

Aprovechamiento de la lluvia en fincas de productores agropecuarios

Utilization of Rain in Farms of Agricultural Producers

 Luis Rivero Ramos^{1*},  Andrés Fuentes Soto¹, Francisco Martínez Rodríguez¹,
 Leamnet Sánchez Pedroso¹ y  Amaury Beltrán Méndez¹

¹Instituto de Suelos del Minag, Capdevila, Boyeros, La Habana, Cuba.

E-mail: luisrrg235@gmail.com, 1949simio@gmail.com, leamnetsanchezpedroso@gmail.com, amaurybascos@gmail.com

*Autor para correspondencia: Luis Rivero Ramos, e-mail: luisrrg235@gmail.com

RESUMEN: El presente trabajo establece las vías para dar seguimiento a la variabilidad espacio-temporal de las reservas de agua del suelo y su relación con el régimen de lluvias, en fincas de producción agropecuaria y forestal. Se diseñó y aplicó un sistema de muestreo identificado como *EsqMuest v2*, para lo cual se tomaron fincas patrones del Polígono Nacional de Conservación y Mejoramiento de Suelos, Aguas y Bosques (PNCMSAB). Se realizó un análisis integral de los factores que son determinantes en el aprovechamiento del agua en las referidas unidades productivas y se analizaron las denominadas zanjas de absorción captadoras de agua de lluvia como adaptación al cambio climático. Las zanjas funcionan como medida de mejoramiento hídrico, de conjunto con el manejo adecuado de la cubierta vegetal y del suelo, en correspondencia con las condiciones topográficas del entorno en que se encuentren las fincas. Se cumplieron tres objetivos principales: (1) analizar la distribución geoespacial y coincidencia de los factores principales que condicionan el aprovechamiento de la lluvia; (2) diseñar un sistema de muestreo de la humedad del suelo; (3) aplicar el sistema de muestreo para estimar el impacto de las medidas.

Palabras clave: agua de lluvia, esquema de muestreo, zanjas de absorción, fincas agropecuarias.

ABSTRACT: This work establishes ways to track the spatiotemporal variability of soil water reserves and their relationship with rainfall patterns on agricultural and forestry farms. A sampling system, identified as *EsqMuest v2*, was designed and applied, using reference farms from the National Polygon for Soil, Water, and Forest Conservation and Improvement (PNCMSAB). A comprehensive analysis was conducted on the key factors influencing water utilization in these productive units, including the rainwater absorption trenches as an adaptation to climate change. These trenches function as a water improvement measure, along with proper management of vegetation cover and soil, in alignment with the topographic conditions of the farms' surroundings. Three main objectives were achieved: (1) analyze the geospatial distribution and correlation of the key factors influencing rainwater utilization; (2) design a soil moisture sampling system; (3) apply the sampling system to estimate the impact of the measures.

Keywords: Rainwater, Sampling System, Absorption Trenches, Agricultural Farms.

INTRODUCCIÓN

El comportamiento de los indicadores y variables en una sección de área de suelo, es el reflejo de la coincidencia de grupos de factores incidentes en la misma (Rivero et al., 2010). Por ejemplo, en la variable referida al contenido de humedad del suelo ($W\%$) incide un conjunto de factores dentro de los cuales hay cinco que son determinantes: fuentes de agua disponibles, funcionamiento físico del suelo, estado de la cubierta vegetal, inclinación del terreno y manejo del suelo por los usuarios de la tierra, lo que se

resume en: disponibilidad de agua, suelos, cubierta vegetal, pendiente y manejo.

La combinación de los cinco factores, en un territorio determinado, es finita y se puede determinar la variabilidad de todas en el espacio y tiempo, lo que está en concordancia con lo planteado por Rivero et al. (2024), en lo que los autores denominaron como *concepción geoespacial integral* (CGEI), la que puede ser de mucho valor en el enfrentamiento de diversos problemas resumidos en la denominada Ley de Soberanía y Seguridad Alimentaria y Nutricional (GOC-Cuba, 2022).

Recibido: 18/09/2025

Aceptado: 05/02/2026

Conflicto de intereses: Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Contribuciones de autor: **Conceptualización:** Dr.C. Luis Rivero, MSc. Andrés Fuentes. **Curación de datos:** Dr.C. Luis Rivero, MSc. Leamnet Sánchez, Ing. Francisco Martínez. **Análisis formal:** Dr.C. Luis Rivero, MSc. Andrés Fuentes, Ing. Francisco Martínez. **Investigación:** Dr.C. Luis Rivero, MSc. Andrés Fuentes. **Metodología:** Dr.C. Luis Rivero, MSc. Andrés Fuentes, MSc. Leamnet Sánchez, Téc. En Informática Amaury Beltrán. **Validación:** Dr.C. Luis Rivero, MSc. Leamnet Sánchez, Ing. Francisco Martínez. **Redacción-borrador original:** Dr.C. Luis Rivero Ramos, **Redacción, revisión y edición:** Dr.C. Luis Rivero, MSc. Leamnet Sánchez.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



La aplicación práctica de la referida concepción, se logra con el uso de tecnologías avanzadas de la información (*TAInf*) que contempla, como áreas tecnológicas primarias, al Sistema de Posicionamiento Global por Satélite (GPS), la Teledetección (TD) con énfasis en la adquisición, procesamiento y análisis de imágenes satelitales, Diseño Asistida por Computadoras (CAD) y Sistema de Información Geográfica (SIG). Este último cumple la función de organizar, analizar e integrar el gran volumen de información que puede derivar de los tres primeros.

Al desarrollo de estas tecnologías y el importante papel que cumplen en la actualidad, se refiere Sánchez San Martín (2021) y analiza lo que denomina como “*flujo conceptual del proceso del mapeo digital de suelos*”. En este mismo sentido se plantea el trabajo de Malone et al. (2017); Rivero et al. (2013) que coinciden con uno de los trabajos iniciales y de mayor relevancia en esta dirección McBratney et al. (2003), el que constituye la base del modelo *SCORPAN*, cuya concepción es utilizada en el análisis que plantea el presente trabajo.

El referido modelo se ha desarrollado de forma acelerada en los primeros 24 años del presente siglo, con el apoyo de lo logrado a partir de la década de los 70 de la pasada centuria con el surgimiento de la Geomática en Canadá. Uno de los principales avances de la ciencia en este sentido es que, paralelamente con el desarrollo de las áreas tecnológicas ya mencionadas, se han desarrollado los programas del SIG y programas para el análisis estadístico avanzado, como es el caso de Malone et al. (2017).

Sobre la base de estos avances, el Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura, en colaboración con otras entidades, ha realizado varias aplicaciones prácticas, sintetizadas por Rivero et al. (2018; 2018; 2024). En el presente trabajo, nos proponemos los siguientes objetivos: (1) analizar la distribución geoespacial y coincidencia de los factores principales que condicionan el aprovechamiento de la lluvia; (2) diseñar un sistema de muestreo de la humedad del suelo para validar el impacto de medidas, dirigidas al aprovechamiento del agua en las fincas seleccionadas; (3) aplicar el sistema de muestreo para estimar el impacto de las medidas, dirigidas al mejor aprovechamiento del agua de lluvia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica y caracterización general de las áreas de estudio

En la Figura 1 se representa el límite general (línea roja) dentro del cual se encuentran las fincas que se tomaron como patrones para el desarrollo del presente trabajo, en el contexto geográfico del Polígono Nacional de Conservación y Mejoramiento de Suelos, Aguas y Bosques (PNMCSAB), sobre el cual se puede encontrar más información en Fuentes et al. (2019). Se tuvo en cuenta que, en el total de las áreas delimitadas, estuvieran representadas las principales variantes, con respecto a los

comportamientos de los factores que se consideran claves en el aprovechamiento de las fuentes de agua que existen y/o pueden existir en las referidas áreas, con énfasis en las lluvias.

Esto implica que, el seguimiento principal, se realiza dentro de los límites de las fincas, pero también se muestrean sitios fuera de estos límites a modo de comprobación. En el caso específico de este trabajo, se hace énfasis en la Finca Victoria 1, delimitada con línea amarilla en la Figura 1. Esta es en la que más se ha avanzado en la aplicación de medidas de conservación y mejoramiento de suelos, que a la vez son claves en el aprovechamiento del agua.

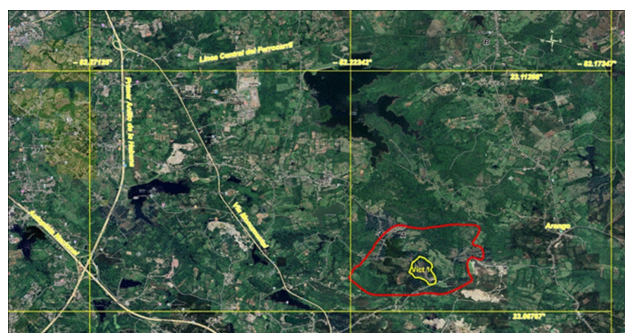


Figura 1. Ubicación geográfica y caracterización general del área de estudio.

Creación de las bases para el diseño e implementación del sistema de muestreo

En este sentido, lo esencial a tener en cuenta es la variación en el espacio del comportamiento de las variables e indicadores que caracterizan a los factores clave. Un primer paso es la elaboración del mapa que representa la distribución geoespacial en el comportamiento de cada factor por separado, para después elaborar el mapa de coincidencia de comportamientos. Una vez cumplido este paso, se pasa a elaborar el esquema de muestreo, el cual se va perfeccionando en el transcurso de su aplicación práctica.

Es importante tener en cuenta la ubicación de un número de sitios de muestreo, con respecto a la trayectoria y características de las *zanjas de absorción captadoras de agua de lluvia como adaptación al cambio climático*, con el objetivo de detectar la incidencia de estas zanjías en la humedad del suelo, así como en el balance hídrico de las áreas beneficiadas. Otro aspecto importante es que, como base de todo este trabajo preparatorio, se utilizan imágenes satelitales de alta resolución, las cuales se obtienen georreferenciada de forma automática. Un ejemplo de estas imágenes se muestra en la Figura 2, en la que se puede apreciar con más detalles la Finca Victoria 1, alrededor de la cual hay fincas que también se utilizan para este trabajo. Se puede apreciar la alta variabilidad espacial de la cubierta de la tierra, lo que constituye un factor importante en el problema que se analiza y que es muy frecuente, sobre todo en territorios dedicados a la producción agropecuaria y forestal.



Figura 2. Sección de imagen satelital que incluye a la finca Victoria 1 y otras del PNCMSAB.

Método para determinar y/o estimar el aprovechamiento del agua

Los métodos deben estar en correspondencia con los criterios esenciales para evaluar el aprovechamiento del agua: estado de humedad del suelo y estado de las fuentes de agua dentro de los límites del área a evaluar. A los efectos de este trabajo, de las fuentes de agua se hace énfasis en las lluvias, pero no hay que descartar que, en determinado momento, se puedan utilizar microembalses, tranques en corrientes superficiales, pozos y otras. Además, el estado de estas fuentes también depende del régimen de lluvias.

Para analizar el estado de humedad del suelo definimos el indicador *reserva relativa de agua* [(Rr_agua (%))], que es la relación existente entre las reservas de agua en los primeros 30 cm (en $m^3\ ha^{-1}$) y la reserva total que puede ser retenida hasta esa misma profundidad, cuando el suelo está en su máxima capacidad de retención ($Cm_{\max}$), lo que también se conoce como capacidad de campo.

Para evaluar el estado de las fuentes de agua que existen dentro de los referidos límites, se realizan mediciones de volúmenes de cada fuente (embalses, microembalses, secciones de corrientes superficiales, pozos y otros). Para estas fuentes, el factor que determina su estado es el régimen de lluvias, el cual se evalúa de acuerdo con Cutié & Lapinel (2013). Especial atención en este trabajo

se pone a las *zanjas de absorción captadoras de agua de lluvia como adaptación al cambio climático*, las cuales se implementan en cada finca y funcionan como fuentes de agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los factores que determinan el aprovechamiento del agua en las fincas

La Figura 3 es un mapa que integra a los factores ya definidos y es la salida principal de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que contiene la distribución geoespacial del comportamiento de cada factor (capas de información) y una base de datos con los valores y/o descripciones de los atributos correspondientes a cada capa. Este mapa es la base para establecer el criterio sobre las condiciones del área y del suelo para la retención del agua que procede de las fuentes identificadas, principalmente de las lluvias. Por ejemplo, en las áreas con el criterio de muy favorable hay poca probabilidad de que el agua escurra por la superficie del terreno y lo contrario ocurre en las áreas con el criterio de muy desfavorable, con menos posibilidades de que el agua quede dentro de los límites de una determinada sección de terreno.

Entre los extremos a que se refiere el párrafo anterior existen diversas coincidencias de factores, desde las menos hasta las más adversas, por lo que hay que ubicar sitios de muestreo de forma que los datos obtenidos sirvan para un análisis integral del problema. En este sentido, aunque el interés principal se presta a la finca en cuestión, se ubican sitios en un contexto más amplio, de acuerdo con las condiciones físico-geográficas del territorio.

El criterio anterior sirve para ir rectificando las medidas de conservación y mejoramiento en el transcurso del trabajo, en este caso la medida referida al mejoramiento hídrico del suelo y mejor uso y manejo del agua, a través de las *zanjas de absorción captadoras de agua de lluvia como adaptación al cambio climático*.

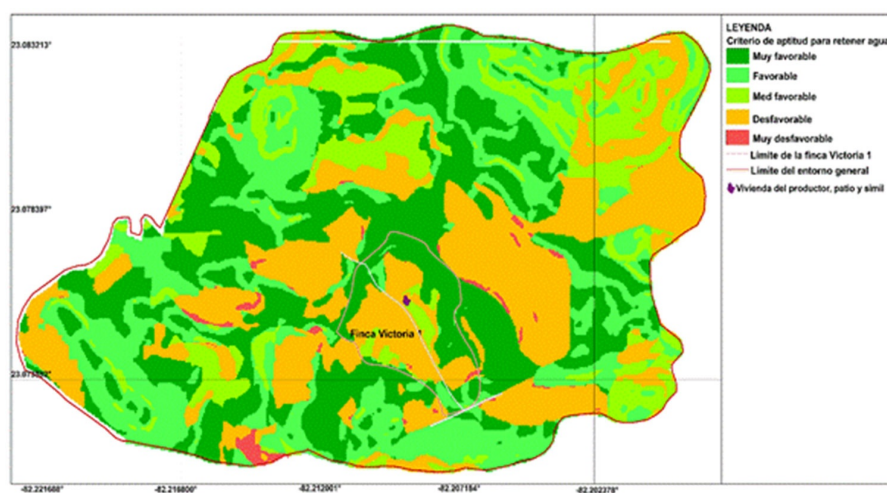


Figura 3. Distribución geoespacial y coincidencia de factores. Escala cartográfica 1: 5 000.

Al mismo tiempo, el hecho de recorrer las principales condiciones existentes y estar estas representadas en una base de datos manejada a través de programas del SIG y auxiliares, permite la estimación de valores de humedad del suelo y otras variables en sitios no muestreados, de acuerdo con lo expuesto en el subtítulo *método para determinar y/o estimar el aprovechamiento del agua*, el que enfatiza en las reservas de agua retenidas por el suelo en cada momento de un determinado período de tiempo. A los efectos prácticos de la producción agropecuaria y forestal, existe una estrecha interrelación entre las referidas reservas de agua retenidas por el suelo y el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Síntesis de las capas de información y BD contenidas en el SIG

En la [Tabla 1](#) se sintetizan las capas de información y atributos contenidos en las BD.

Identificación y diseño del esquema de muestreo

El esquema de muestreo se identifica como *EsqMuest v2* ([Figura 4](#)) y su punto de partida es el mapa con la distribución geoespacial de los sitios ([Figura 5](#)). El esquema contempla todos los elementos a tener en cuenta para la realización del muestreo: períodos, fechas específicas, guía de campo, stock de implementos, método para toma de muestras, determinaciones en el laboratorio y otros. La guía de campo contiene la información de cada sitio: coordenadas, pendiente, cubierta vegetal, grado de erosión, profundidad del suelo, tipo de manejo y otros factores incidentes.

La distribución geoespacial de sitios de muestreo ([Figura 5](#)), deriva del mapa representado en la [Figura 3](#) del epígrafe 3.1, el que constituye la guía principal de todo el trabajo a desarrollar, incluyendo el análisis de los resultados

de los muestreos y las recomendaciones a los productores agropecuarios, sobre las medidas a aplicar para el mejor aprovechamiento del agua en las fincas.

Ejemplo de resultados de la aplicación del *EsqMuest v2*

Como ya se explicó, lo más importante es determinar el estado de humedad en que se encuentra el suelo en el momento del muestreo. El principal indicador de este estado es la relación que existe entre las reservas de agua presentes en el suelo (*Raps*) y estas reservas cuando el suelo se encuentra en su capacidad máxima de retención de agua (*Rmáx*). En ambos casos las reservas se dan en m³ ha⁻¹ y para el cálculo de *Raps* se utiliza un conjunto de otras variables, como el área específica analizada (área en m²) la profundidad del suelo a considerar en metros (m), el factor 10000 para que el valor salga en m³ ha⁻¹, la densidad del suelo (*d* en Mg m⁻³), el porcentaje de humedad determinado en laboratorio o con un sensor (W %) y el factor 100 en el denominador para llevar W (%) a MG de agua por MG de suelo (MG/MG). La ecuación para el cálculo es la siguiente:

$$Raps = \frac{area(ha) * 10000 * prof(m) * d(Mg\ m^{-3}) * (W\%) }{100}$$

El valor *Rmáx* es una variable física del suelo determinada con anterioridad y es característica para cada subtipo de suelo, en correspondencia con las condiciones en que este se encuentre. Para el cálculo de *Rmáx* se utiliza la misma ecuación que para *Raps*, con la diferencia que W (%) fue determinada en el momento en que el suelo estaba en su máxima capacidad de retención de agua (capacidad de campo). La relación *Raps* / *Rmáx* se da en % y se expresa como [(*Rr_agua* (%))], (reserva relativa de agua).

Tabla 1. Síntesis de las capas de información y bases de datos contenidas en el SIG.

No.	Identificación	Descripción	Atributos de la capa
01	a01a límite_areaAR 2 k p1	Límite del área de trabajo a real escala	No aplica
02	a01b límite_areaLN 2 k p1	Límite del área de trabajo lineal	No aplica
03	a02a georef_area 2 k p1	Georreferenciación del área de trabajo	Valores de las coordenadas
04	b01a geolog_area px r p1	Datos de geología cargados a cada píxel	Tipo de formación, formación sitio, profundidad, permeabilidad
05	c01a suelos_area px r p1	Datos de suelos cargados a cada píxel	Id, Subtipo, profundidad del perfil, profundidad defectiva, textura, estructura, densidad, C _{máx} , erosión, carbono orgánico, comportamiento físico ^{*1}
06	d01a rsagua_area 5 k p1	Reservas de agua	Id, categoría numérica (1 al 5) y descriptiva: muy favorable (1) hasta muy desfavorables (5).
07	e01a cubveg_area 2 k p1	Cubierta vegetal	Id, categoría numérica (1 al 5), tipos de cub_vegetal, grado de cubrimiento de la superficie.
08	f01a rel cn_area 25 k p1	Relieve curvas de nivel	Altura absoluta, altura relativa
09	f01b pend_area 10 k p1	Relieve pendiente	Rangos de pendiente, categoría numérica (1 al 5), categoría descriptiva: muy favorable (1) hasta muy desfavorable (5)
10	f01a relasm_area 10 k p1	Relieve alturas sobre el nivel del mar (asnm).	Id, altura absoluta, altura relativa snm, categorías descriptiva.
11	j01a uso_tierra_2 k p1	Capa de referencia sobre el manejo del suelo	Id, categoría numérica (1 al 5), categorías descriptiva: muy favorable (1) hasta muy desfavorable (5).

p1 significa que el sistema de coordenadas utilizado es Latitud/Longitud (WGS 84) (EPSG:4326). 2 k, 5 k, 25 k y notaciones similares significa la escala: 1: 2000; 1: 5000; 1: 25000, etc. px r significa que el valor es cargado al área del píxel (px) que, en este caso, es 5 m x 5 m (25 m²). ^{*1} El comportamiento físico es el resultado de la interacción de los atributos desde el 2 hasta el 8, mientras que el 1 (id) es el identificador numérico del píxel (la BD de la capa *c01a suelos_area px r p1* tiene nueve columnas), lo que indica que el suelo es el componente principal, sin dejar de tener en cuenta la importancia de los demás factores involucrados en el análisis. Por ejemplo, la cubierta vegetal y la pendiente del terreno son determinantes en el aprovechamiento del agua.

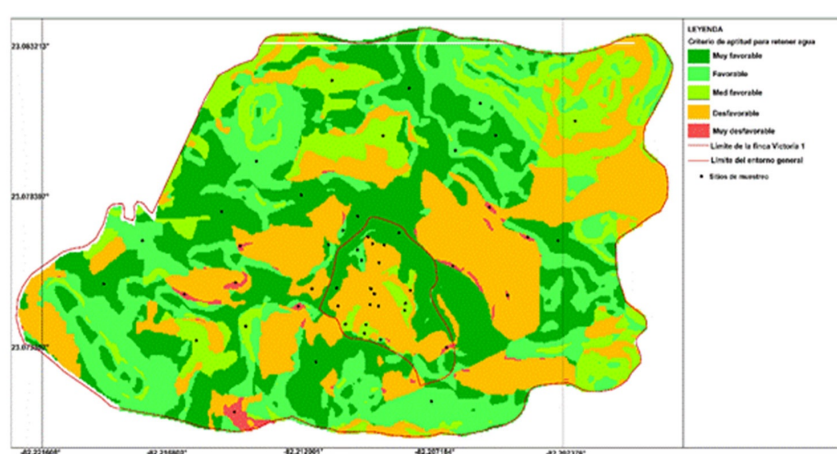
Figura 4. Esquema de muestreo (*EsqMuest v2*).

Figura 5. Distribución geoespacial de sitios de muestreo.

Los valores, por lo general, están entre 100 y 60, a partir de lo cual se establecen rangos que señalan la afectación que puede haber en el crecimiento y desarrollo de las plantas en general, con énfasis en las cultivadas. A los efectos de este trabajo, nos referimos a la afectación de los cultivos y pastizales en fincas agropecuarias (Tabla 2).

CONCLUSIONES

- Se analiza la distribución geoespacial y coincidencia de los principales factores que condicionan el aprovechamiento de la lluvia en fincas del Polígono Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos, Aguas y Bosques (*PNMCSAB*), lo que puede ser extendido a otras unidades productivas del País, para

dar seguimiento a las fluctuaciones de la humedad del suelo, en relación con el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

- Se propone un sistema de muestreo identificado como *EsqMuest v2*, que permite, con un número limitado de muestras, dar seguimiento a los estados de humedad del suelo en fincas de producción agropecuaria y forestal.
- Se aplicó el *EsqMuest v2* en tres fincas representativas del *PNMCSAB*, con diversas condiciones referidas al funcionamiento físico del suelo, fuentes de agua disponibles, estado de la cubierta vegetal, inclinación del terreno y manejo del suelo por los usuarios de la tierra.

Tabla 2. Criterios de evaluación basados en reserva relativa de agua en el suelo.

CATEGORÍA	RANGOS DE [(Rr_agua (%))]	DISPONIBILIDAD DE AGUA	POSIBLE AFECTACIÓN DE CULTIVOS Y PASTIZALES
Muy eficiente	> 90	Óptima	No hay afectaciones en el crecimiento y desarrollo.
Eficiente	90 - 80	Adecuada	Solo en ocasiones pueden ocurrir ligeras afectaciones.
Med. eficiente	80 - 70	Hay déficit de humedad	Hay afectaciones, aunque pueden obtenerse cosechas limitadas.
Deficiente	70 - 60	Alto déficit de humedad	Plantas raquíticas que prácticamente no producen.
Muy deficiente	< 60	Sequía extrema	Puede llegarse a la pérdida completa de la plantación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cutié, V., & Lapinel, B. (2013). *La Sequía en Cuba. Un Texto de Referencia* (p. 358). Instituto de Meteorología, Centro del Clima; La Habana, Cuba.
- Fuentes, A., Rosales, U., Rodríguez, D., & Castellanos, N. (2019). *Polígono Nacional de Conservación de Suelos, Aguas y Bosques*. PALCOGRAF, La Habana, Cuba.
- GOC-Cuba. (2022). Ley de Soberanía y Seguridad Alimentaria y Nutricional (SSAN). *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, 77, ISSN: 0864-0793, e-ISSN: 1682-7511.
- Malone, B. P., Minasny, B., McBratney, A. B., Malone, B. P., Minasny, B., & McBratney, A. B. (2017). *Digital Soil Mapping*. Springer International Publishing, Switzerland.
- McBratney, A. B., Santos, M. L. M., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*, 117(1-2), 3-52, ISSN: 0016-7061, Publisher: Elsevier.
- Rivero, L., López, S., Fraser, T., & Verania, H. (2018). *Informe Final del proyecto Prácticas de manejo sostenible de tierra en una sección de la cuenca hidrográfica del río Chambas, a partir de la integración y actualización de la base cognitiva* (p. 57) [Informe Final de proyecto]. Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.
- Rivero, L., López, S., & Geler, T. (2010). *Aplicación de la Geomática en el estudio, uso, conservación y mejoramiento de suelos. Cuenca hidrográfica del Río Chambas*. Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, La Habana, Cuba.
- Rivero, L., Ruiz, J., Riverol, M., & Tamariz, V. (2013). Los suelos, la cobertura vegetal y el relieve en el municipio de Tzicatlacoyan, estado de Puebla, México. *Revista GEOMINAS*, 61, 95-105, ISSN: 016-7975, Publisher: Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Oriente, Venezuela.
- Rivero, R. L. B., López, S. S., Farradás, C. M., Fuentes, A. E., Pérez, J. J. M., Demedio, R. M., Fraser, G. T., Beltrán, M. A., Morales, M. R., & La O, Q. M. (2024). Metodología para la aplicación de Ciencia e Innovación Tecnológica en apoyo a seguridad alimentaria sostenible. *Ingeniería Agrícola*, 14(1), cu-id, ISSN: 2227-8761.
- Sánchez San Martín, P. A. (2021). *Suelos del trópico: Características y Manejo* (Segunda Edición). Editorial del Colegio de Postgraduados. Colegio de Postgraduados.