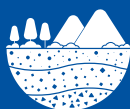


AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Colección Transformación del Agro



Sistema
IRAKA

Sistema de Información de Suelos para el Altiplano Cundiboyacense (IRAKA)

Gustavo Alfonso Araujo Carrillo
Fabio Ernesto Martínez Maldonado
Viviana Marcela Varón Ramírez
Douglas Andrés Gómez Latorre
Jhon Mauricio Estupiñán Casallas

Eliás Alexander Silva Arero
Camilo Ignacio Jaramillo Barrios
José Alfredo Molina Varón
David Vergara Rivas
Eduardo González Jaimes



El campo
es de todos

Minagricultura

Sistema de Información de Suelos para el Altiplano Cundiboyacense (IRAKA)

Gustavo Alfonso Araujo Carrillo
Investigador máster, Red de Cacao
Centro de Investigación Tibaitatá
garaujo@agrosavia.co

Fabio Ernesto Martínez Maldonado
Investigador máster, Red de Frutales
Centro de Investigación Tibaitatá
femartinez@agrosavia.co

Viviana Marcela Varón Ramírez
Investigador máster,
Red de Cultivos Transitorios y Agroindustriales
Centro de Investigación Tibaitatá
vvaron@agrosavia.co

Douglas Andrés Gómez Latorre
Investigador máster, Red de Cultivos Permanentes
Centro de Investigación Tibaitatá
dagomez@agrosavia.co

Jhon Mauricio Estupiñán Casallas
Investigador máster, Red de Hortalizas y Aromáticas
Centro de Investigación Tibaitatá
jmestupinan@agrosavia.co

Elías Alexander Silva Arero
Profesional de apoyo a la investigación,
Red de Hortalizas y Aromáticas
Centro de Investigación Tibaitatá
esilva@agrosavia.co

Camilo Ignacio Jaramillo Barrios
Profesional de apoyo a la investigación,
Red de Cultivos Transitorios y Agroindustriales
Centro de Investigación Nataima
cijaramillo@agrosavia.co

José Alfredo Molina Varón
Profesional de apoyo a la investigación,
Red de Hortalizas y Aromáticas
Centro de Investigación Tibaitatá
jmolinav@agrosavia.co

David Vergara Rivas
Tesisista de pregrado en Agronomía
Universidad del Pacífico

Eduardo González Jaimes
Ingeniero de sistemas
Sistencial S.A.S.

Mosquera, Colombia, 2020

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Sistema de Información de Suelos para el Altiplano Cundiboyacense (IRAKA) / Gustavo Alfonso Araujo Carrillo [y otros nueve] -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2020.

24 páginas (colección transformación del agro)
incluye referencias bibliográficas, tablas, mapas
ISBN (e): 978-958-740-327-5

1. Sistemas de información geográfica 2. Calidad del suelo 3. Cebolla 4. Colección de datos 5. Mapa edafológico

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA
Centro de Investigación Tibaitatá,
kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera.
Código postal 250047, Colombia.

Esta publicación es resultado del proyecto *Sistema de información de suelos para los cultivos de cebolla de rama y de bulbo en el altiplano cundiboyacense, en el marco del proyecto Establishment of the Latin American Soil Information System* financiado por KoLFACI.

Colección: Transformación del Agro

Primera edición: 100 ejemplares
Impreso en Bogotá, Colombia, marzo de 2020
Printed in Bogota, Colombia

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Editora: Liliana Gaona García
Corrección de estilo: Nathalie De la Cuadra N.
Diagramación: Oficina Asesora de Comunicaciones,
Identidad y Relaciones Corporativas, AGROSAVIA
Impresión: Ecoimpresos S.A.S.

Citación sugerida: Araujo Carrillo, G. A., Martínez Maldonado, F. E., Varón Ramírez, V. M., Gómez Latorre, D. A., Estupiñán Casallas, J. M., Silva Arero, E. A., Jaramillo Barrios, C. I., Molina Varón, J. A., Vergara Rivas, D., & González Jaimes, E. (2020). *Sistema de Información de Suelos para el Altiplano Cundiboyacense (Iraka)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403275>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
<http://www.agrosavia.co/>



Contenido

El problema de la información de suelos	7
Objetivo	7
El área de estudio	8
La base de datos espacial de suelos	9
La fuente de datos	9
El análisis y diseño de la base de datos espacial	9
El índice de calidad de suelos	12
Determinación de las curvas de absorción	12
Construcción del índice de calidad de suelos	13
Mapas del índice de calidad de suelos	15
Mapas de propiedades químicas y físicas de suelos	17
Servicios web geográficos	20
Los módulos adicionales	21
La divulgación del sistema	22
Referencias	23

Lista de figuras

Figura 1	Esquema de diseño de la base de datos espacial de suelos de Iraka	10
Figura 2	Modelo lógico y físico de la BDE establecida en Iraka	11
Figura 3	Distribución espacial del ICS de cebolla de rama y de bulbo disponibles en Iraka	16
Figura 4	Puntos de muestreo utilizados para generación de mapas de propiedades químicas y físicas	18
Figura 5	Mapas de propiedades del suelo e incertidumbres asociadas disponibles en Iraka	19
Figura 6	Página principal de Iraka	21

Lista de tablas

Tabla 1	Valores medios de algunas variables climáticas en el área de estudio, periodo 1980-2011	8
Tabla 2	Variables de suelo seleccionadas para construcción del ICS	14
Tabla 3	Categorización de la calidad de los suelos en el altiplano cundiboyacense, según la puntuación del ICS	15



Iraka¹ es el resultado de un esfuerzo por gestionar información de suelos en un área específica (altiplano cundiboyacense), con usos potenciales en sistemas productivos que se desarrollan en la región (cebolla de rama y de bulbo) y con herramientas, metodologías y tecnologías dispuestas actualmente por los sistemas de información geográfica (SIG). El sistema Iraka tiene tres módulos: un visor geográfico con servicios web geográficos asociados, un módulo de evaluación de calidad de suelos y un espacio de metadatos geográficos. Iraka fue apoyado por la Iniciativa de Cooperación para la Agricultura y la Alimentación entre Corea y América Latina (KoLFACI, por sus siglas en inglés), el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Este folleto brinda una panorámica general del sistema de información, describe el problema que aborda, los objetivos, el área de estudio, la metodología de desarrollo, los componentes y los módulos que lo integran. El acceso al sistema se realiza a través de la página web de AGROSAVIA, sección Sistemas de Información, en la URL https://iraka.agrosavia.co/Content/archivos/Manual_usuario_IRAKA_v2.pdf²

¹ El *software* Iraka se encuentra registrado por la Dirección Nacional de Derechos de Autor, con fecha 09/08/2019, Libro-Tomo-Partida 13-75-75.

² Para más información de Iraka, se puede consultar el manual de usuario: https://iraka.agrosavia.co/Content/archivos/Manual_usuario_IRAKA_v2.pdf

El problema de la información de suelos

En Colombia existen estudios de suelos de todo el territorio realizados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), a través de levantamientos agrológicos de suelos a escala 1:100.000 elaborados durante más de 80 años (IGAC, 2015). Otras instituciones, como centros de investigación, universidades, secretarías de agricultura y AGROSAVIA, han realizado estudios más detallados. Aunque existe información, una parte de esta se encuentra en formato análogo, carece de georreferenciación y ha sido construida con diferentes metodologías y distintos alcances; además, está dispersa y muy poca ha sido relacionada con aspectos como los requerimientos de los cultivos para determinar su distribución espacial y poder facilitar la construcción de índices que demuestren la calidad del suelo para un cultivo o sistema productivo. Por ejemplo, en calidad de suelos son pocos los trabajos adelantados en el país, debido a que se necesita integrar la información de suelos con datos de cultivos, muchos de los cuales son producto de experimentación.

Dichas limitaciones, sumadas a las dificultades en cuanto a la disponibilidad y el acceso, han llevado a que la información de suelos no pueda ser analizada de manera integral y, por ende, no se incluya de forma eficiente en los procesos de toma de decisiones para la planificación y gestión de los sistemas productivos a escala regional. Esto ha generado situaciones como la duplicación de esfuerzos, la pérdida de la memoria histórica y la imposibilidad de avanzar en nuevos ámbitos de estudio de manejo del recurso.

Objetivo

Construir un sistema de información de suelos del altiplano cundiboyancese, a partir de la estructuración de una base de datos espacial de suelos, el análisis y el modelamiento espacial de sus propiedades, la calidad del suelo para cultivos como la cebolla de rama y de bulbo, y la representación a los usuarios a través de servicios web geográficos.

El área de estudio

Para Iraka el altiplano cundiboyacense es un área que se encuentra en la región Andina; cuenta con una superficie de 16.102 km² e incluye 112 municipios, 60 del departamento de Boyacá, 51 del departamento de Cundinamarca y una parte de Bogotá, D. C. Presenta altitudes entre 460 y 4247 m s. n. m., 14 zonas de vida, 124 zonas agroecológicas y 16 subzonas hidrográficas. Desde el punto de vista climático, el área tiene las características que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Valores medios de algunas variables climáticas en el área de estudio, periodo 1980-2011

Variable	Precipitación (mm)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Brillo solar (h)	Humedad relativa (%)
Mínimo	189	1,1	6,3	10,3	1056	71,8
Media	1026	7,1	12,5	17,4	1642	81,7
Máximo	3107	21,8	25,7	30,6	2029	91,3
Desviación	325	2,5	2,4	2,7	163	2,6

Fuente: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica, 2015)

La base de datos espacial de suelos

La fuente de datos

La información de suelos provino de tres fuentes principales, con cobertura total o parcial en la zona de estudio: IGAC³, resultados del convenio 1723⁴ y 1847⁵. En resumen, se logró obtener información alfanumérica y espacial con las siguientes características:

- Dos estudios a escala 1:100.000 de los años 2000 y 2004
- Siete estudios a escala 1:25.000 del año 2015
- Dos estudios a escala 1:10.000 de los años 2012 y 2013
- Número total de perfiles: 311
- Número total de muestras de suelo (profundidad 20 cm): 1.433

El análisis y diseño de la base de datos espacial

Se realizó el modelo lógico, conceptual y físico de la base de datos espacial (BDE), seleccionando como sistema gestor a PostgreSQL. La BDE fue de tipo relacional y estuvo orientada a objetos, incluidos objetos espaciales y alfanuméricos (figura 1). Debido a que una parte de los datos tiene restricciones en cuanto a su uso y divulgación, la BDE solamente está dispuesta para uso del personal de AGROSAVIA. El modelo lógico y parte del físico pueden observarse en la figura 2.

³ Estudios generales de suelo y zonificación de tierras de los departamentos de Cundinamarca (2000) y Boyacá (2004); estudios detallados de suelos de la sabana de Bogotá (2012, 2013) y estudios semi-detallados de páramos y humedales (2015).

⁴ El Convenio 1723 del 2011, suscrito entre el MADR y AGROSAVIA, tuvo como fin generar un plan de manejo de los impactos en el sector agropecuario ocasionados por la emergencia invernal 2010-2011.

⁵ El Convenio 1847 de 2014, suscrito entre la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Cundinamarca y AGROSAVIA, se centró en unir esfuerzos entre las dos instituciones para procesar muestras de suelos de los productores agropecuarios del departamento de Cundinamarca.

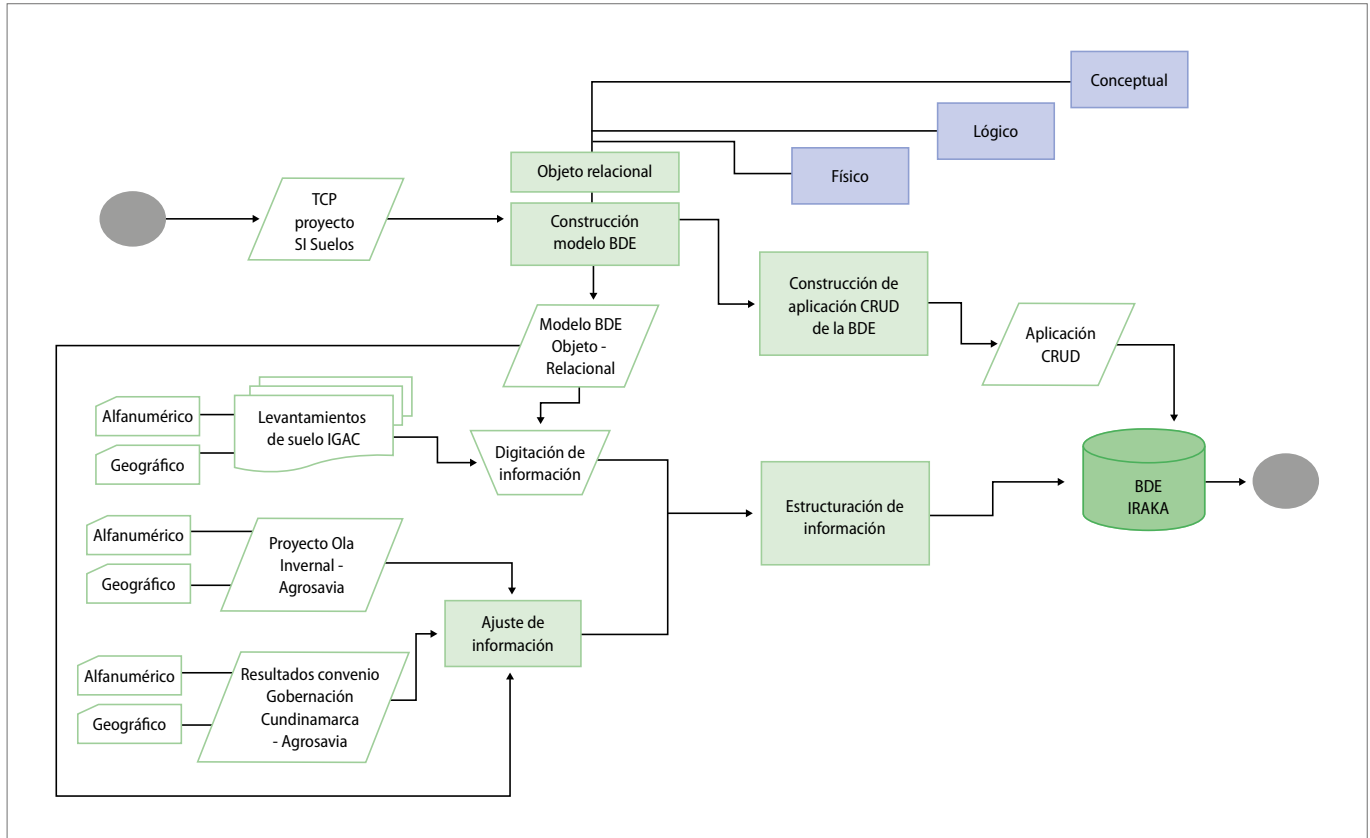


Figura 1. Esquema de diseño de la base de datos espacial de suelos de Iraká.

Fuente: Elaboración propia

El índice de calidad de suelos

Para poder generar la distribución espacial de la calidad de suelos para los cultivos de cebolla de rama y de bulbo en el altiplano cundiboyacense, se plantearon tres fases de desarrollo: la primera incluyó la determinación de curvas de absorción de nutrientes; la segunda fue la construcción del índice de calidad de suelos (ICS), que integró las variables pH, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CICE), clases texturales, fósforo (P), saturación de calcio (Ca), saturación de potasio (K) y saturación de sodio (Na). La tercera se centró en la distribución espacial del ICS para ambos cultivos, utilizando el modelo de aprendizaje de máquina de bosques aleatorios (*Random forest*).

Determinación de las curvas de absorción

Se determinó la absorción de nutrientes en campo e invernadero mediante muestreos desde trasplante hasta cosecha. En campo, en el departamento de Boyacá, con cebolla de bulbo en Duitama ($5^{\circ} 47' 6,10''$ N $73^{\circ} 0' 15,92''$ O) y Tibasosa ($5^{\circ} 47' 1,12''$ N $73^{\circ} 2' 9,63''$ O), y cebolla de rama en Aquitania ($5^{\circ} 35' 4,30''$ N $72^{\circ} 53' 32,51''$ O y $5^{\circ} 31' 56,29''$ N y $72^{\circ} 52' 49,98''$ O). En invernadero se sembraron en sustrato con sistema de fertirriego en el Centro de Investigación Tibaitatá (Mosquera, Cundinamarca). Durante los muestreos se midieron las variables de peso seco por órgano, rendimiento (peso fresco planta⁻¹), área foliar y concentración de nutrientes en tejido; esta última a partir de muestras secas ingresadas a los laboratorios de AGROSAVIA. Con los resultados obtenidos se realizaron análisis de crecimiento y ajuste de las curvas de absorción, a partir de funciones curvilíneas continuas denominadas *análisis funcional del crecimiento*. Las funciones empleadas fueron polinómicas de diverso grado: logístico, racional y Weibull.

Con la información de las variables de área foliar y peso seco se calcularon los siguientes índices de crecimiento: índice de área foliar (IAF), relación de área

foliar (RAF), duración de área foliar (DAF), tasa de asimilación neta (TAN), tasas relativas de crecimiento total (TRC) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC). También se determinó el IAF óptimo, que es aquel con el cual se consigue la máxima TCC, con una captación más efectiva de la radiación fotosintéticamente activa (RFA).

Los elementos mayores en cebolla de rama presentaron un comportamiento similar de absorción durante todo el ciclo de cultivo, y se observó una cantidad similar de extracción tanto de K como de N; este último superó al K en 0,1 g por planta. El P, por su parte, representó aproximadamente un 10% de la extracción de K o N. Los pseudotallos fueron los de mayor extracción del elemento, seguidos por las hojas. Para el caso de la cebolla de bulbo se presentó un periodo de estabilización entre los 60 y 80 días después del trasplante (ddt), donde la tasa de absorción de elementos mayores no tuvo grandes incrementos. Este efecto fue más pronunciado en el K que en N y P. La absorción de Ca, magnesio (Mg) y azufre (S) en cebolla de rama presentó un comportamiento similar al de los elementos mayores; sin embargo, se diferenciaron porque Ca y Mg mostraron una mayor absorción en las hojas que en el pseudotallo. Por su parte, la absorción Ca y Mg en cebolla de bulbo fue muy similar a la de N y P; no obstante, la absorción en hojas aumentó inclusive en época de llenado.

Construcción del índice de calidad de suelos

A partir de las variables químicas y físicas disponibles en la BDE, considerando el número de registros y su distribución espacial, e identificando la influencia de cada una de las variables en el desarrollo de los cultivos según la experimentación, se determinaron los umbrales óptimos, máximos, mínimos y las ponderaciones para cada variable seleccionada para construir el ICS. Las propiedades seleccionadas y su ponderación a través de revisión de literatura, los resultados de la experimentación y la opinión de expertos se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Variables de suelo seleccionadas para construcción del ICS

Nombre de variable	Unidad	Determinación	Peso
pH		Método potenciométrico con muestra en relación suelo/agua 1:1 (peso/volumen)	0,13
MO	%	Método de Walkley-Black	0,16
CICE	cmol(+) kg ⁻¹	Suma de cationes (Ca, Mg, K, Na, Al) intercambiables	0,16
Clases texturales		Bouyoucos	0,12
P	mg kg ⁻¹	Fósforo disponible por el método de Bray II	0,10
Saturación de Ca	%	Extracción con acetato de amonio-absorción atómica	0,12
Saturación de K	%	Extracción con acetato de amonio-emisión atómica	0,11
Saturación de Na	%	Extracción con acetato de amonio-emisión atómica	0,10

Fuente: Elaboración propia

La normalización de cada variable se dio en un rango entre 0 y 1, con base en la función de estandarización de puntajes propuesta por Wymore (1993). Con el fin de dar una categorización a los suelos, se definieron cinco calidades que representaban un rango de puntuación del ICS (tabla 3).

Tabla 3. Categorización de la calidad de los suelos en el altiplano cundiboyacense, según la puntuación del ICS

Calidad del suelo	Escala del ICS	Clase
Muy alta	0,8-1,0	1
Alta	0,6-0,79	2
Moderada	0,4-0,59	3
Baja	0,2-0,39	4
Muy baja	0,0-0,19	5

Fuente: Elaboración propia

Con 935 puntos evaluados, los resultados mostraron que para el caso de cebolla de rama la mayoría se agrupó en la categoría de calidad de suelo alta, con un total de 421 puntos (45 %) y con un promedio de ICS de 0,68, seguido de la categoría moderada con 400 (43 %) y un ICS promedio de 0,52. Con respecto a cebolla de bulbo, la mayoría también se agrupó en la categoría alta con 429 puntos (46 %) y el ICS promedio de 0,69, seguido de moderada con 366 puntos (39 %) y el ICS promedio de 0,52.

Mapas del índice de calidad de suelos

La distribución espacial del ICS se realizó en el *software* R, a partir de un horizonte estándar sintético de 0 a 20 cm en cada punto de observación. Utilizando covariables ambientales como las variables climáticas, las coberturas de la tierra, el modelo digital de elevación y sus derivadas, la litología, los índices de vegetación y los mapas de suelos, se construyó una matriz de regresión que permitió la extracción de los valores de las covariables en las coordenadas de cada uno de los puntos donde se obtuvo el índice de calidad.

Debido a que el ICS en cada punto se calculó como un valor numérico entre 0 y 1, y además presentó una clasificación entre 5 categorías, se modeló la distribución espacial de la categoría a través del modelo de aprendizaje de máquina de bosque aleatorio de clasificación. Para la validación del modelo se empleó la precisión general y el coeficiente Kappa. Posteriormente, para el ICS de cebolla de rama y de bulbo se hizo la predicción espacial de acuerdo con el modelo seleccionado. El resultado fue el siguiente: ICS para cebolla de rama con precisión general 0,49 y Kappa de 0,11; ICS para cebolla de bulbo con precisión general de 0,52 y Kappa de 0,16. Los resultados, en general, fueron aceptables, lo que implica considerar nuevas estrategias o alternativas de modelamiento para mejorar su precisión.

En cebolla de rama se pudo observar que en mayor proporción se encuentran áreas con un ICS de moderado a alto. Las zonas circundantes al lago de Tota, que se caracterizan por su alta producción, en esta distribución presentan un ICS de categoría alta, al igual que la sabana de Bogotá, los valles de Ubaté y Chiquinquirá, y de Tundama y Sugamuxi. En cebolla de bulbo se observó que gran parte del área de estudio presentó un ICS de moderado a alto. Municipios como Une, San Bernardo y Sogamoso mostraron una mejor condición de suelo para el cultivo de cebolla de bulbo (figura 3).

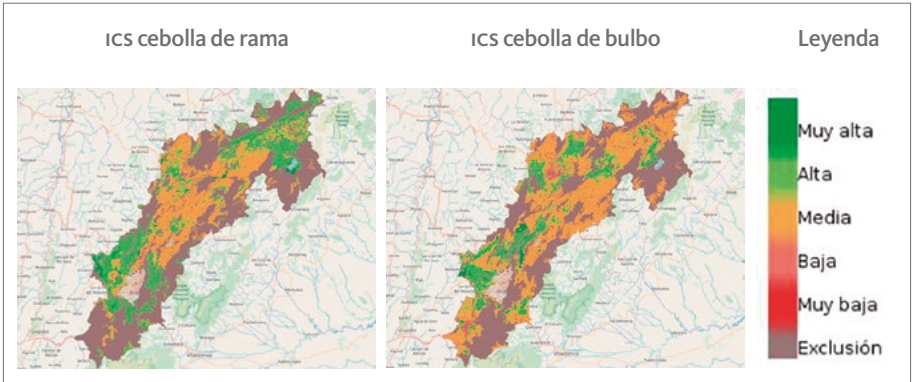


Figura 3. Distribución espacial del ICS de cebolla de rama y de bulbo disponibles en Iraka. Fuente: Elaboración propia

Los ics para los dos cultivos no fueron calculados para toda el área del altiplano cundiboyacense, pues se identificaron zonas de exclusión que incluyeron sitios con altitudes mayores a 3000 m s. n. m. y áreas no agropecuarias, bosques y exclusiones legales definidas por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA, 2017).

Mapas de propiedades químicas y físicas de suelos

Utilizando las herramientas disponibles de mapeo digital de suelos (DSM, por sus siglas en inglés; McBratney, Mendonça Santos, & Minasny, 2003), con los perfiles y muestras de suelo estructurados en la BDE, se realizaron mapas de la distribución espacial de propiedades químicas y físicas del suelo en el altiplano cundiboyacense, al igual que su incertidumbre, la cual corresponde a mapas de los errores de las predicciones realizadas, construidos con un grupo independiente de muestras. No se hicieron mapas para todas las propiedades del suelo que existen en el BDE, debido a que no todas tienen una adecuada densidad de muestreo ni distribución en el área de estudio (figura 4).

El mapeo se apoyó en covariables ambientales que en conjunto representan los factores formadores del suelo: clima, organismos biológicos o cobertura, relieve, material parental y tiempo. Para cada propiedad mapeada fue establecida una matriz de correlación, que permitió identificar las covariables con las cuales se presentaron mayores relaciones (Hengl et al., 2017).

En cuanto al modelamiento de las propiedades, el conjunto de datos fue separado en dos partes: una conformada por datos de entrenamiento (75%) y otra por datos de validación (25%). Para cada propiedad se utilizaron cuatro técnicas de aprendizaje de máquina, y luego se seleccionó la mejor de acuerdo con los estadísticos de bondad de ajuste. Las técnicas utilizadas fueron bosques aleatorios, máquinas de soporte vectorial, una implementación rápida de bosques aleatorios denominada *Ranger* y un modelo ensamblado, conformado por bosques aleatorios y máquinas de soporte vectorial (Guevara et al., 2018).

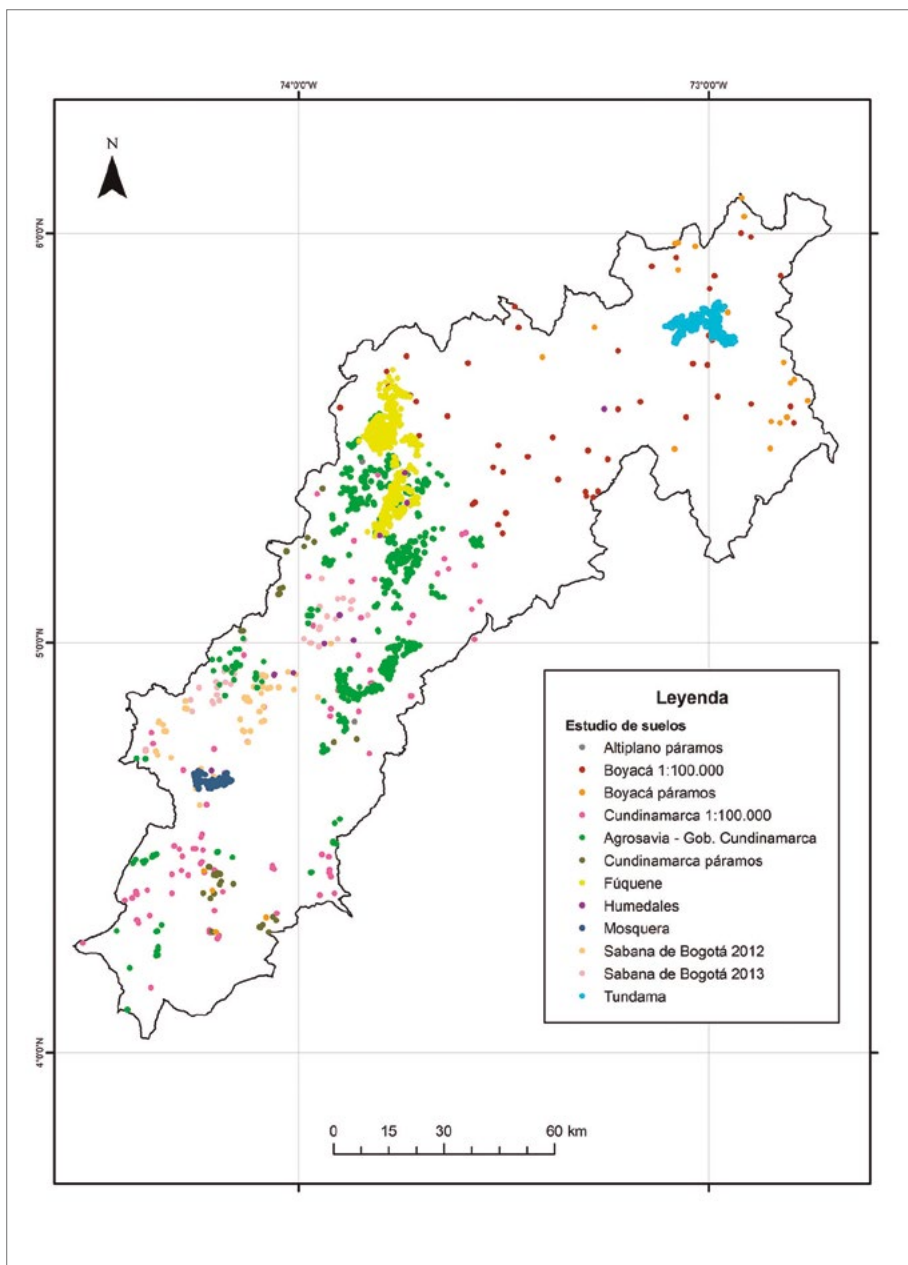


Figura 4. Puntos de muestreo utilizados para generación de mapas de propiedades químicas y físicas.

Fuente: Elaboración propia

La modelación de la incertidumbre se calculó a partir del error de la predicción, es decir, teniendo en cuenta el resultado obtenido con el modelamiento de las propiedades y el conjunto de datos de validación. Para la construcción de esos mapas también se utilizó una técnica de aprendizaje de máquina, un método ensamblado basado en bosques aleatorios denominado *quantile regression forests* (Meinshausen, 2017). Algunos ejemplos del mapeo de las propiedades, al igual que sus incertidumbres, pueden observarse en la figura 5.

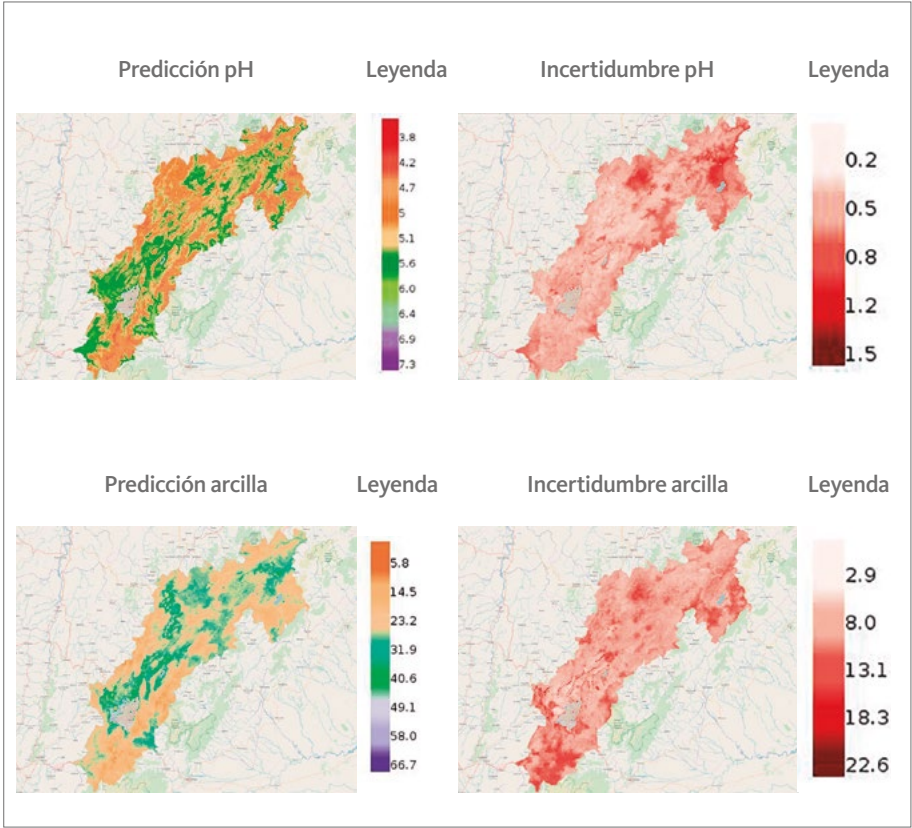


Figura 5. Mapas de propiedades del suelo e incertidumbres asociadas disponibles en Iraka. Fuente: Elaboración propia

Con los mapas de Iraka, el usuario puede observar el comportamiento de la propiedad química o física de su interés, e identificar el valor de la propiedad analizada en cualquier lugar del altiplano. Por otra parte, el mapa de incertidumbre que acompaña a cada variable indica el nivel de error que tiene el mapa predicho. Estos mapas cuentan con la misma unidad de medida que el mapa de la propiedad analizada y, en general, indican zonas que con tonalidades más oscuras tienen mayor error, mientras que tonalidades más claras representan menores errores.

Servicios web geográficos

Los servicios web geográficos dispuestos por Iraka⁶ se basaron en una arquitectura dual e integrada. En un componente se administra toda la información alfanumérica y geográfica almacenada y en otro se incluye lo referido al manejo de la aplicación y su visualización en la web. Iraka consume los servicios web geográficos publicados en GeoServer y los presenta sobre un mapa base utilizando librerías de OpenLayers. En el sistema se pueden apreciar cinco conjuntos de datos: el área de estudio, las muestras de suelo, los órdenes de suelo, las propiedades químicas y físicas, y el ics para cebolla de rama y de bulbo. Desde un servidor de aplicaciones se consumen los servicios Web Mapping Service (wms), Web Coverage Service (wcs) y Web Feature Service (wfs).

Iraka despliega información geográfica a modo de visor, la cual se acompaña de información de contexto como leyendas, tipo de mapa (ráster o vector), descriptores y servicios web geográficos asociados (wms, wcs y wfs).

⁶ Para más información de los servicios web geográficos de Iraka, se puede consultar el manual de uso de los servicios, el cual se encuentra en la sección Directorio de Servicios, en la URL: https://iraka.agrosavia.co/Content/archivos/Manual_conexion_servicios_geograficos_IRAKA_v1.pdf.

Esto permite que usuarios avanzados puedan utilizarlos en aplicaciones personales (figura 6). El sistema fue construido manteniendo un diseño modular, siendo el primero el visor geográfico, el segundo la evaluación de calidad de suelos en finca y el tercero el de metadatos geográficos.

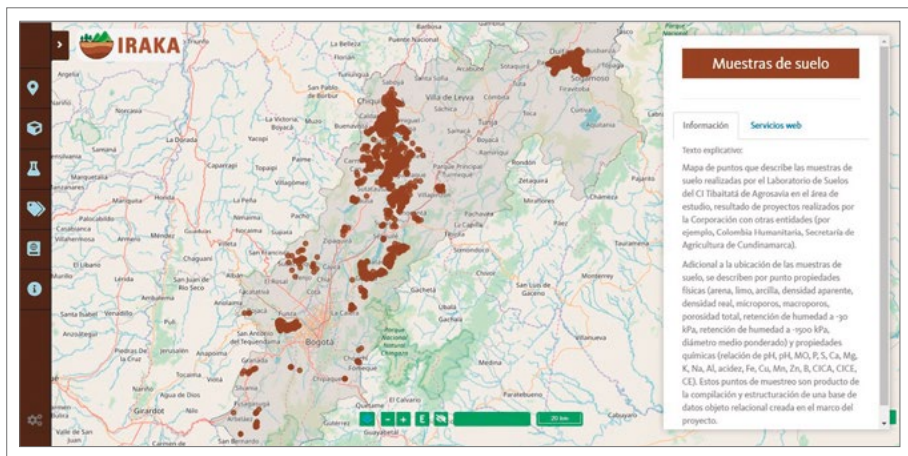


Figura 6. Página principal de Iraká.

Fuente: Elaboración propia

Los módulos adicionales

El módulo de evaluación de calidad de suelos en finca fue una herramienta diseñada para analizar muestras de suelo de usuarios del sistema, con el propósito de identificar la calidad de suelos para cultivos como la cebolla de rama y de bulbo. Al usar la información del ics por cultivo y los datos de suelo, el sistema genera una cualificación de la calidad del suelo para el cultivo seleccionado, y resalta algunas recomendaciones de manejo del suelo. Si el usuario lo desea, los datos ingresados al módulo se almacenan en la BDE de Iraká, con el fin de aumentar el registro de información y producir a futuro nuevas modelaciones y mapas.

El módulo de metadatos geográficos se apoyó en la aplicación de código abierto *Geonetwork* para la catalogación de los metadatos, definidos normalmente como los datos sobre los datos. La integración con esta aplicación tipo catálogo permite al usuario tener información adicional de los mapas producidos por Iraka, en especial aspectos relacionados con la extensión de la capa geográfica, los sistemas de coordenadas, las palabras clave, el punto de contacto institucional, entre otras. Adicionalmente, el registro de la meta-información pone a AGROSAVIA dentro de las dinámicas por las que propende la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE), una iniciativa que permite la construcción e implementación colectiva de políticas y facilita los procesos de gestión de los recursos geográficos.

La divulgación del sistema

Iraka ha sido construido para que cualquier tipo de usuario lo utilice; sin embargo, tiene énfasis en la comunidad de asistentes técnicos agropecuarios, planificadores/ordenadores regionales y la academia. El sistema no hace énfasis en los productores porque la cantidad de datos recogidos, la información temática oficial y los niveles de incertidumbre que tienen los productos cartográficos generados no permiten la toma de decisiones en escalas de finca, lote o predio. Por ejemplo, la mayoría de las unidades productivas de cultivos de cebolla de rama y de bulbo en el altiplano cundiboyacense tienen tamaños que no sobrepasan una hectárea de terreno. Poder generar respuestas en la toma de decisiones en la gestión del recurso suelo a ese nivel de detalle implica mayores datos de suelo de entrada. Sin embargo, el resultado dispuesto por Iraka tiene trascendencia en la escala regional, con fines de planificación u ordenamiento del recurso suelo.

Referencias

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2015). *Modelos de adaptación y prevención agroclimática. Caracterización de la variabilidad climática y zonificación de la susceptibilidad territorial a los eventos climáticos extremos. Departamentos de Cundinamarca y Boyacá.* Mosquera, Colombia: autor.
- Guevara, M., Olmedo, G. F., Stell, E., Yigini, Y., ... Vargas, R. (2018). No silver bullet for digital soil mapping: country-specific soil organic carbon estimates across Latin America. *Soil*, 4(3), 173-193. doi: <https://doi.org/10.5194/soil-4-173-2018>
- Hengl, T., Mendes de Jesús, J., Heuvelink, G.B.M., Ruiperez Gozalez, M., ... Kempen, B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE*, 12(2), e0169748. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2015). *Suelos y tierras de Colombia. Subdirección de Agrología.* Bogotá, Colombia: autor.
- McBratney, A.B., Mendoça Santos, M.L., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*, 117(1-2), 3-52. doi: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)
- Meinshausen, N. (2017). *Package 'quantregForest'*. Recuperado de <https://cran.r-project.org/web/packages/quantregForest/quantregForest.pdf>.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2017). *Frontera agrícola nacional a escala 1:100.000*. Bogotá, D.C. Recuperado de <https://sipra.upra.gov.co/>

Wymore, A.W. (1993). *Model-based system engineering: an introduction to the mathematical theory of discrete system and to the tricategory theory of system design*. Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press.



Sistema de Información de Suelos para el Altiplano Cundiboyacense (IRAKA)

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Mayor información:

Departamento de Desarrollo de Negocios

Correo: productos@agrosavia.co

Línea de atención nacional gratuita: 01 8000 12 15 15

www.agrosavia.co



**Sistema
IRAKA**

