalos	kg/cabezas
28	Peso total de sacrificios de búfalos	kg
29	Plan de producción de leche	litros
30	Producción real de leche	litros
31	Rendimiento de vacas en ordeño	litros/cabeza
32	Nacimientos	cabezas
33	Existencias de vacas	cabezas
34	Muertes de vacas	cabezas
35	Cantidad de carne ovinos-caprinos	kg
36	Cantidad de ovinos-caprinos sacrificados	cabezas
37	Rendimiento de ovinos-caprinos sacrificados	kg/cabezas
38	Peso total de ovinos-caprinos sacrificados	kg
39	Cantidad de carne equina	kg
40	Cantidad de equinos sacrificados	cabezas
41	Rendimiento de equinos sacrificados	kg/cabezas
42	Peso total de equinos sacrificados	kg
43	Cantidad de viandas en huertos y organopónicos	kg
44	Cantidad de hortalizas en huertos y organopónicos	kg
45	Cantidad de granos en huertos y organopónicos	kg
46	Cantidad de frutales en huertos y organopónicos	kg
47	Cantidad de viandas en áreas de hasta 100 ha	kg
48	Cantidad de hortalizas en áreas de hasta 100 ha	kg
49	Cantidad de granos en áreas de hasta 100 ha	kg
50	Cantidad de frutales en áreas de hasta 100 ha	kg

Procesamiento de ficheros espaciales, datos climáticos e indicadores para la toma de decisiones

Para procesar los ficheros espaciales y almacenar su contenido en una base de datos espacial, se utilizaron las herramientas proporcionadas por PostGIS. Los programas shp2sql y ogr2ogr, incorporados en PostGIS, contienen las

herramientas necesarias para la importación de ficheros de mapas a una base espacial PostgreSQL. Estos pueden ser ejecutados desde la terminal del sistema³.

Mediante el uso de los comandos de la terminal, los ficheros se procesan y adicionan en la base de datos como tablas independientes, pudiéndose visualizar como capas en el SIG (PostGIS, 2022).

El estado del tiempo se obtuvo a partir de la información suministrada por INSMET. Las características de su sitio web y la carencia de servicios web hacen imposible ejecutar esta tarea de forma automatizada. La información fue obtenida de su sitio web institucional y formateada a la estructura JSON. Se seleccionaron como valores para almacenar: las temperaturas máxima y mínima, el porcentaje de humedad, la velocidad del viento y el acumulado de lluvias en 24 horas.

Teniendo en cuenta los datos que ya se recogían para el anuario, y tras realizar varios análisis de conjunto con los directivos y especialistas de la granja, fue necesario añadir otros valores que se manejan en el centro, pero que no se llevaban al reporte final de producción, como son el desglose por tipo de cultivo para que, además de la producción total de viandas, granos, frutas y hortalizas, sea posible determinar, por ejemplo, cuánto corresponde a boniato y cuánto a malanga, siendo estos cultivos los que se relacionan directamente con el área donde están sembrados en el SIG y no el tipo de cultivo en sí. También es necesario almacenar qué cultivo hay sembrado en las áreas y la fecha de siembra y cosecha. Esto se utiliza para enmarcar el período de tiempo en que estuvo sembrado y poder asociarlo a los registros del clima diarios de la granja. Se debe registrar, además, el plan de producción de esa siembra, para luego cuando se coseche y se calcule el total de producción real determinar si este se cumplió o no, y tomarlo como variable de referencia para la toma de decisiones.

Relaciones entre los datos de las diferentes fuentes

A partir de las investigaciones de Agarwal y Rajan (2016) y Deprizio (2020), que demuestran la fiabilidad y posibilidades que brinda PostgreSQL, con su extensión PostGIS para el almacenamiento y procesamiento de información espacial, se seleccionaron estas herramientas para administrar la información espacial. Con el objetivo de visualizar la información espacial se utilizó QGIS. Las investigaciones de Ruiz Fernández (2016) y Olivo Bermeo (2019) demuestran la utilidad de QGIS como software SIG de código abierto y su gran cantidad de funcionalidades disponibles.

A partir de los datos que se recopilan para el anuario se diseñó una base de datos (cultivos_guayabal), la cual cuenta con cuatro entidades: producción, área, cultivo y área_cultivo. En producción se almacenan los tipos de producción: viandas, frutas, hortalizas y granos. Los registros de área y área_cultivo se corresponden con las áreas geográficas, en las cuales se encuentra dividida la UDP, geográficamente delimitadas en el SIG, y los cultivos que hay sembrados en cada una de ellas según la fecha. Los cultivos responderán a un tipo de producción y podrán estar sembrados en diferentes áreas, así como en un área se podrán tener varios cultivos en diferente fecha. Para un cultivo sembrado en un área en una fecha específica, se debe almacenar la fecha de recogida, el plan de producción y una vez cosechado se debe registrar la producción real, la cual se divide en producción de cultivos permanentes y temporales: la suma de estos será la producción real que habrá que valorar con respecto al plan de producción para determinar si se cumplió o no.

³ Programa informático que provee una interfaz de usuario para acceder a los servicios del sistema operativo. Dependiendo del tipo de interfaz que empleen, las terminales pueden ser: De líneas texto, Gráficos, De lenguaje natural.

Finalmente, para el análisis de los datos se emplea el software Weka en su versión de escritorio 3.8.6, al cual se le deben introducir los datos mediante un archivo ARFF. Como se tienen los datos almacenados en dos bases de datos diferentes, fue necesario implementar una arquitectura orientada a servicios que se comunicaran con ambas, extrajera la información necesaria y creara el archivo ARFF. Para la clasificación se utiliza el algoritmo J48 y para el agrupamiento el algoritmo SimpleKMeans. Los resultados del procesamiento de los datos sirven para que los encargados de tomar decisiones en la granja puedan hacerlo sobre la base del conocimiento. Esto es posible por las estadísticas y relaciones que se observan en los resultados expuestos por Weka.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos con la infraestructura desarrollada. Se ejemplifica el uso de esa infraestructura con varios ficheros de información geográfica, conseguidos por el estudio en el centro. Se muestra la realización del proceso desde la entrada de datos y su captura mediante la aplicación móvil, hasta su visualización en el software SIG, además del tratamiento de la información climática que es introducida al software.

Infraestructura de *software* para el almacenamiento y la visualización de información espacial

Las fuentes de información disponibles nutrieron la base de datos por medio de una herramienta desarrollada utilizando Spring Boot. Los trabajos de Jayawardana et al. (2018) y Dinh-Tuan et al. (2020) realizan una comparación entre diferentes marcos de microservicios y concluyen que Spring Boot es uno de los más útiles y estandarizados de los últimos años. Los servicios web permiten procesar los diferentes formatos de ficheros espaciales (SHP, KML y OSM) y adicionar la información al servidor geoDataImporter. Además, se incluye en la base de datos el estado del tiempo proveniente de un fichero en formato JSON.

Se adicionó a los nombres de las capas una marca de fecha y hora, que permitió converger en la misma base de datos varios objetos geográficos de la misma zona a lo largo del tiempo, añadiendo así una marca de tiempo a las capas. Se utilizó el siguiente formato de fecha y hora: YYYY-MM-DDHHmm, donde YYYY es el año actual (cuatro cifras), MM el mes actual (dos cifras), DD el día actual (dos cifras), HH la hora actual en formato de 24 horas (dos cifras) y mm los minutos actuales (dos cifras).

Información geográfica de la UDP «El Guayabal»

Para obtener ficheros espaciales con información de las áreas de producción agropecuaria de la UDP, se utilizó la herramienta Fields Area Measure Pro con uso del GPS, donde se localizaron las áreas de producción agrícola del centro y el área que abarca la máquina de riego y el brazo mecánico. Una vez incorporados los datos en la base de datos se procedió a su visualización mediante QGIS. La figura 1a muestra un ejemplo de varias capas importadas, utilizando la infraestructura desarrollada. En este ejemplo fueron incluidas dos capas: áreas agrícolas guayabal y área de la máquina de riego. Se incorporó además una capa compuesta por las imágenes satelitales de la zona provenientes de los servicios de Google Maps. En la figura 1b se pueden apreciar las áreas de producción agrícola y el tipo de suelo sobre el que se encuentran ubicadas, así como la información de los datos del clima de la zona. En QGIS se puede alternar entre las capas y realizar consultas especializadas sobre esta.

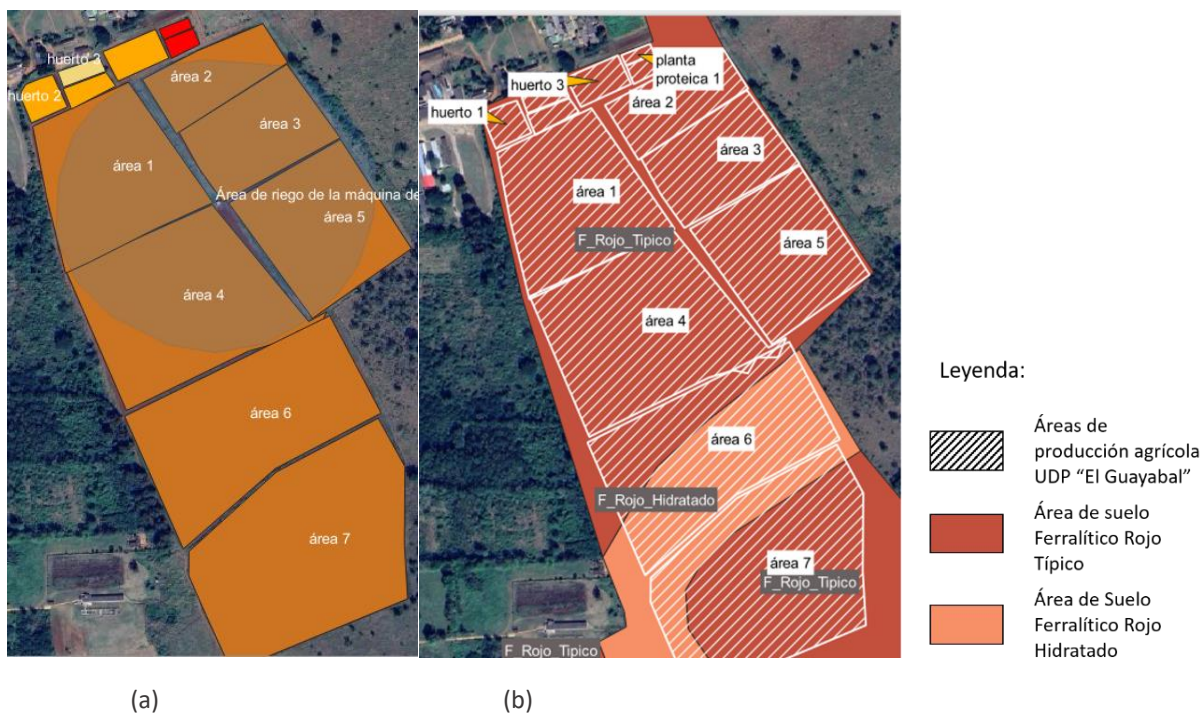


Fig. 1 Áreas productivas de la UDP Guayabal.

Inteligencia Artificial en la UDP «El Guayabal»

A partir de los datos almacenados en las bases de datos presentadas en el capítulo anterior (cultivos_guayabal y geo_guayabal), se implementó una arquitectura orientada a servicios, que permite extraer la información necesaria de ambas fuentes y crear el archivo ARFF. En este caso se generó el fichero data-2022-8.arff, que incluye la información de agosto de 2022. Una vez se tiene la información en este formato se procede a cargarlo con el software Weka para su análisis. Lo primero que se puede conocer es la cantidad de instancias y atributos presentes en el archivo, en este caso 372 y 22 respectivamente. Del atributo que esté seleccionado se puede observar el nombre, tipo de dato, cantidad de instancias y porcentaje que representan del total, cantidad de valores distintos que toma el atributo en el conjunto de datos y porcentaje de valores que están en solo una de las instancias, o sea, que son únicos. Por cada uno de los atributos se puede conocer los valores que toman y observar sus histogramas. Además, se puede visualizar una matriz donde se ve la relación que existe entre todos los atributos.

Para la clasificación se crea un árbol de decisión con el algoritmo J48. En los datos de salida del algoritmo se puede observar que el grado de confiabilidad del árbol es de 100 %, ya que de un total de 372 instancias fueron ignoradas 93 (tenían asignado como valor una clase desconocida, debido a que en esas áreas no se sembró y, por tanto, no había un plan de producción que cumplir) y las 279 restantes fueron clasificadas correctamente, teniendo 186 en el grupo de las que sí cumplieron el plan y 93 en el de las que no cumplieron (figura 2). Con este análisis se identificó que la variable que realmente influye en que se cumpla o no el plan de producción es la concentración de magnesio en el suelo, ya que en los casos donde el valor es menor o igual a 1,71 sí se cumplió la producción, pero cuando era mayor no.

umentar el número de instancias (las genera con valores similares a los de los datos reales y los ubica en el clúster que le corresponde), para ver cómo sería el comportamiento de los clústers. Esta es solo una parte de la información que se puede obtener de un conjunto de datos utilizando Weka y que puede servir como punto de partida para tomar decisiones sobre la base del conocimiento.

CONCLUSIONES

El despliegue de la infraestructura conformada por el software SIG QGIS, el SGBD PostgreSQL (con su extensión PostGIS para la manipulación de información espacial) y el software desarrollado geoDataImporter permite crear un entorno colaborativo de intercambio de información espacial, y facilita la actualización y visualización de la información espacial de las áreas de producción agrícola a los directivos de la UDP «El Guayabal» y a los estudiantes y profesores que desarrollan investigaciones en este centro.

Se estableció el procedimiento que se debe seguir para el apoyo a la toma de decisiones en el área agrícola de la UDP «El Guayabal», que consta de cinco pasos:

1. Identificar indicadores que determinan el cumplimiento o no del plan de producción.
2. Almacenar la información de producción, asociándola al área geográfica donde está sembrada.
3. Relacionar esa información con el resto de indicadores mediante el componente espacial.
4. Procesar el conjunto de datos resultante.
5. Tener en cuenta los resultados durante la toma de decisiones.

Se analizaron las técnicas y los algoritmos que posee Weka para el procesamiento de datos, resultando elegidos el árbol de decisión J48 para la técnica de clasificación y el SimpleKMeans para el agrupamiento, sus resultados constituyen los elementos para el apoyo a la toma de decisiones en el área agrícola de la UDP.

REFERENCIAS

- Agarwal, S., y Rajan, K. S. (2016). Performance analysis of MongoDB versus PostGIS/PostgreSQL databases for line intersection and point containment spatial queries. *Spatial Information Research*, 24(6): 671-677. Springer.
- Angulo Orobio, J. R. (2023). El papel de la georreferenciación y las tecnologías en el campo de la zootecnia.
- ASALE, R. (2022). Georreferencia. «Diccionario de la lengua española»-Edición del Tricentenario. Recuperado a partir de <https://dle.rae.es/georreferencia>
- Castro, Y., Ramos, G. L., del Sol González, Y., y Veloz Placencia, G. (2021, abril 15). Sesenta y tres medidas para incrementar la producción de alimentos en el país. *Granma.cu*. Recuperado diciembre 14, 2022, a partir de <https://www.granma.cu/cuba/2021-04-15/sesenta-y-tres-medidas-para-incrementar-la-produccion-de-alimentos-en-el-pais>
- Charania, I., y Li, X. (2020). Smart farming: Agriculture's shift from a labor intensive to technology native industry. *Internet of Things*, 9, 100142. Elsevier.
- Climate FieldView (2023). Digital Farming decisions and insights to maximize every acre. Recuperado enero 31, 2023, a partir de <https://climate.com/>

-
- Consejo de Ministros de Cuba (2017). Política Integral para el Perfeccionamiento de la Informatización de la Sociedad en Cuba 2017.
- Consejo de Ministros de Cuba (2020). Plan Nacional de Soberanía Alimentaria y Educación Nutricional. La Habana: Gaceta Oficial de la República.
- Deprizio, J. (2020, enero 29). Comparative Analysis of Database Spatial Technologies (CADST) (Thesis). Fairfax, USA: George Mason University. Recuperado a partir de <http://mars.gmu.edu/handle/1920/11656>
- Dinh Tuan, H., Mora Martínez, M., Beierle, F., y Garzon, S. R. (2020). Development Frameworks for Microservice-based Applications: Evaluation and Comparison. Proceedings of the 2020 European Symposium on Software Engineering, 12-20. Presentado en ESSE 2020: 2020 European Symposium on Software Engineering, Rome Italy: ACM. doi:10.1145/3393822.3432339
- Franco, I. S., Guerra, G. A. P., García, D. N. M., y Pérez, D. M. E. R. (2022). Procesamiento de consultas en un Sistema de Información Geográfica. Anuario Ciencia en la UNAH, 20(3).
- Franco Sosa, I. (2022). Método para la realización de consultas en un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio UDP “El Guayabal”, Tesis en opción al título de Máster en Biomatemática. San José, Mayabeque: Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez.
- INSMET (2022, agosto). Resumen Sinóptico Mensual. Instituto de Meteorología. Recuperado octubre 30, 2022, a partir de <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=MES&TB2=/Mes/SEPTIEMBRE2021.HTM&TB3=2021>
- Jacobs, F. (2019). Plan de negocios: empleo de drones en la agricultura de precisión. Universidad de San Andrés. Escuela de Negocios.
- Jayawardana, Y., Fernando, R., Jayawardena, G., Weerasooriya, D., y Perera, I. (2018). A Full Stack Microservices Framework with Business Modelling. 2018 18th International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer), 78-85. Presentado en 2018 18th International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer). doi:10.1109/ICTER.2018.8615473
- Machado García, N., González Ruiz, L., y Balmaseda Espinosa, C. (2014). Recuperación de objetos geoespaciales utilizando medidas de similitud semántica. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 8(2): 132-144. Universidad de las Ciencias Informáticas.
- Machado García, N., Machado Molina, M., Rodríguez Lohuiz, I., y Balmaseda Espinosa, C. (2016). Técnicas semánticas en la localización geoespacial de los suelos en Cuba utilizando medidas de similitud espacial. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 25(4): 47-54. 1986, Universidad Agraria de La Habana.
- Malvar, S., Badam, A., y Chandra, R. (2022). FarmBeats: Digital Water for Agriculture. Resource Magazine, 29(4), 40-42. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Martínez, M. Y., Molina, M. M., García, N. M., y López, E. V. (2022). Técnicas de aprendizaje supervisado para la detección y clasificación de enfermedades y defectos en imágenes de frutas: revisión. Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación, 7(1), 1-16.

-
- Molina, M. M., Pereira, A. G., y García, N. M. (2015). Sistema automatizado para la determinación del estado de maduración en fruta bomba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24, 56-61. Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez.
- Olivo Bermeo, M. J. (2019, septiembre 24). Comparativas de software sig libre y comercial para estudios Ambientales. (Thesis). Ecuador: Pontifica Universidad Católica de Ecuador. Recuperado a partir de <http://localhost/xmlui/handle/123456789/1974>
- Pérez Guerra, G. A., Franco Sosa, I., Ruiz, M. E., y García Machado, N. (2022). Integración de distintas fuentes de datos en un Sistema de Información Geográfica. Presentado en XVI Conferencia Científica Ingeniería Agrícola AGRING 2022, San José, Mayabeque.
- Ponte, D., Espinosa, A., Gibeaux de González, S., y González, C. (2021). Estado actual del aprendizaje automatizado aplicado al Internet de las cosas para automatizar procesos agrícolas. Universidad Autónoma de Chiriquí.
- PostGIS, O. W. (2022, julio). PostGIS. Official Documentation. PostGIS. Recuperado agosto 1, 2022, a partir de https://postgis.net/docs/using_postgis_dbmanagement.html
- Ramón Fernández, F. (2020). Inteligencia Artificial y Agricultura: nuevos retos en el sector agrario. *Campo Jurídico (Online)*, 8(2): 123-139. Faculdade São Francisco de Barreiras.
- Ruiz Fernández, E. (2016). Comparativa de software para la Realización de Simbolización Cartográfica. Asturias, España: Universidad de Oviedo.
- Trichkova Kashamova, E., y Paunova Hubenova, E. (2021). Integrated software solutions in animal husbandry. 2021 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), 248-251. IEEE.
- Vega, M. B., Febles, J. M., y Tolón, A. (2011). Evaluación de la erosión potencial de los suelos mediante la metodología CORINE en distritos pecuarios de la provincia Mayabeque, Cuba, 7.
- World Food Programme (2023). Una crisis alimentaria mundial. Recuperado febrero 17, 2023, a partir de <https://es.wfp.org/crisis-global-hambre>
- World Health Organization (2020). The state of food security and nutrition in the world 2020: transforming food systems for affordable healthy diets, vol. 2020. Food & Agriculture Org.

Copyright © 2024, Machado García, N.; Pérez Guerra, G. A., Aguilar Rajme, C.



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Atribución-No Comercial 4.0 Internacional