

Estimación de arrendamientos agrícola para la provincia de Córdoba campaña 2023/24

Federico Monzani¹, Facundo Mariño¹, Aldo M. Alogorry¹, Hernan Morales¹, Juan P Carranza¹, ElenaToccacieli¹

¹ Infraestructura de datos espaciales Córdoba (IDECOR). Ministerio de Economía y Gestión Pública, Secretaría de Ingresos Públicos, Rivera Indarte 730, Córdoba, Ciudad de Córdoba

E-mail: {moncha72@gmail.com; ffacundomarino97@gmail.com; aalgorry@unc.edu.ar; hernan.morales85@gmail.com; carranzajuanp@gmail.com; elenatoccacieli@gmail.com}

Resumen:

El estudio realizado por IDECOR (Infraestructura de datos espaciales Córdoba) y colaboradores ofrece un enfoque metodológico para comprender la distribución del Valor Unitario de Arrendamiento (VUA) en la provincia de Córdoba, Argentina. Este enfoque se basa en datos disponibles en la infraestructura de datos espaciales (IDE), los cuales son capitalizados en análisis que generan un valor agregado de los mismos. Este trabajo representa un claro ejemplo de como integrar y analizar la información que ofrecen las IDEs

A partir de la implementación de algoritmos de aprendizaje computacional, como Quantile Regression Forest (QRF), Gradient Boosting Machine (GBM) y Support Vector Regression (SVR), se logró modelar y predecir el VUA en una cuadrícula de 25 hectáreas. Estos modelos fueron evaluados mediante validación cruzada tipo K-fold, lo que permitió medir su capacidad predictiva y ajuste.

Los resultados revelaron que el modelo QRF mostró el mejor desempeño, proporcionando una función de distribución condicional del VUA que permitió obtener una predicción del arrendamiento y su variabilidad espacial. Además, el estudio permite identificar factores clave que influyen en el valor de la tierra, como la capacidad de uso del suelo, las condiciones climáticas y la productividad agrícola. Este enfoque metodológico ofrece una introspección para comprender las dinámicas del mercado de arrendamiento y orientar futuras políticas de desarrollo rural y gestión de la tierra. En resumen, el estudio brinda una base teórica y empírica para abordar la valoración de la tierra en contextos agrícolas.

Palabras Clave: Valor Unitario de Arrendamiento, Aprendizaje Computacional, Validación Cruzada, Dinámicas del Mercado, Desarrollo Rural.

1. INTRODUCCIÓN

En sus inicios, la economía, cuando era comprendida como economía política, sus pensadores clásicos como Smith, Mill, Ricardo, Malthus y Marx, intentaron entender la relación entre los factores de producción (capital, trabajo y tierra) y los precios de mercado de bienes y servicios. A pesar de sus esfuerzos, no lograron establecer una teoría coherente que explicara esta relación. Posteriormente, fueron los economistas neoclásicos como Marshall, Jevons y Pareto, entre otros, quienes intentaron explicar las retribuciones a los factores productivos en función de su productividad marginal.

En la actualidad, el sector agrícola constituye una compleja cadena de valor que involucra a diversos agentes económicos, como productores, propietarios de tierras, empresas multinacionales, sindicatos, profesionales del sector, prestadores de servicios y transportistas. Comprender la renta de la tierra y su valor de arrendamiento es fundamental para entender la cadena de valor, al menos en un eslabón clave, que es la retribución al factor productivo tierra.

La provincia de Córdoba se destaca por su sector agropecuario, que representa el 20% del Producto Geográfico Bruto (PGB)¹ provincial. Con el 92% de sus suelos calificados como agropecuarios, la región cuenta con una base sólida para la actividad agrícola y ganadera, con un 51% apto para uso agrícola y un 42% para uso ganadero según el USDA (United States Department of Agriculture). La producción combinada de soja y maíz alcanza aproximadamente los 10.000 millones de dólares en promedio, considerando datos de las últimas tres campañas. Se estima que se sembraron alrededor de 7 millones de hectáreas en promedio durante el mismo período, con aproximadamente el 60% destinado a la soja y el 33% al maíz, obteniendo rendimientos promedio de 26 qq/ha y 70 qq/ha, respectivamente. Estos datos fueron compilados por el Ministerio de Bioagroindustria de la provincia de Córdoba, en colaboración con el INTA Centro regional y varias organizaciones agrícolas, respaldados por IDECOR, que proporciona datos geoespaciales actualizados. Esto facilita una evaluación de las tendencias agrícolas y promueve una colaboración efectiva entre diferentes actores, mejorando así la toma de decisiones y la gestión de recursos agrícolas.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo comprender el comportamiento de los arrendamientos rurales en la provincia de Córdoba, analizando el valor y su distribución espacial. Este conocimiento resulta relevante para la implementación de políticas efectivas, la toma de decisiones en producción e inversión, y la asignación eficiente de recursos financieros.

¹ Según datos del Ministerio de Economía y Gestión Pública, Dirección de Estadística y Censos, Presentación Producto Geográfico Bruto 2004-2022 Año base 2004 Valores Revisados.

Para llevar a cabo este análisis, se recopiló una muestra del valor de arrendamiento en quintales por hectárea de soja (soja qq/ha) utilizando una aplicación web desarrollada por IDECOR llamada Observatorio de Mercado Inmobiliario (OMI).

Además, es importante destacar que se emplea en este estudio información como modelos digitales de elevación generados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y cartas de suelos desarrolladas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) que a su vez son publicados de manera abierta por IDECOR, permitiendo su libre acceso y uso por parte de la comunidad. Estos datos no solo están disponibles para su consulta, sino que también son empleados por IDECOR en diversos estudios que lleva a cabo. Esta estrategia no solo facilita la difusión y democratización de la información geoespacial, sino que también contribuye a la generación de valor agregado mediante la capitalización de estos recursos en investigaciones científicas y análisis especializados.

Adicionalmente, IDECOR también genera datos propios para diversos estudios y análisis como en este caso. Entre estos, se destacan la elaboración del [Mapa de Cobertura y Usos del Suelo 2022-2023](#), el [Mapa Materia Orgánica del Suelo \(v.2023\)](#), el [Mapa pH del Suelo \(v.2023\)](#), así como la estimación del contenido de [Mapa de Contenido de Fósforo del Suelo \(v.2023\)](#), entre otros. Estos datos son recopilados, procesados y validados por especialistas en geoinformática, teledetección y disciplinas afines, para su aplicación en investigaciones científicas, planificación territorial y gestión ambiental.

Por otra parte se utiliza información proveniente de imágenes satelitales y sensores remotos, estas facilitan el mapeo de ciertas características del territorio en grandes extensiones. Dichas variables se trabajan y procesan en la plataforma Google Earth Engine (GEE)². Posteriormente, se utilizaron técnicas de aprendizaje computacional para generar los modelos de arrendamiento en función de las observaciones y de estas variables explicativas.

Se espera que los resultados y conclusiones de este estudio cumplan una serie de propósitos:

- a) Mejorar la información disponible para los agentes del sector, disminuir la incertidumbre y transparentar los costos de los factores productivos.
- b) Ser de utilidad para los propietarios e inversores al permitirles aproximarse a los valores de rentabilidad del suelo y sus costos de oportunidad.
- c) Ayudar a los arrendatarios a identificar los costos de los arrendamientos, lo que les permitirá calcular sus márgenes brutos.

² Plataforma gratuita de uso académico, educativo y gubernamental para el análisis científico y la visualización de imágenes satelitales y datos geoespaciales.

d) Permitir a los responsables de formular políticas comprender la cadena de valor y diseñar e implementar políticas fiscales, tributarias y agropecuarias con el objetivo de mejorar la eficiencia del sector.

La estructura del escrito se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se presentan los antecedentes bibliográficos, en la 3 se describe el área de estudio, en la sección 4 se detalla el marco epistemológico y el enfoque metodológico, en la sección 5 se explica el desarrollo del modelo y en la sección 6 se exponen los resultados y conclusiones.

2. ANTECEDENTES

La preocupación por la renta de la tierra se origina en los economistas clásicos, quienes buscaban desarrollar una teoría que distribuye el producto entre los factores productivos -tierra, capital y trabajo- y determinará la renta, beneficio o salario correspondiente a cada uno. Sin embargo, fueron los economistas neoclásicos quienes, mediante la teoría de la productividad marginal, redistribuyeron la producción entre estos factores (Todaro, 1978).

A mediados del siglo XX, con el desarrollo de la econometría, que se define como la medición de la economía y combina la teoría económica con técnicas estadística, surgieron nuevas formulaciones que sirvieron para apoyar o refutar la teoría económica (Fernández, 2000).

La década de los 60 se destacó por la rápida adopción de métodos de regresión lineal, comúnmente conocidos como modelos de precios hedónicos en la literatura (Moore, 2009). Estos modelos permiten establecer relaciones lineales entre el valor de la propiedad o la renta y un conjunto de variables independientes que afectan los precios de los inmuebles, facilitando la explicación causal de la formación del valor. Sin embargo, los modelos de precios hedónicos son exigentes en cuanto a los supuestos que deben cumplirse para su aplicación, lo que llevó al desarrollo de métodos más adecuados para tratar fenómenos espaciales, como modelos de regresión de cuantiles espaciales, estadística espacial y geoestadística. Actualmente, el interés se centra principalmente en modelos de aprendizaje computacional, que no requieren supuestos a priori sobre la distribución de los datos ni restricciones paramétricas, lo que los hace más adecuados para interpretar relaciones no lineales entre las variables independientes y el valor de la tierra (Yilmazer, et al., 2020) (Ma, et al., 2020) (Reyes Bueno, et al., 2020). Estas características están generando un creciente consenso en la academia sobre la aplicación de técnicas computacionales de aprendizaje.

3. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca la provincia de Córdoba, ubicada en el centro de la República Argentina, con una extensión de 165,321 km². Esta región se caracteriza por su variada topografía, que incluye zonas serranas en el sector occidental y extensas llanuras en el Este, Sureste y Sur, lo que da lugar a diversas potencialidades y productividades agrícolas, afectando directamente la rentabilidad de la tierra.

La investigación se centra específicamente en la región agrícola, definida por la superficie cultivada de la provincia. Para delimitar esta área, se estableció una grilla regular de celdas de 25 hectáreas (500m x 500m) en toda la extensión provincial, posteriormente se seleccionaron las celdas donde se realizan actividades agrícolas utilizando diversos criterios de filtrado relacionados con las covariables territoriales. En la Figura 1, se identifica como resultados que la región cultivable se concentra en la zona este, sureste y parte del noreste de la provincia, especialmente en la región pampeana, abarcando la mayor parte de la superficie destinada a la agricultura. En menor medida se identifican pequeñas zonas agrícolas en la cercanías a Villa Dolores, Ambul y Las Palmas.

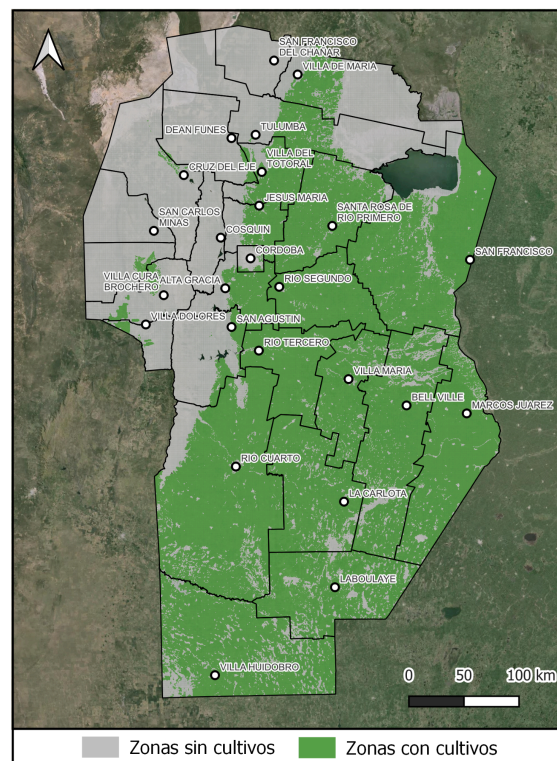


Figura 1: Área de estudio, zonas con cultivos y sin cultivos.

4. MARCO EPISTEMOLÓGICO Y ENFOQUE METODOLÓGICO

Desde una perspectiva epistemológica, el escrito adopta una postura positivista, la cual postula que la realidad social está sujeta a leyes similares a las de la naturaleza, generando regularidades que requieren ser identificadas y construidas mediante lógica deductiva. En este sentido, la razón, a través del método de deducción, busca descubrir las regularidades que rigen el comportamiento y la dinámica del mercado de arrendamiento. Estas leyes, identificadas a través del método de inducción, deben ser demostradas y verificadas empíricamente. El enfoque metodológico del escrito se inscribe en este marco, utilizando la inducción mediante la inferencia estadística a través de modelos de aprendizaje computacional, y la razón, a través de la deducción de la teoría clásica y neoclásica.

Desde un punto de vista metodológico, el estudio se llevó a cabo con el respaldo del equipo de IDECOR (Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba), que se caracteriza por ser un grupo multidisciplinario, compuesto por más de 25 profesionales de diversas áreas como geografía, agrimensura, agronomía, ingeniería civil, arquitectura, economía, corretaje inmobiliario y sistemas. Además, se contó con la colaboración de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba y el CONICET, en virtud de acuerdos específicos establecidos para este propósito.

4.1 La Muestra

En una primera etapa del estudio, se recolectó una muestra de valores de arrendamientos agrícolas entre los meses de junio y octubre de los años 2021, 2022 y 2023, mediante la participación de agentes inmobiliarios y especialistas del sector, principalmente ingenieros agrónomos. Estos valores, expresados en quintales de soja por hectárea (qq-soja/ha), fueron georreferenciados y posteriormente incorporados en el OMI (Observatorio de Mercado Inmobiliario), una aplicación web desarrollada por el equipo de Tecnología de Información (IT) de IDECOR.

Además de los arrendamientos agrícolas expresados en quintales de soja por hectárea (qq-soja/ha), la aplicación OMI ofrece la posibilidad de relevar otra información relevante, con el propósito de validar el valor del arrendamiento informado. Entre estas variables se incluyen el rendimiento agrícola (tanto de soja, maíz como de trigo), la capacidad de uso del suelo, el valor de la tierra por hectárea, entre otros aspectos pertinentes para una evaluación del mercado de arrendamientos agrícolas.

En la Figura 2, se observa que, aunque con cierta variabilidad, los valores más bajos de arrendamiento (menores a 8 quintales de soja por hectárea) tienden a concentrarse en la zona oeste y sur de la provincia. Mientras tanto, el área central muestra un arrendamiento promedio de entre 8 y 12 quintales de soja por hectárea. Por otro lado, los valores más altos de arrendamiento (mayores a 12

quintales de soja por hectárea) se concentran al este de la provincia, principalmente en la zona de Marcos Juárez y en menor medida en los departamentos aledaños.

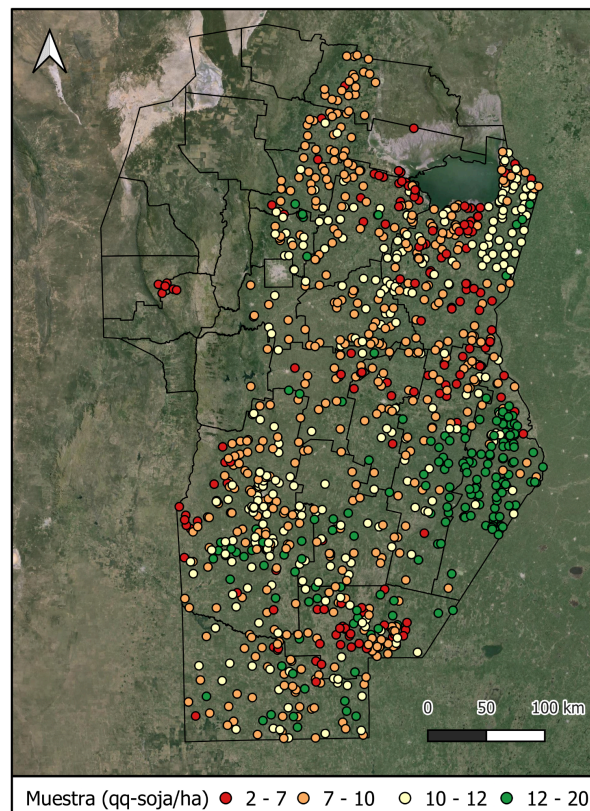


Figura 2: Distribución espacial de la muestra de valores de arrendamientos agrícolas.

A nivel provincial, se presentan las estadísticas descriptivas de la muestra en la Tabla 1, mostrando un valor promedio de aproximadamente 10 quintales de soja por hectárea, con valores mínimos y máximos de 2 y 20 quintales de soja por hectárea, respectivamente. El 10% de las observaciones de menor valor se sitúan por debajo de los 7 quintales de soja por hectárea (P10), mientras que el 10% de las observaciones de mayor valor se encuentran por encima de los 14 quintales de soja por hectárea (P90). Además, el coeficiente de variación muestra una variabilidad del 28% respecto a la media.

Tabla 1. Estadística descriptiva de la muestra

Observaciones	Media	Mediana	Min	Max	CV(%)	P10	P90
1087	10.19	10	2	20	28	7	14

4.2 Grilla de Predicción

Paralelamente, se desarrolló la grilla de predicción para reflejar la superficie agrícola. Para esto, se estableció una grilla regular con celdas de 25 hectáreas (500m x 500m de lado) que cubre toda la extensión provincial. A partir de esta grilla, se aplicó un conjunto de criterios relacionados con las variables relevantes, que cada celda debe cumplir para determinar si corresponde al área cultivable. Estos criterios incluían la capacidad de uso del suelo, el porcentaje de recurrencia de agua en la celda (para el período 2010-2018) y las distintas coberturas de uso del suelo, como áreas de cultivo extensivo, cultivo irrigado, pasturas manejadas, zonas anegadas, cuerpos de agua y zonas urbanas, entre otras.

A partir de estos criterios, se identificaron un total de 407,529 celdas donde se llevan a cabo actividades agrícolas, lo que totalizan aproximadamente 10 millones de hectáreas. Estas áreas representan el espacio sobre el cual se realizan las predicciones de los Valores Unitarios de Arrendamiento (VUA) en quintales de soja por hectárea (qq-soja/ha).

Las celdas restantes, que suman 245,198, fueron definidas como áreas sin cultivos y se les asignó un valor de 0 qq-soja/ha para el cálculo de los VUA. Este criterio se adoptó con el fin de asignar valores numéricos a lo largo de todo el territorio provincial y facilitar los cálculos a nivel de lotes agrícolas. Como se puede apreciar en la Figura 2, las áreas identificadas como sin cultivos dentro de la zona agrícola corresponden principalmente a lagunas, cauces de ríos, la cañada de Jeanmaire, sitios de alta salinidad y áreas de monte.

4.3 Las Covariables

Posteriormente a la grilla de predicción se le asignan un conjunto de covariables relacionadas con el valor del arrendamiento. Estas variables fueron calculadas o elaboradas utilizando herramientas geoespaciales, como Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramientas de procesamiento de imágenes satelitales y teledetección, entre otras. Es importante destacar que los datos utilizados para el desarrollo de las variables se encuentran, en su mayoría, disponibles en el portal de IDECOR, denominado MapasCórdoba³. A

³ <https://www.mapascordoba.gob.ar/#/mapas>

continuación se presenta un resumen de los datos utilizados, clasificados en grupos temáticos según sus temas y fuentes de datos:

- Mapeo de Cobertura y Uso del Suelo (land cover), IDECOR (2022/23). Disponible en MapasCordoba para su consulta y descarga.
- Cartas de Suelo de INTA y Gobierno de la Provincia: variables de Capacidad de Uso del Suelo, Índice de Productividad, Limitantes de Suelo (2021). Disponible en MapasCordoba para su consulta y descarga.
- Mapas de Propiedades del Suelo: variables referidas a materia orgánica, contenido de fósforo, pH, nitrógeno, arena, arcilla, limo. Estudios ad-hoc de IDECOR, INTA, Secretaría de Agricultura de la Provincia, entre otros (2021). Disponible en MapasCordoba para su consulta y descarga.
- Series temporales climáticas: precipitaciones, temperaturas, radiación solar, déficit hídrico (WorldClim Versión 2, 1970-200, resolución 30s -1km²)⁴; evapotranspiración (MODIS, resolución 500m)⁵; índice de sequía (PSDI - TerraClimate, 1960-2018)⁶.
- Modelo Digital de Elevación MERIT DEM⁷ (resolución de 3 segundos - 90 m en el Ecuador): variables topográficas relacionadas a alturas y pendientes del terreno. Disponible en MapasCordoba para su consulta y descarga.
- Recursos hídricos: variables relacionadas a cursos de agua, aguas subterráneas, salinidad en agua. Información proveniente de la Administración Provincial de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba.
- Recurrencia de agua superficial: productos propios desarrollados a partir de Pekel et Al. (2018), mediante clasificación de imágenes Landsat entre los años 1984 y 2018.
- Infraestructura y asentamientos humanos: variables relacionadas a distancias, centros urbanos, red eléctrica, acopios, puerto, entre otras. Información proveniente de Dirección Provincial de Vialidad, EPEC-Secretaría de Energía de la Nación, entre otras fuentes públicas.
- Económicas: variables que refieren a rendimientos históricos de soja y maíz. En base a estudios ad-hoc de IDECOR (2020-21, 2021-22), Sec.

⁴ Superficies climáticas interpoladas de muy alta resolución para áreas terrestres globales. Revista Internacional de Climatología. [doi:10.1002/joc.1276](https://doi.org/10.1002/joc.1276).

⁵ MODIS (o espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada) es un instrumento clave a bordo de los satélites Terra y Aqua.

⁶ Conjunto de datos globales de alta resolución sobre el clima mensual y el balance hídrico climático. [doi:10.1038/sdata.2017.191](https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191).

⁷ Mapa de alta precisión de elevaciones globales del terreno. [doi:10.1002/2017GL072874](https://doi.org/10.1002/2017GL072874).

de Agricultura e Informes Económicos de la Bolsa de Cereales de Córdoba. Disponible en MapasCordoba para su consulta y descarga.

- Otras temáticas: variables que describen condiciones de vegetación (NDVI), zonas de resguardo agropecuario, entre otras.

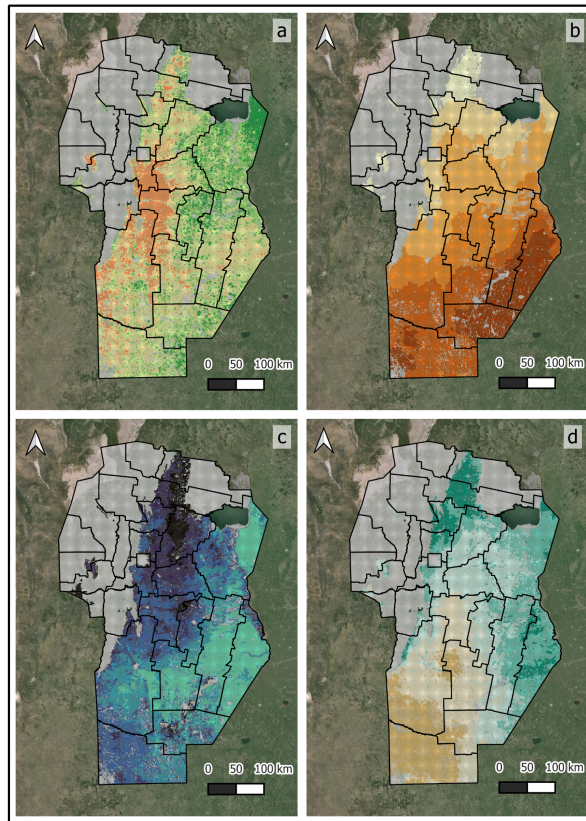


Figura 3: Covariables, a) NDVI, b) PDSI (índice de severidad de sequía), c) pH de suelo, d) MO (materia orgánica).

Finalmente, para llevar a cabo la ejecución de los modelos de predicción, se integran los datos de dos maneras: por un lado, se aplican las covariables a la grilla de predicción, y por otro lado, se aplican los mismos datos a las muestras recolectadas en campo.

5. EL MODELO

Una vez recopilada la muestra, construida la grilla de predicción e impactadas las covariables a las observaciones y a la cuadrícula de predicción (500 mts x

500 mts), se entrenaron 3 modelos de aprendizaje computacional: Quantile Regression Forest (QRF) (Meinshuasen, 2006), Gradient Boosting Machine (GBM) (Friedman, 2001), (Breiman, 2001), Support Vector Regression (SVR) (Cortes, 1995).

La capacidad de ajuste, la evaluación de los hiperparámetros y la capacidad predictiva de los modelos se infiere mediante un proceso de validación cruzada tipo K-fold (K=10) repitiendo 10 veces. Este proceso consiste en subdividir aleatoriamente la muestra en 10 grupos de similar tamaño, extraer uno de ellos y estimar los 3 modelos utilizando los datos de los 9 grupos restantes; posteriormente, se mide la capacidad de ajuste de cada modelo en el grupo extraído inicialmente. El procedimiento continúa de manera iterativa hasta que cada uno de los 10 grupos fue evaluado fuera de la muestra. De esta forma el procedimiento genera estimaciones del error de predicción que permite calcular distintas métricas que son útiles para analizar el desempeño de los modelos (Tabla 2).

Tabla 2. Modelos de predicción utilizados y métricas

Modelos	MAPE	MedAPE	RMSE	nRMSE	R2	CV	CD
QRF	0,17	0,11	1,88	18,47	0,54	0,17	0,17
GBM	0,18	0,12	1,92	18,83	0,55	0,17	0,18
SVM	0,19	0,12	2,04	20,01	0,39	0,19	0,19

Donde:

- * MAPE: Error relativo medio en valor absoluto.
- * MedAPE: Error relativo mediano en valor absoluto.
- * RMSE: Raíz cuadrada del error cuadrático medio.
- * nRMSE: Raíz cuadrada del error cuadrático medio en términos porcentuales.
- * R2: Porcentaje de variabilidad de la variable dependiente.
- * CV: Coeficiente de variación entre el valor observado y el valor predicho
- * CD: Coeficiente de dispersión entre el valor observado y el valor predicho

Cómo se observa en la Tabla 2, el algoritmo que minimiza las distintas métricas de cuantificación del error es QRF. Este algoritmo se basa en un proceso iterativo de árboles de decisión o Bosques Cuantílicos, que permiten, mediante un remuestreo, predecir valores de cuantiles. En otros términos, son capaces de

predecir la distribución de las observaciones y por lo tanto obtener medidas de posición o dispersión de las mismas.

Posteriormente, se optó por implementar el algoritmo con mejor desempeño predictivo sobre la muestra analizada, es decir, aquel minimiza las métricas del error. A través del modelo QRF se realizó la predicción de los valores unitarios del arrendamiento (VUA) rural fuera de la muestra en todo el territorio cultivable de la provincia de Córdoba en una cuadrícula de 25 ha.

Esta es la razón por la cual fue el modelo elegido para realizar las predicciones de la renta de la tierra en toda la grilla predicción (unidades de 25 ha).

6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El proceso de implementación del algoritmo QRF genera una función de distribución condicional de la variable dependiente, el valor unitario de arrendamiento (VUA). Esta función permite obtener medidas de posición, como los distintos cuantiles, la mediana y la media, también medidas de dispersión, como la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

A partir de estas medidas de posición, surge el valor predicho del VUA, para ello generalmente se utiliza la media o la mediana. Por otro lado, las medidas de dispersión proporcionan información sobre la variabilidad de cada punto de la predicción, lo que ayuda a entender la incertidumbre asociada a la inferencia.

La predicción del VUA posibilita la creación de un mapa que refleja la distribución de los valores de los arrendamientos en la provincia de Córdoba. Este mapa se genera en una unidad espacial de 25 hectáreas, lo que permite una aproximación detallada de los valores y la observación de la estructura espacial de los arrendamientos.

En términos generales para toda la provincia Córdoba resultaron las siguientes predicciones de VUA:

Tabla 3. Estadísticas de la predicción

Observaciones	Media	Mediana	Min	Max	CV(%)	P10	P90
407.529	10	10,19	2	19	19	8	12

Estas observaciones se realizaron sobre el área cultivable de la provincia, representada por una cuadrícula de 25 hectáreas que abarca aproximadamente 10 millones de hectáreas. Con un promedio de 10 soja - qq/ha y un coeficiente de variación del 19% indica la variabilidad en los valores del VUA, mientras que

el intervalo entre el percentil 10 y el percentil 90 (de 8 a 12 qq/ha) muestra dónde se concentran la mayoría de los valores de arrendamiento.

A continuación, se presenta un mapa que refleja la distribución espacial del VUA en la provincia de Córdoba.

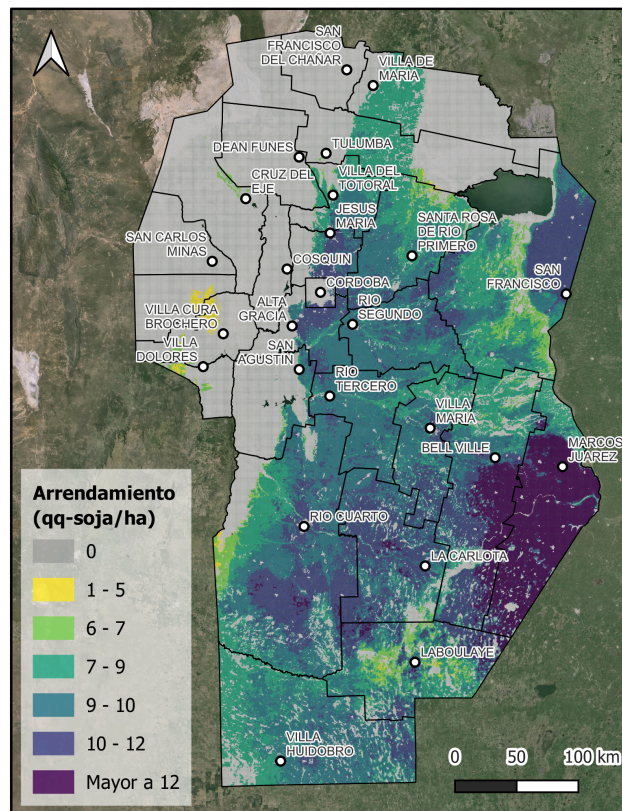


Figura 4: Mapa del Valor Unitario del Arrendamiento (VUA) agrícola 2023.⁸

Paralelamente, el algoritmo QRF permite construir un mapa que refleje la variabilidad de la predicción. Esto se logra calculando la desviación estándar de los resultados de los árboles y dividiéndola por la mediana. El resultado, expresado como coeficiente de variación, facilita la evaluación espacial de la confiabilidad de las estimaciones y se presenta en el siguiente mapa.

⁸ El mapa puede consultarse en el enlace: <https://mapascordoba.gob.ar/viewer/mapa/500>

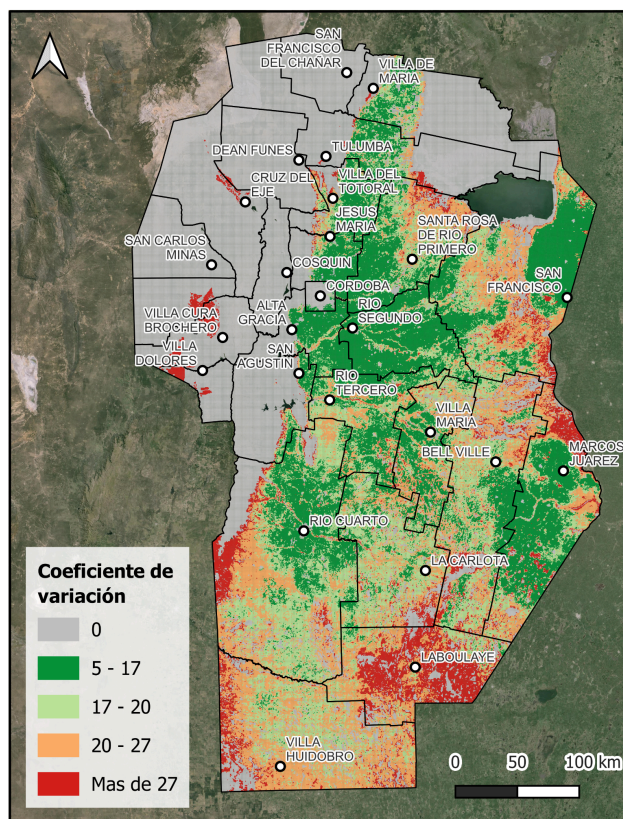


Figura 5: Mapa de incertidumbre de predicción del valor unitario del arrendamiento (VUA) agrícola 2023.

El trabajo desarrollado por IDECOR, en colaboración con otras instituciones provinciales, representa una ayuda en la comprensión y aproximación teórica a la distribución del valor de la tierra, expresado en el Valor Unitario de Arrendamiento (VUA). Este enfoque proporciona una introspección valiosa sobre la retribución del factor productivo tierra, un tema que ha sido objeto de interés para los autores clásicos y neoclásicos de la economía.

Este enfoque metodológico permite a los investigadores y tomadores de decisiones evaluar la importancia relativa de diversos factores en la determinación del valor de la tierra y comprender mejor cómo estos factores interactúan en diferentes áreas geográficas. Además de proporcionar información sobre la variabilidad y la incertidumbre de las estimaciones, el estudio ofrece una base para futuras investigaciones y políticas relacionadas con el desarrollo rural y la gestión de la tierra. A modo de ejemplo, se presenta el siguiente cuadro que muestra las relaciones entre los arrendamientos bajos, medios y altos, y diversas variables asociadas:

Tabla 4. Variables económicas según el tipo de arrendamiento (en qq-soja/ha).

Arrendamientos	Bajos (< 8 qq)	Medios (8 a 12 qq)	Altos (12 a 20 qq)
Arrendamiento promedio (qq/soja) ⁹	7	10	14
Valor de la tierra 2023 (usd/ha) ¹⁰	4.800	7.600	12.500
Rentabilidad (%) ¹¹	3,13	2,59	2,30
Producción en qq soja/ha ¹²	28	33	40
Producción en qq maíz/ha ¹³	73	83	110
Índice de Productividad (IP) ¹⁴	35	51	82
Capacidad de Uso (CU) ¹⁵	4	3	2
Precipitaciones anuales (mm) ¹⁶	750	780	900
Porc (%) de muestras de mercado ¹⁷	18	72	10

Este cuadro permite visualizar cómo varían estas variables en función del nivel de arrendamiento y ofrece información valiosa para comprender las dinámicas del mercado y la productividad agrícola en diferentes segmentos de tierras arrendadas.

En resumen, el presente trabajo representa un valioso aporte tanto teórico como práctico al campo de la economía agrícola y la gestión territorial, al proporcionar una herramienta metodológica y una comprensión de la dinámica de los arrendamientos agrícolas en la provincia de Córdoba.

⁹ Mapa Valor de Arrendamientos Agrícolas en la Provincia de Córdoba 2023.

¹⁰ Mapa Valor de la Tierra 2023.

¹¹ Cociente entre el valor de arrendamiento y el valor de la tierra.

¹² Mapa de Estimaciones Agrícolas 2023.

¹³ Mapa de Estimaciones Agrícolas 2023.

¹⁴ Geoportal INTA.

¹⁵ Geoportal INTA.

¹⁶ Precipitaciones anuales obtenidas WorldClim Versión 2.

¹⁷ Muestras obtenidas del Observatorio del Mercado Inmobiliario.

7. BIBLIOGRAFÍA

- TODARO, R. (1978). La renta de la tierra: algunos antecedentes teóricos. *Revista EURE-Revista de Estudios Urbano Regionales*, 5(15).
- FERNÁNDEZ, J., & DE URDANIVIA, C. A. D. (2000). Para una breve historia de la econometría. *Política y Cultura*, (13), 7-32.
- YILMAZER, S., & KOCAMAN, S. (2020). A mass appraisal assessment study using machine learning based on multiple regression and random forest. *Land Use Policy*, 99, 104889. [doi:10.1016/j.landusepol.2020.104889](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104889)
- MOORE, J. W. (2009): A history of appraisal theory and practice: Looking back from IAAO's 75th year. *Journal of Property Tax Assessment & Administration* 6(3), pp. 23-50.
- REYES-BUENO, F., GARCÍA-SAMANIEGO, J. M., & SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, A. (2018). Large-scale simultaneous market segment definition and mass appraisal using decision tree learning for fiscal purposes. *Land Use Policy*, 79, 116–122. [doi:10.1016/j.landusepol.2018.08.012](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.012)
- MEINSHAUSEN, N. 2006. Quantile regression forests. *J. Mach. Learn. Res.* 7(Jun): 983–999.
- FRIEDMAN, J. H. (2001). Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of statistics*, 1189-1232.
- BREIMAN, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45, 5-32
- CORTES, C., & VAPNIK, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20, 273-297