

Determinantes del uso de plaguicidas entre los productores del sector agrícola de Bolivia: una aplicación de modelos de respuesta binaria

Determinants of pesticide use among farmers in the Bolivian agricultural sector: an application of binary response models

*Jorge Eduardo Bolaños Gamarra**

Resumen

El estudio evalúa los factores que influyen en la probabilidad de que los productores agropecuarios hagan uso de químicos plaguicidas según la Encuesta Agropecuaria 2015 (Bolivia). Se aplican técnicas estadísticas de clasificación binaria: modelo Logit y modelo Probit, a una muestra de 1607 individuos, los cuales fueron seleccionados por muestreo deliberado (casos completos). Los resultados evidencian que, a un nivel estadístico, existe una relación estadísticamente significativa entre la probabilidad de usar plaguicidas y factores como ser: el tipo de cultivo, mes de cosecha, las decisiones sobre la asignación de tareas, la información sobre eventos climatológicos y el conocimiento del seguro agrario Pachamama. Por lo tanto, se concluye que el uso de plaguicidas está asociado con algunos de los factores considerados en la Encuesta Agropecuaria 2015.

Palabras clave: plaguicidas, agricultura, clasificación binaria, modelo logit, modelo probit.

* MBA, en Administración de empresas de la Universidad Privada Boliviana (UPB). Analista de investigación independiente.
Contacto: jorgescourg@gmail.com
Código ORCID: 0000-0002-1707-6605

Abstract

The study evaluates the factors that influence the probability that farmers use pesticide chemicals according to the 2015 Agricultural Survey (Bolivia). Statistical techniques of binary classification: Logit model and Probit model, are applied to a sample of 1607 individuals, which were selected by purposive sampling (complete cases). The results show that, at a statistical level, there is a statistically significant relationship between the probability of using pesticides and factors such as type of crop, the month of harvest, decisions on task assignment, information on climatological events and knowledge of Pachamama agricultural insurance. Therefore, it is concluded that the use of pesticides is associated with some of the factors considered in the 2015 Agricultural Survey.

Keywords: pesticides, agriculture, binary classification, logit model, probit model.

Clasificación/Classification JEL: Q12, Q15, Q24.

1. Introducción

El estudio fue realizado con la finalidad de analizar desde una perspectiva cuantitativa el fenómeno del uso de plaguicidas en Bolivia, para aportar una visión más centrada en aspectos estadísticos, en contraste con las visiones que habitualmente se emplean dentro de los estudios sobre el tema, las cuales suelen estar enfocadas en aspectos sociales, médicos y de política pública.

Debido a que los plaguicidas son ampliamente utilizados en los países en vías de desarrollo con el fin de incrementar los rendimientos agrícolas, sus efectos en la salud humana y el medioambiente son motivo de controversia, resultando importante analizar de manera periódica las tendencias de la oferta y la demanda de ese insumo, así como los efectos que van generando a nivel sanitario y ecológico. El estudio va en la línea de investigar los factores micro de la demanda del químico.

Dado que Bolivia se encuentra inmersa en el sistema de producción agrícola que predomina a nivel internacional –el cual se caracteriza por la expansión de la producción de alimentos mediante técnicas de intensidad y extensión, a fin de satisfacer la creciente demanda

global de alimentos–, el uso de insumos químicos ha penetrado en la agricultura nacional, generando diversos efectos sociales y ambientales.

Se tomó la base de datos de la Encuesta Agropecuaria 2015 realizada por el Instituto Nacional de Estadística de Bolivia. Las encuestas agropecuarias son desarrolladas con el propósito de actualizar de manera periódica los datos acerca de las Unidades de Producción Agropecuaria (UPAs), para posteriormente sistematizar la información y disponer de datos fundamentados para la formulación, monitoreo y evaluación de políticas públicas.

El objetivo general del trabajo es estimar los factores que influyen en la probabilidad de que las UPAs que forman parte de la población encuestada de la Encuesta Agropecuaria 2015 hagan uso de químicos plaguicidas. Como objetivos específicos se establecieron los siguientes: determinar qué variables se debe tomar en cuenta para el desarrollo de un modelo Logit y Probit que permita identificar los determinantes de la probabilidad de uso de plaguicidas; interpretar los resultados obtenidos determinando los efectos marginales de las variables explicativas utilizadas; realizar un análisis post-estimation para validar el modelo desarrollado, y hacer una relación entre los resultados obtenidos y la teoría.

En la sección empírica se utilizan modelos de regresión de clasificación binaria ‘Logit’ y ‘Probit’. Estos modelos permiten analizar desde un punto de vista probabilístico una variable de respuesta binaria, mediante una serie de variables explicativas que tienen un efecto marginal en la probabilidad de que cada caso sea clasificado como perteneciente a una categoría u otra (‘éxito’ o ‘fracaso’). Se optó por estos modelos debido a que son el estándar básico para analizar bases de datos de corte transversal con información micro sobre un conjunto de individuos encuestados.

2. Problemática del tema de estudio

2.1. Plaguicidas en el sistema actual de producción agrícola

Según Kaur *et al.* (2019), los plaguicidas pueden ser definidos como químicos tóxicos, sustancias químicas o mezclas de agentes biológicos, que son “intencionalmente liberados en un determinado ambiente”, con el fin de “evitar, detener, controlar, matar o destruir

poblaciones de insectos, hierbas, roedores, hongos y otras plagas dañinas”. Estos químicos funcionan atrayendo, seduciendo, destruyendo o mitigando dichas plagas.

Desde hace varias décadas, los plaguicidas son ampliamente utilizados en los países en vías de desarrollo como medio para controlar las plagas, regular el crecimiento de las plantaciones e incrementar los rendimientos agrícolas. La demanda de plaguicidas ha tendido a crecer a nivel mundial, en el marco del actual sistema de producción, el cual prioriza la maximización de los rendimientos. Esa búsqueda de mayores rendimientos se debe a la creciente necesidad de establecer una producción alimentaria sostenible. Muchos agricultores de países en vías de desarrollo ven los plaguicidas como la mejor alternativa para proteger sus cultivos, dado que para ellos estos químicos son una forma de seguro agrícola.

Según la FAO, en 2020, el consumo de plaguicidas fue de 2,66 millones de toneladas a nivel mundial, mientras que en 1990 era de 1,69 millones de toneladas. En esa línea, en las últimas tres décadas, el uso de plaguicidas exhibió un promedio de 1.58 kilogramos por hectárea, 0.37 kilogramos por persona y 0.79 kilogramos por miles de dólares de producción agrícola (FAO, 2022).

La intensificación agrícola, es decir, el incremento del producto agrícola por unidad de insumos (tierra, trabajo, tiempo, fertilizantes, semillas y capital), resultado de incrementos en la productividad, es la principal tendencia dominante del sistema de producción actual, junto a la especialización y la consolidación. En muchos casos, la intensificación se logra mediante prácticas que reducen ciertos *inputs*, entre ellos, el uso de fertilizantes con mayor rendimiento y la reducción de pérdidas por mejoras en la protección frente a plagas y animales. Las prácticas de intensificación se dan en espacios productivos donde es necesario expandir la oferta de alimentos, frente a incrementos en el tamaño de la población, o para compensar pérdidas provocadas por problemas ambientales o problemáticas de tipo social. La intensificación también es un mecanismo de compensación frente a la incapacidad de aplicar prácticas extensivas o de ‘extensificación’ tales como el incremento de la superficie de tierra cultivada.

2.2. Agricultura en Bolivia

En Bolivia, el sistema agrícola se reparte en dos sectores: el sector de la agricultura tradicional, concentrado en la región central y oeste, y el de la agricultura moderna, concentrado en los

departamentos del oriente del país. La agricultura tradicional prioriza el uso de herramientas básicas de cultivo y el desarrollo de cosechas naturales. Asimismo, se ha mantenido alejada del uso de factores tecnológicos. Por otro lado, la agricultura moderna se ha acercado al patrón industrial, y hace uso de herramientas tecnológicas (maquinaria, riego artificial, fertilizantes, semillas y plaguicidas), a fin de facilitar la producción de productos como la soya, el sésamo, el algodón, entre otros. En esta perspectiva, el sector tradicional ha sido más refractario a introducir las prácticas de intensificación, mientras que el sector agroindustrial emplea técnicas extensivas y algunas técnicas intensivas.

Según la Fundación Tierra (2020), la crisis del sistema agrícola boliviano que se manifiesta desde los años 80 consiste en un rezago y pérdida de influencia de la producción tradicional, y la insostenibilidad económica y pérdida de competitividad de la agricultura moderna. El modelo agroexportador desarrollado en el oriente del país es muy dependiente del cultivo de la soya, y muestra un agotamiento reciente que se pretende contrarrestar mediante prácticas de intensificación. Esto ha llevado a que la agricultura se encuentre colapsada y el país se convierta en un importador neto de alimentos. En el caso de la producción en la zona andina, la pérdida de su rol económico y productivo ha abierto paso a la llegada de productos peruanos que son más competitivos. En cuanto a los hábitos de los consumidores, el consumidor boliviano se caracteriza por tener cada vez más preferencia por los alimentos procesados, por lo que hay una mayor aceptación de los alimentos producidos mediante alteraciones químicas.

La baja productividad de la agricultura boliviana está asociada al deterioro de la capacidad productiva de la tierra (erosión), el minifundio y el latifundio, los fenómenos climáticos, la concentración poblacional en zonas de bajo rendimiento, el uso excesivo de insecticidas, el rezago tecnológico, la migración, poca asistencia técnica y el empleo de mano de obra poco calificada.

Según datos de la FAO, en Bolivia, en 2020, teniéndose un área terrestre de 109,858 miles de hectáreas, el total de la tierra destinada a la agricultura fue de 30,261 mil hectáreas (27.54%), y el área forestal fue medida en 51,033.76 miles de hectáreas. La superficie agrícola fue de 4,540 miles de hectáreas. El rendimiento en toneladas por hectárea actualmente es de 5.55 toneladas, y el valor de producción por hectárea fue de 1,469 dólares por hectárea. Estos datos muestran que Bolivia mantiene un nivel de mediano a bajo de uso agrícola de la

tierra, en comparación a otros países. En 2020, según datos de la FAO, la tierra destinada a la agricultura representó el 19.04% del área terrestre nacional del Perú; en Brasil, el 47.69%; en Chile, el 20.76%; en Argentina, el 38.98%; y en Ecuador, el 21.11%.

2.3. Política agrícola en Bolivia

En lo social, la agricultura boliviana atraviesa desde hace varias décadas por un proceso de “transición demográfica”: según datos del Banco Mundial, en los últimos 20 años, el 44% de la población que vivía en el área rural pasó a ser un 30%. Este fenómeno podría estar vinculado a la transformación estructural del campo y la concentración de la población en el área urbana (Blanes, 2006). El nivel educativo, la búsqueda de empleo, la tasa de mortalidad infantil, el requerimiento de servicios de salud, la demanda de vivienda y los factores ecológicos, influyen en que las personas prefieran residir en el área urbana y abandonar el área rural.

Posterior a los cambios socioeconómicos introducidos por las reformas de ajuste estructural, tras la crisis de la década de 1980, desde la década de 1990 aparecieron en el área rural occidental y oriental las prácticas semi-empresariales que dieron paso a que los campesinos y colonizadores adopten formas de organización como las asociaciones y cooperativas, el trabajo asalariado con mano de obra externa y la compra de insumos externos, estando entre éstos últimos las semillas mejoradas y los plaguicidas.

En lo institucional, las políticas agrarias en Bolivia se basan desde hace varias décadas en el fomento de la modernización. Según Alemán (2018), durante la fase posterior a 1952, las políticas agrarias se inspiraron en la “Revolución verde” (introducción de la producción moderna en el área rural), promoviendo el desarrollo agrícola a través de medidas como las ofertas de créditos, las semillas mejoradas, los paquetes tecnológicos, y la contratación de agrónomos y especialistas. El Instituto Boliviano de Tecnología Agraria (IBTA) fue la principal instancia promotora de estas políticas, hasta el primero de enero de 1997.

A partir de los años 90, el desarrollo agrario pasó a seguir lineamientos de la cooperación extranjera, las organizaciones no gubernamentales y organismos internacionales (Alemán, 2018). En la época del llamado pos-neoliberalismo (2006 hasta la actualidad), se trató de promover cierta visión agroecológica y “comunitarista” de la producción agraria, por medio de disposiciones normativas como la Ley N° 300 o “Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo

Integral para Vivir Bien”, y la Ley N° 071 de “Derechos de la Madre Tierra”, definiendo ciertos lineamientos ideológicos para la actividad agrícola, inspirados en la filosofía del “vivir bien”.

2.4. Los plaguicidas en Bolivia

Los plaguicidas utilizados en temas agrícolas pueden ser funguicidas (para controlar hongos), herbicidas (para controlar la hierba mala), nematocidas (para controlar los gusanos), molusquicidas (para controlar caracoles y babosas), acaricidas (para controlar ácaros), insecticidas (para controlar insectos) y rodenticidas (para roedores) (Guitart, 2002). Las sustancias reguladoras del crecimiento de las plantas, los inhibidores de germinación, los atrayentes y repelentes de plagas y los ectoparasiticidas (insecticidas para combatir los parásitos que viven en el exterior de animales) también son considerados plaguicidas. Los residuos con riesgo de ser tóxicos no solo son los químicos plaguicidas como tales, sino también las metabolizaciones que los organismos-objetivo producen y las degradaciones.

En Bolivia, la principal razón para el uso de plaguicidas es que las plagas (insectos, bacterias, hongos, nematodos y malezas) muestran patrones de crecimiento descontrolado que causan daños a los cultivos (MDRyT, 2011). Los problemas que provocan las plagas agrícolas no controladas son los siguientes: 1) bajas en la producción, 2) deterioro de la calidad del producto, y 3) reducción de las utilidades de los productores.

Entre los años 2000 y 2018, el uso de plaguicidas exhibió una tendencia creciente. El país no se caracteriza por ser productor de plaguicidas, por lo que recurre a la importación para obtener los químicos. El siguiente cuadro muestra la lista de plaguicidas importados al país entre los años 2013 y 2018:

Cuadro 1
Lista de plaguicidas importados en Bolivia 2013-2018

Abamectin, abamyl, abanes	Biorat	Ectobull	Gliserb	Maxim xi	Ridomil Gold
Acrobar	Biosanit	Ectolines, fripets, terbovector, emamectin	Glory	Moscaplus	Tifram
Acronis	Biozyme	Exalt	Golden natur	Nicosulfuron, nicosol	Rup ultramax
Acticide	Bonzyme	Farmon, farmasept, farmadox, econofarm	Gramoxone	Nimbus	Sapolio
Agita	Busan	Fastac	Hormifav	Azonimbus	Starane xtra
Alphamost	Cabrio top	Fipronil, fiprogem	Ilersan	Nurelle	Thiamethoxam
Alphisol	Carbendazim	Flutriazol, flutriafol	Imidacloprid	Opera	Tordon
Ametrina	Clethodim	Foker	Interoc	Orquesta Ultra	Triatox
Ametrex, Ametrin	Cobrethane	Free dog	Intrepid	Padron	Uniwall
Amistar	Cripton	Genesis	Karate zeon	Panzer gold	Vetancid, vetanco
Amitraz	Curathane	Gesaprim	Klerat	Paraquat	Yodigen
Atrazine, atrazina, interzina	Curyon	Girando sol	La tijereta	Phino Brill	Yodigen Plus
Aviyodox	Cypermethyl, cypermethrin	Glifomax	Lambda	Phoenix Max, Phoenix Plur	Zeus
Bak	Cyzone	Gliforte	Lavandina	Prado extra	
Basagran	Diversey	Glifosap	Lorsaban	Priori Xtra	
Baygon	DMA	Glifosix	Lufenuron	Race Rm	
Bazuka	Dual gold	Glifosox	Lysoform	Raid	
Belator, beltis	Duplalim		Mapex	Rainbow	
Biocide				Ratifin Rodifav, Ratifav	
Bioinsect					

Fuente: AEMP (2019), en base a datos de la Aduana Nacional de Bolivia.

Respecto a la información del cuadro, cabe indicar que muchas de las denominaciones corresponden a nombres comerciales y nombres genéricos de los plaguicidas importados. Los productos proceden de distintos países y son de diversas categorías (insecticidas, herbicidas, etcétera).

El Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria (SENASAG) (creado por medio de la Ley N° 2061, sobre el 'Régimen específico de sanidad agropecuaria e inocuidad alimentaria') es la instancia responsable de definir los lineamientos y procedimientos para el registro y utilización de plaguicidas en el territorio nacional, para usos en el ámbito agrícola. Su labor pretende reducir el riesgo para la salud y el medioambiente ligado al uso de estos químicos. El "Reglamento para el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola" es el documento suscrito en el marco de la Decisión 804 de la Comunidad Andina de Naciones, para regular los procedimientos de utilización de plaguicidas químicos de uso agrícola. En su artículo 7, establece la exigencia de que "toda persona natural o jurídica para fabricar, formular, registrar-importar, exportar, fraccionar, envasar, comercializar o distribuir un PQUA (plaguicida químico de uso agrícola)" deba "obligatoriamente empadronarse previo al inicio de sus actividades ante el SENASAG".

Desde el 15 mayo de 2018, el Gobierno dispuso que el Comité Nacional de Plaguicidas se haga cargo de otorgar certificaciones a todos los plaguicidas químicos que ingresen al país, sobre la base de dictámenes técnicos basados en criterios de toxicología. El Comité está integrado por el SENASAG (como autoridad nacional competente), el Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, y el Ministerio de Salud. El Área de Toxicología Humana de la Unidad de Salud Ambiental del Ministerio de Salud es la instancia responsable de la emisión de los dictámenes técnicos toxicológicos.

Santa Cruz es el departamento que más plaguicidas emplea, llegando a concentrar el 70% del uso (IBCE, 2019). En las campañas de soya se utilizan más de 8 mil toneladas de plaguicidas y herbicidas. Según el IBCE (2019), en Santa Cruz, los productos agroquímicos representan el 24.6% del costo por unidad de los productos agrícolas industriales. Cabe señalar que del total de 22 millones de toneladas métricas que constituyen el producto agrícola total de Bolivia, la producción de Santa Cruz representa el 76%, Cochabamba el 7%, La Paz el 6% y el resto de los departamentos el 11% (IBCE, 2019).

2.5. Encuesta Agropecuaria 2015

La Encuesta Agropecuaria de 2015 fue una consulta desarrollada entre el 1 de julio de 2014 y el 30 de junio de 2015 por el INE, con el fin de actualizar la información estadística

agropecuaria del país, vale decir, la serie de datos 1984-2012, estimando la superficie, producción y destino de la actividad agrícola y pecuaria a nivel nacional y departamental, y posibilitando el seguimiento y evaluación de la producción rural, dado el marco establecido por el Censo Agropecuario de 2013. Asimismo, la consulta buscó brindar información sobre los precios al productor agropecuario, evaluar la cobertura del seguro agrícola, y el alcance de los créditos sectoriales.

La encuesta fue ejecutada en base a un marco muestral, una metodología e instrumentos estadísticamente fundamentados. Se realizó mediante entrevista directa a todos y cada uno de los productores responsables de las unidades de análisis seleccionadas. El principal antecedente para la consulta fue la Encuesta Nacional Agropecuaria de 2008, que permitió obtener datos sobre la superficie de producción y rendimiento para los años 2007 y 2008.

Dado que la Encuesta Agropecuaria buscó la elaboración de indicadores para el seguimiento y evaluación de las actividades del sector agropecuario en el marco de las políticas de la “Revolución productiva comunitaria”, la agropecuaria sustentable, y la soberanía alimentaria y productiva agroindustrial, como parte de ese afán de profundizar el conocimiento sobre los usos de la tierra, la consulta abordó el tema del uso de plaguicidas en varias preguntas, interrogando a los entrevistados acerca de temas como el uso, nombre, cantidad, medidas y costos de los químicos, entre otros aspectos. En este sentido, la información recopilada resulta adecuada para practicar un análisis a nivel estadístico, a fin de evaluar los factores relacionados al uso de estos insumos.

3. Revisión de literatura

Polanco, Salazar, y Curbow (2014) publicaron un estudio acerca de la percepción del control y la confianza en el uso de plaguicidas entre campesinos de Colombia, aplicando un enfoque cuantitativo en base a 79 cuestionarios con información acerca de agricultores campesinos, varones y mujeres, de San Cristóbal, Antioquía. Para explicar el uso de plaguicidas, los autores recurrieron a factores como el conocimiento, las actitudes, las creencias, las percepciones de control y la confianza en los químicos. Los resultados del estudio mostraron que los usuarios de pesticidas tienen menores percepciones acerca del daño sobre la salud humana y el medio ambiente, una menor percepción acerca del control, y menor confianza. Los investigadores

recomiendan intervenciones educativas en salud pública y entrenamientos sobre prácticas seguras y confianza.

Ghimire y Woodward (2013) realizaron un estudio enfocado en los factores económicos, políticos y ambientales que contribuyen al consumo y subutilización o sobreutilización de los plaguicidas, desde un enfoque macro instrumentado a través de un análisis de datos de panel no balanceados aplicado a varios países. Los autores concluyen que el PIB *per cápita*, el stock de inversión extranjera directa, el tamaño de las granjas, la mecanización y la democracia son factores que muestran que, en los niveles más bajos de ingreso, hay subutilización de plaguicidas y en los niveles más altos de ingreso, hay una creciente sobreutilización del insumo.

Por su parte, Ramírez (2013) publicó un estudio acerca de las prácticas de utilización de plaguicidas en agricultores de la Comunidad Valenciana, España. Como método aplicó la entrevista personal para la recogida de información relacionada a la exposición a químicos, con una muestra de 89 trabajadores con edades entre 16 y 46 años, y nivel de estudios bajo. Los resultados revelaron que la mayor parte de los entrevistados realizaban tratamientos en cultivos altos, con equipos manuales y durante todo el año, desarrollando tareas con exposición excesiva a los químicos, lavado de equipos, pero poca protección personal o un uso deficiente de la misma. Por tanto, la exposición a plaguicidas dañinos para la salud parece estar relacionada al bajo nivel educativo.

Wilson y Tisdell (2001) publicaron un estudio acerca de los factores para el uso de pesticidas a pesar de sus costos ambientales, sanitarios y económicos, vale decir, las externalidades negativas como el daño agrícola, daño a la fauna, la flora y la pesca. La investigación se basa en estudios previos correspondientes a la década de 1990, información estadística de Sri Lanka y Bangladesh, y observaciones de los autores. Wilson y Tisdell atribuyen el fenómeno a que el actual sistema de producción agrícola ha 'atrapado' a los granjeros en un sistema de control de plagas basado en tecnologías dependientes de los pesticidas, dado que la transición hacia un sistema orgánico tiene costos de transacción elevados que los pequeños productores no pueden cubrir y tendrían que asumir pérdidas. En ese sentido, hay una barrera económica que obliga al uso de químicos pese a todas sus externalidades negativas.

En 2018, Bickel publicó una tesis acerca del uso de plaguicidas por parte de las familias de productores en Bolivia, a solicitud de obra alemana católica MISEREOR, aplicando un

enfoque basado en la observación directa y entrevistas con expertos, en el marco de una gira de tres semanas a Bolivia, en marzo de 2018, a cuatro zonas climáticas. Los resultados apuntan a que más del 70% de los ingredientes activos de los plaguicidas comercializados en el país son altamente peligrosos, y existe un uso indiscriminado de los químicos, dado que los agricultores mezclan cocteles de agroquímicos tóxicos sin la debida protección individual. La autora atribuye el problema a la insuficiente intervención estatal, el nivel bajo de instrucción formal de la población rural, la falta de asesoramiento agrícola, y la influencia de los comercios de agroquímicos. La vigencia de normas ‘progresivas y completas’ para la protección de los derechos humanos, la alimentación y la naturaleza, resultó ineficaz para prevenir esta situación, por lo que el estudio recomienda la prohibición de la entrada y venta de los plaguicidas altamente peligrosos (PAP).

4. Estrategia empírica

El estudio es una investigación cuantitativa, empírica, multivariada, transversal, no experimental e inductiva, basada en la aplicación de modelos Logit y Probit para el análisis de la base de datos de la Encuesta Agropecuaria 2015, con el fin de estimar los factores que, a nivel estadístico, influyen en el uso de plaguicidas entre la población de los productores entrevistados. Como técnica de recolección de datos se aplicó la consulta bibliográfica y la consulta de datos.

La hipótesis de partida es la siguiente: los factores como la superficie, el volumen de producción, el riego, la cantidad vendida al mercado nacional, la cantidad vendida al mercado internacional y la cantidad de producción destinada a derivados, permiten generar un modelo correctamente ajustado respecto a la probabilidad de que use plaguicidas un individuo que forma parte de la muestra tomada de la Encuesta Agropecuaria 2015.

5. Descripción de los datos y variables

Dentro de la Encuesta Agropecuaria 2015, el universo o población está constituido por “hogares de las zonas rurales procedentes de los 9 departamentos de Bolivia” (INE, 2019), a los cuales se accede a través de un individuo informante. Las Unidades de Producción Agropecuaria (UPAs) son las unidades censales que están localizadas en áreas geográficas

denominadas “segmentos de comunidades”, siendo cada una de ellas un terreno (chaco, finca, estancia, rancho o parcela) que se utiliza total o parcialmente para la producción agrícola, pecuaria, o ambas, por parte de un productor, sin que tenga particular relevancia el régimen de propiedad o la condición jurídica del terreno.

En ese sentido, las UPAs deben ser concebidas como “divisiones estadísticas” delimitadas a partir de criterios político-administrativos. Los dominios de estudio están contruidos en torno a la distribución política del territorio, dado que el muestreo se hizo conforme a un marco geográfico. Por otro lado, el territorio está asociado a la zona agro-productiva, dando lugar a la conformación de 21 subdominios, resultantes de las combinaciones efectivas entre departamento y zona agro-productiva (Chaco y valles, altiplano, Amazonía, valles, Yungas y Chapare, Chiquitanía y pantanal, llanuras y sabanas). En ese marco, cabe mencionar que el tipo de cultivo (asociado, independiente, otras tierras, sucesivo, suelos de cultivos variados), así como la especie de cultivo (tomate, papa, etc.), están en función de esos dominios.

El nivel de desagregación se basa en un criterio geográfico, siendo los departamentos la unidad más pequeña. Teniendo en cuenta todo esto, se tiene que las unidades de análisis corresponden a: productores, UPAs, Unidades de Producción, Unidades Geográficas y poblaciones. El muestreo tuvo las siguientes características: probabilístico, por conglomerados, estratificado, bi-etápico (dos etapas para la selección de las unidades: una primera de selección de las comunidades y una segunda para la selección de las UPAs), y por inclusión forzosa.

La base de datos contiene 54,242 observaciones y 141 variables ordenadas en columnas. El cuadro con los nombres y etiquetas correspondientes a cada columna pueden revisarse en el anexo 1. El cuadro 2 muestra la procedencia de las unidades de análisis registradas:

Cuadro 2
Departamento de las unidades de análisis
registradas - Encuesta Agropecuaria 2015

Departamento	Proporción	Cuenta
Beni	3,94%	2.136
Chuquisaca	10,76%	5.834
Cochabamba	19,12%	10.369
La Paz	14,54%	7.885
Oruro	4,75%	2.575
Pando	4,18%	2.269
Potosí	14,89%	8.076
Santa Cruz	19,68%	10.676
Tarija	8,15%	4.422

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Encuesta Agropecuaria 2015, INE.

El resto de las variables corresponden a códigos y variables categóricas, entre las cuales las más relevantes tienen que ver con el uso de plaguicidas, funguicidas, herbicidas, insecticidas y abonos. Los resultados pueden observarse en el siguiente cuadro:

Cuadro 3
Uso de químicos y abonos, Encuesta Agropecuaria 2015

	Sí	No
Funguicidas	2,338	5,715
Porcentaje	29.03%	70.97%
Herbicidas	3,961	4,092
Porcentaje	49.19%	50.81%
Plaguicidas	204	8,276
Porcentaje	2.41%	97.59%
Insecticidas	4,777	3,276
Porcentaje	59.32%	40.68%
Abono orgánico	8,436	44
Porcentaje	99.48%	0.52%
Abono químico	3,775	4,278
Porcentaje	46.88%	53.12%
Insumos orgánicos	8,480	22,806
Porcentaje	27.10%	72.90%
Químicos	8,053	23,233
Porcentaje	25.74%	74.26%

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Encuesta Agropecuaria 2015, INE.

Mediante un cuadro de contingencia respecto a las variables “cultivo” y “usa plaguicida”, se pudo determinar que los siguientes son los 10 cultivos que muestran un porcentaje más alto del total de respuestas afirmativas, a la consulta acerca del uso de dicho insumo:

Cuadro 4
Diez cultivos con mayor porcentaje de uso de plaguicida

Orden	Cultivo	Porcentaje
1	Papa	0.75471698%
2	Quinua	0.47169811%
3	Maíz	0.22405660%
4	Arveja verde	0.09433962%
5	Haba verde	0.09433962%
6	Durazno	0.08254717%
7	Caña de azúcar	0.07075472%
8	Cebolla	0.07075472%
9	Coca	0.04716981%
10	Mandarina	0.04716981%

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Encuesta Agropecuaria 2015, INE.

Esto debe interpretarse del siguiente modo: del total de respuestas afirmativas para el uso de plaguicidas, que abarcan el 2.4% del total de casos, la papa suma el 0.75% de ese porcentaje, la quinua el 0.47%, el maíz el 0.22%, y así sucesivamente.

6. Modelo econométrico

El modelo ‘logit’ es un modelo de regresión que hace uso de una función de enlace o función logística para producir una estimación de la probabilidad de que un individuo pertenezca a un grupo o a otro (Howell, 2010). El ratio de odds u ‘odds ratio’ es un cociente de la probabilidad de éxito sobre la probabilidad de fracaso, esto es:

$$Odds(E) = \frac{P(E)}{P(\bar{E})} = \frac{p}{1-p}$$

Donde $P(E)$ o ' p ' es la probabilidad de éxito, y $P(E)'$ o ' $1-p$ ' es el complemento de la probabilidad de éxito o probabilidad de fracaso. Esta función permite convertir la función de probabilidad en una función equivalente con valores entre 0 y ∞ (Howell, 2010). La función logit surge de la aplicación de un logaritmo a la función de 'odds', con lo que se obtiene un modelo logístico que tiene la siguiente forma:

$$\text{logit}(\pi) = \ln \text{Odds}(\pi) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

Donde cada β_k representa el efecto marginal de cada variable x_k en el logaritmo de la proporción de la probabilidad de éxito sobre fracasos, y ε representa el término de error propio de la regresión. Aplicando exponenciación, se tiene que el modelo es equivalente a:

$$p = P(E) = \frac{e^{b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k}}{1 + e^{b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k}} = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k)}}$$

De modo que los sucesivos b_k son los estimadores muestrales de cada β_k que revelan el efecto marginal de cada variable independiente en la 'probabilidad de éxito'. 'E' es el evento que se interpreta como éxito si la variable dependiente 'y' tiene valor 1, y como fracaso si la variable tiene valor 0, teniéndose de esa manera algo semejante a las pruebas que se dan en una distribución de probabilidad binomial.

Dado que para efectuar la regresión se está haciendo uso de una función logística y no así una función lineal, el método para el cálculo de los coeficientes muestrales es el método de 'máximo logaritmo de verosimilitud', el cual se resuelve de manera iterativa. Para la realización de los cálculos y la obtención del modelo, se utilizó el software Stata 16, en sus respectivos módulos para el ajuste de modelos logit y probit.

En el caso del modelo Probit, también se trata de un modelo utilizado para modelar resultados binarios o variables dicotómicas, tomando en este caso, en vez de la función sigmoide o función logística, la inversa de la distribución normal estándar de la probabilidad (Adams, 2021). El modelo toma la siguiente forma:

$$P(Y = 1 | X) = \Phi(X^T \beta)$$

donde Y es la variable categórica dependiente, X es un vector de regresores, β es un vector de parámetros, y Φ la función de probabilidad acumulativa de la distribución normal estándar. La principal diferencia entre ambos modelos es que en el modelo logit hay una distribución logística de los errores, mientras que en el modelo probit los errores están normalmente distribuidos. De nuevo, los parámetros de interés se calculan mediante un problema de maximización aplicado a la función probit:

$$\max \sum_{i=1}^N (1 - y_i) \log(\Phi(-X_i' \hat{\beta})) + y_i \log(\Phi(X_i' \hat{\beta}))$$

No se optó por la aplicación de modelos de elección discreta para datos de panel (modelo de panel logit o panel probit) debido a que, dadas sus características, la base de datos no se presta para eso. La identificación de las unidades observadas está definida por individuo, teniéndose una observación única para cada uno de ellos. Es decir, no se tiene múltiples observaciones para distintos individuos en el tiempo.

7. Discusión de los resultados

7.1. Resumen de procesamiento de datos

Se realizó el tratamiento de la base de datos de la Encuesta Agropecuaria 2015 mediante el módulo logit y probit con el software Stata 16.0, obteniéndose como resultado una ecuación de regresión logística y una ecuación probit que predicen la probabilidad de uso de plaguicidas para cada uno de los individuos que forman parte de la muestra.

En el Cuadro 5 se muestra la codificación de la variable dependiente, que en este caso es “usa_plag” (usa plaguicida). Según el documento de catálogo de la Encuesta Agropecuaria 2015, dicha variable identifica “si el productor utilizó plaguicida en algún cultivo”, siendo el universo “todos los productores del sector agrícola verano e invierno” (INE, 2019). La fuente de información es el productor agropecuario como informante directo. La variable tiene 8,480 casos válidos y 45,762 casos inválidos, es decir, 18.52% de casos válidos. La cantidad de casos inválidos se debe a la ausencia de respuesta por parte de los entrevistados.

En conjunto, la base de datos de la Encuesta Agropecuaria 2015 se caracteriza por tener una gran proporción de observaciones perdidas (48.34% de valores omitidos versus 51.66% de valores no omitidos), si bien la tasa de respuesta es del 98%. Esto se debe a factores como la omisión de respuestas y casos no contactados. En el cuadro se observa una gran asimetría en la distribución de las respuestas, lo cual, como se podrá comprobar más adelante, influirá en la capacidad de clasificación del modelo.

Cuadro 5
Codificación de la variable dependiente

Valor original	Valor interno	Porcentaje
usa_plag = 'No'	0	97.66
usa_plag = 'Sí'	1	2.34

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente cuadro muestra el número de casos tratados por el software. El número de casos perdidos corresponde al número de casos no completos o casos con valores NA ('no answer') para determinadas variables o columnas:

Cuadro 6
Número de casos tratados

		Cuenta	Porcentaje
Casos seleccionados	Incluido en el análisis	1.607	2.96%
	Casos perdidos	52.635	97.04%
	Universo	54.242	100%

Fuente: Elaboración propia.

Resulta necesario aclarar que se debe trabajar con casos completos debido a que la inclusión de casos incompletos obstaculiza la estimación, y su inclusión forzosa podría generar sesgos. La omisión de las respuestas ausentes no afecta el resultado si se trata a esas respuestas como un fenómeno no sistemático, es decir, que no responde a un patrón que contenga información en sí mismo.

El modelo final queda compuesto por un conjunto de variables categóricas que hacen referencia a los siguientes factores: tipo de cultivo, mes de cosecha, toma de decisiones sobre asignación de tareas, información climatológica y conocimiento del seguro Pachamama. Este

conjunto de variables son las que permiten lograr un modelo con el mejor ajuste posible, cuando se corre la regresión. Se tiene que la ecuación logística presenta la siguiente forma:

$$\log\left(\frac{P(usa_plag)}{1-P(usa_plag)}\right) = \beta_0 + \beta_1 tipocult + \beta_2 mes\ cosecha(octubre) + \beta_3 c1_s6_37 + \beta_4 c1_s4_p1_24_b + \beta_5 c1_s6_39 + \varepsilon$$

Esto se debe entender como que el logaritmo de *odds* puede ser explicado de forma lineal por un vector de coeficientes beta y una matriz de variables explicativas que contiene los elementos mencionados.

7.2. Resumen del modelo

A continuación se presenta la codificación utilizada para cada una de las variables explicativas categóricas, así como la variable independiente. Asimismo, se incluye la proporción para cada una de las opciones binarias presentes en cada variable.

Cuadro 7
Etiquetas y codificaciones para variables categóricas del modelo

	Etiqueta	Porcentaje	Codificación del parámetro
Tipo de cultivo	Asociado	0.03	0
	Independiente	0.54	1
	Sucesivo	0.006	0
	Otras tierras	0.405	0
	Suelo de cultivos variados	0.018	0
Mes de cosecha	Enero	5.10	1
	Febrero	8.53	0
	Marzo	13.45	0
	Abril	24.20	0
	Mayo	28.04	0
	Junio	5.64	0
	Julio	1.86	0
	Agosto	1.62	0
	Septiembre	1.50	0

	Etiqueta	Porcentaje	Codificación del parámetro
	Octubre	1.50	1
	Noviembre	4.02	0
	Diciembre	4.50	0
Toma de decisiones: asignación de tareas	Sí	26.99	1
	No	73.01	0
Recibe información de eventos climatológicos	Sí	32.15	1
	No	67.85	0
Tiene conocimiento del Seguro Agrario Pachamama	Si	85.07	1
	No	14.93	0

Fuente: Elaboración propia. Estimado con respecto a la base de datos poblacional.

En el siguiente cuadro se expone la operacionalización de las variables consideradas en el modelo:

Cuadro 8
Operacionalización de variables

Variable	Codificación	Tipo de variable	Definición conceptual	Definición operacional
Tipo de cultivo	tipocult	Cualitativa, politémica, nominal, discreta	Clasifica las siembras que se han realizado de forma independiente, asociada, sucesiva y en forma de cultivos variados (TCV) o también los cultivos anuales.	Respuesta obtenida mediante cuestionario con los siguientes niveles: "independiente", "asociado", "suelos de cultivos variados", "otras tierras".
Mes de siembra	mes_siem	Cualitativa, politémica, ordinal, discreta	Identifica el mes en el cual se realizó la siembra del cultivo.	Mes señalado por el individuo encuestado: enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre.

Variable	Codificación	Tipo de variable	Definición conceptual	Definición operacional
Toma de decisiones en la asignación de tareas	as_tareas	Cualitativa, dicotómica o binaria, discreta	Indica si el miembro del hogar toma decisiones sobre la asignación de tareas dentro de la unidad de producción agropecuaria.	Respuesta afirmativa o negativa obtenida mediante cuestionario.
Recibe información de eventos climatológicos	inf_clima	Cualitativa, dicotómica o binaria, discreta	Respuesta a la pregunta: "¿El productor(a), recibe información de eventos climatológicos del sector agropecuario?".	Respuesta afirmativa o negativa obtenida mediante cuestionario.
Tiene conocimiento del Seguro Agrario Pachamama	seg_pacha	Cualitativa, dicotómica o binaria, discreta	Indica si el productor consultado tiene conocimiento del seguro agrario Pachamama	Respuesta afirmativa o negativa obtenida mediante cuestionario.

Fuente: Elaboración propia, en base a información de INE (2019).

Cabe señalar que para la variable "tipo de cultivo", se pudo observar que existe una coincidencia elevada en términos porcentuales (94.85%) entre las respuestas negativas respecto al uso de plaguicidas y los cultivos de tipo independiente.

La codificación de "octubre" como mes de cosecha tiene que ver con que se trata del mes asociado a la campaña de verano de los cultivos, en la que se hace uso de insumos químicos y orgánicos como parte de las labores.

La variable referida al Seguro Agrario Pachamama está asociada a la variable de respuesta debido a que tal seguro es un instrumento para la protección de la producción agraria, siendo en cierto modo un sustituto del uso de plaguicidas.

La variable referida a la información sobre eventos climatológicos podría influir en la alerta de los productores, motivando el uso del insumo al incitar la toma de acciones para proteger los cultivos.

7.3. Descripción e interpretación de los resultados

En el siguiente cuadro se presenta el resultado para el caso del ajuste de un modelo logit en base a las variables descritas. Se puede observar que cada una de las variables explicativas tiene un efecto marginal que cambia de signo según el caso. En cuanto a la significancia de los coeficientes obtenidos, se puede observar que, con respecto a la prueba de significancia individual, todos ellos tienen un valor p por debajo del valor crítico de 0.05.

Cuadro 9
Resultado modelo logit

Number of obs = 1.607						
LR chi2(5) = 29,51						
Prob > chi2 = 0.0000						
Log likelihood = -168.79142						
Pseudo R2 = 0.0804						
usa_plag	Coefficiente	Error estándar	z	p> z	95% Intervalo de confianza	
tipocult	-1.23421	.5644856	-2.19	0,029	2.340581	-.1278385
mes_siem	1.560427	.6633913	2.35	0,019	.2602042	2.86065
inf_clima	-1.141529	.4855258	-2.35	0,019	-2.093142	-1.899155
as_tareas	.8328708	.3341068	2.49	0,013	.1780335	1.487708
seg_pacha	-1.017153	.3617641	-2.81	0.005	-1.726197	-.308108
cons	-1.845127	.6177455	-2.99	0.003	-3.055886	-.634368

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente cuadro muestra el output de resultados para una regresión de tipo probit, haciendo uso de las variables descritas. En este caso, los valores p correspondientes a la prueba de significancia individual están en general por debajo del valor crítico de 0.05, por lo que se acepta las hipótesis alternativas de que cada uno de esos coeficientes no es igual cero.

Cuadro 10
Resultado modelo probit

Number of obs = 1.607						
LR chi2(5) = 30,71						
Prob > chi2 = 0.0000						
Log likelihood = -168,79142						
Pseudo R2 = 0,0837						
usa_plag	Coefficiente	Error estándar	z	p> z	95% Intervalo de confianza	
tipocult	-0,5845331	0,2826661	-2,07	0,039	-1,138548	-0,305179
mes_siem	0,7611127	0,3430748	2,22	0,027	0,0886985	1,433527
inf_clima	-0,469608	0,1908009	-2,46	0,014	-0,8435709	-0,0956451
as_tareas	0,3879479	0,1468992	2,64	0,008	0,1000308	0,6758649
seg_pacha	-0,4780359	0,1641787	-2,91	0,004	-0,7998202	-0,1562515
cons	-1,09829	0,3052301	-3,6	0	-1,69653	-0,5000502

Fuente: Elaboración propia.

Aplicando la exponenciación a los coeficientes, se tiene que los incrementos en el ratio de odds de usar plaguicida debido a cambios unitarios en cada una de las variables explicativas es el siguiente:

Cuadro 11
Efecto de los coeficientes en el ratio de 'odds'

	Logit	Interpretación	Probit	Interpretación
tipocult	0,291064854	El ratio odds de usar plaguicida disminuye en -0,71 si el tipo de cultivo es 'independiente'	0,55736604	El ratio odds de usar plaguicida disminuye en -0,44 si el tipo de cultivo es 'independiente'
mes_siem	4,760848699	El ratio odds de usar plaguicida se incrementa en 3,76 veces si el mes de cosecha es octubre	2,1406568	El ratio odds de usar plaguicida se incrementa en 1.14 veces si el mes de cosecha es octubre

	Logit	Interpretación	Probit	Interpretación
inf_clima	0,319330637	El ratio odds de usar plaguicida disminuye en -0,68 si recibe información de eventos climatológicos	0,62524732	El ratio odds de usar plaguicida disminuye en -0,37 si recibe información de eventos climatológicos
as_tareas	2,29991057	El ratio odds de usar plaguicida se incrementa en 1.29 si no toma decisiones sobre asignación de tareas	1,47395299	El ratio odds de usar plaguicida se incrementa en 0.47 si no toma decisiones sobre asignación de tareas
seg_pacha	0,361623264	El ratio odds de usar plaguicida disminuye en -0,64 si tiene conocimiento del seguro agrario Pachamama	0,61999994	El ratio odds de usar plaguicida disminuye en -0,38 si tiene conocimiento del seguro agrario Pachamama

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que existe una diferencia en la magnitud de los coeficientes, siendo que en el caso del modelo probit el impacto de las variables explicativas parece ser menor. Esto puede ser atribuido al uso de una función de probabilidad acumulativa de la distribución normal estándar en el caso del modelo probit, frente a la función logística del modelo logit.

A continuación se presentan los efectos marginales debido a cambios unitarios en cada una de las variables explicativas, tanto en el caso del modelo logit como en el modelo probit.

Cuadro 12
Efectos marginales modelos logit y probit

Variable	Logit	Interpretación	Probit	Interpretación
tipocult	-0,02836	Si el tipo de cultivo es independiente, la probabilidad de usar plaguicidas se reduce en -2.84%.	-0,0308411	Si el tipo de cultivo es independiente, la probabilidad de usar plaguicidas se reduce en -3.08%.
mes_siem	0,0358559	Si el mes de cosecha es octubre, la probabilidad de usar plaguicidas aumenta en 3.59%.	0,0401577	Si el mes de cosecha es octubre, la probabilidad de usar plaguicidas aumenta en 4%.
inf_clima	-0,0262304	Si recibe información sobre eventos climatológicos, la probabilidad de usar plaguicidas se reduce en -2.62%.	-0,0247774	Si recibe información sobre eventos climatológicos, la probabilidad de usar plaguicidas aumenta en -2.48%.
as_tareas	0,0191379	Si el individuo dice tomar decisiones asignación de tareas, la probabilidad de usar plaguicida se incrementa en 1.91%.	0,0204689	Por cada unidad adicional de producción almacenada de la cosecha de verano, la probabilidad de usar plaguicida se incrementa en 2.05%.
seg_pacha	-0,0233724	Si el individuo dice tener conocimiento del seguro agrario Pachamama, la probabilidad de usar plaguicida se reduce en -2.34%.	-0,0252221	Si el individuo dice tener conocimiento del seguro agrario Pachamama, la probabilidad de usar plaguicida se reduce en -2.52%.

Fuente: Elaboración propia.

Se concluye que, desde un punto de vista puramente estadístico, existe una correlación entre la probabilidad de usar plaguicida y factores como el tipo de cultivo, mes de cosecha, la toma de decisiones sobre asignación de tareas, la recepción de información sobre eventos

climatológicos, y el conocimiento del seguro agrario Pachamama. Es esto lo que da lugar a que la probabilidad de éxito varíe en correspondencia con variaciones en dichas variables explicativas.

7.4. Análisis post estimación

7.4.1. Discusión del proceso de selección de variables finales

Las variables fueron seleccionadas mediante prueba y error, probando diferentes combinaciones de variables dentro de distintos modelos, hasta encontrar el mejor ajuste y significancia estadística. Las variables finales incluidas en los modelos logit y probit desarrollados permiten explicar de manera eficiente la variable de respuesta y hacer clasificaciones efectivas en base a las predicciones generadas.

7.4.2. Validación del modelo

En el cuadro presentado a continuación se muestran los resultados para los criterios que se debe tomar en cuenta para la validación del modelo. Se puede observar una serie de estadísticos R Cuadrado que muestran valores relativamente bajos. En el caso del R Cuadrado de McFadden, éste sale de la siguiente fórmula:

$$R^2 = 1 - LL_{\text{mod}} / LL_0$$

Esto es, 1 menos el cociente del logaritmo de verosimilitud del modelo sobre el logaritmo de verosimilitud de cero. En general, se espera que su valor vaya de 0.2 a 0.4 para el caso de un modelo con gran ajuste.

Cuadro 13
Criterios post estimación para validación del modelo

#	Elemento	Resultado 'logit'	Resultado 'probit'
1	R Cuadrado de McFadden	0.080	0.084
2	R Cuadrado de Cragg & Uhler	0.089	0.093
3	R Cuadrado de Efron	0.017	0.019
4	R Cuadrado McKelvey & Zavoina	0.166	0.115
5	R Cuadrado del logaritmo máximo de verosimilitud	0.018	0.019
6	Logaritmo de verosimilitud	-168.791	-168.193
7	Criterio de información Akaike	0.218	0.217
8	Criterio de información Bayesiano	-11481.198	-11482.396

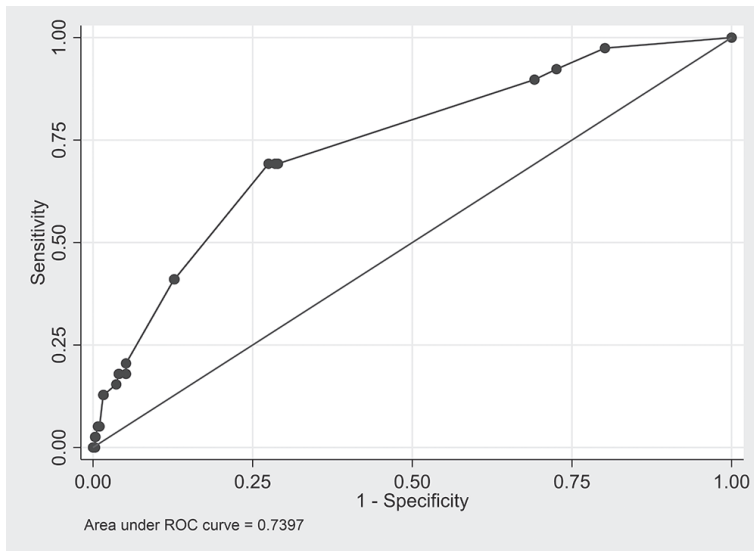
Fuente: Elaboración propia.

Es de notar que los Criterios de información Akaike y Criterio de información Bayesiano son muy próximos en ambos modelos, sin embargo, el AIC (Akaike Information Criterion) es más bajo en el modelo probit y el BIC (Bayesian Information Criterion) es más bajo en el modelo logit. Por otro lado, los valores de los 'R' cuadrado son más bajos en el modelo probit, por lo que esto puede tomarse como señal de que este modelo tiene un mejor ajuste.

7.4.3. Curva ROC

El siguiente gráfico muestra el resultado obtenido para la graficación de la curva de detección de señales ROC correspondiente al modelo logit. Esta curva es una representación gráfica de la sensibilidad y especificidad del modelo como clasificador binario. Desde un punto de vista alternativo, es una representación de la razón de verdaderos positivos frente a la razón de los falsos positivos. Si los puntos graficados se alinearan perfectamente sobre la línea diagonal que divide el gráfico, la capacidad de predicción del modelo no tendría valor diagnóstico.

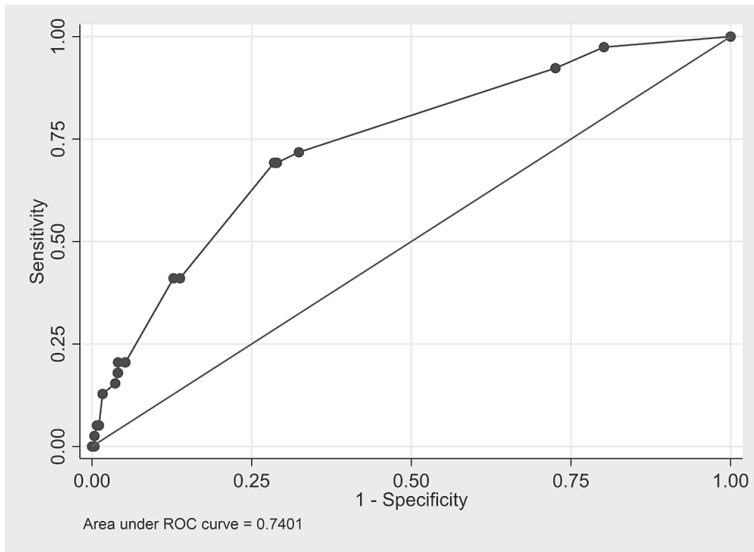
Gráfico 1: Curva de detección de señales ROC Modelo Logit



Fuente: Elaboración propia mediante el software Stata 16.0.

En el caso del modelo logit, se tiene que la curva ROC muestra un valor diagnóstico de 0.7397, siendo esta cifra el área bajo la curva. Por tanto, se concluye que el modelo tiene una capacidad de clasificación intermedia.

Gráfico 2: Curva de detección de señales ROC Modelo Probit



Fuente: Elaboración propia mediante el software Stata 16.0.

En el caso del modelo probit, el puntaje AUC o área bajo la curva (“Area Under the Curve”) es muy semejante al anterior: 0.7401, por lo que se puede sostener que la detección de señales es muy similar en ambos modelos, teniendo ambos una capacidad de clasificación intermedia.

7.4.4. Matriz de confusión

La matriz de confusión es la herramienta que permite evaluar el desempeño del modelo frente a un problema de clasificación de tipo binario. Se trata de una matriz con cuatro diferentes combinaciones: verdadero positivo, verdadero negativo, falso positivo y falso negativo, combinaciones que permiten comparar una serie de valores predichos y valores observados. A continuación se presenta el resultado obtenido para el caso del modelo logit, así como el del modelo probit.

Cuadro 14
Matriz de confusión modelo Logit

	Observado		Total
	Positivo	Negativo	
Positivo	0	0	0
Negativo	39	1568	1607
Total	39	1568	1607
Sensibilidad	0		
Especificidad	100		
Valor predictivo positivo	.		
Valor predictivo negativo	97,57		
Tasa de falso positivo	0		
Tasa de falso negativo	100		
Tasa de verdadero positivo	.		
Tasa de verdadero negativo	2,43		
Correctamente clasificado	97,57		

Fuente: Elaboración propia. Nota: Resultados obtenidos mediante el software Stata 16.0.

Se tiene entonces que el modelo logit muestra un valor predictivo alto, dado que muestra una alta eficacia para clasificar valores negativos. Haciendo predicciones con el modelo, el 97.57% de las clasificaciones son correctas. En el caso de las observaciones positivas, muchas de ellas fueron clasificadas de manera incorrecta, generando falsos negativos. Esto se debe a la proporción baja que esas observaciones representan respecto al total de las observaciones, lo cual generó un sesgo a favor de las clasificaciones negativas correctas.

Cuadro 15
Matriz de confusión modelo Probit

	Verdadero		
	Positivo	Negativo	
Positivo	0	0	0
Negativo	39	1568	1607
Total	39	1568	1607
Sensibilidad	0		
Especificidad	100		
Valor predictivo positivo	.		
Valor predictivo negativo	97,57		
Tasa de falso positivo	0		
Tasa de falso negativo	100		
Tasa de verdadero positivo	0		
Tasa de verdadero negativo	2,43		
Correctamente clasificado	97,57		

Fuente: Elaboración propia. Resultados obtenidos mediante el software Stata 16.0.

En el caso del modelo probit, la capacidad de clasificación es básicamente la misma que la del modelo logit. El modelo permite lograr un 97.57% de clasificaciones correctas. Se mantiene el sesgo de clasificación negativo, siendo el modelo más efectivo para clasificar valores negativos que valores positivos. Esto puede ser atribuido a la reducida proporción de valores positivos dentro de la variable dependiente, lo cual genera ese sesgo al momento de estimar el modelo.

7.4.5. Discusión de los resultados

En términos generales, los resultados apuntan a que los factores señalados tienen una incidencia en la probabilidad de uso del insumo. Teniendo en cuenta que la problemática en torno al uso de plaguicidas tiene que ver con la necesidad de reducir su aplicación, es recomendable la formulación de políticas que tomen en cuenta esas relaciones y permitan lograr tal reducción sin impactar en los beneficios económicos que son efecto de la utilización de técnicas de intensificación.

Jacquet *et al.* (2011) sugieren que se puede lograr reducciones del 30% del *input* de plaguicidas sin reducir el nivel de ingreso de los productores, a través de mecanismos como los impuestos al uso de plaguicidas e incentivos como los subsidios para técnicas de bajo *input* de químicos.

Skevas (2012) considera que, para la formulación de políticas óptimas respecto al uso de plaguicidas y la conservación de organismos benéficos para la producción, es necesario contemplar incentivos para “alcanzar estándares ambientales y de salud”. Asimismo, advierte que la comprensión de los niveles de eficiencia puede ser distorsionada cuando se usa modelos que ignoran la dinámica de la producción y los efectos de la variabilidad en las condiciones para la producción.

7.4.6. Comparación de los resultados con la teoría y la literatura

La literatura consultada apunta a que el uso de plaguicidas puede ser explicado en base a factores como el nivel educativo, las actitudes, las percepciones sobre la peligrosidad de los químicos, el patrón de producción agrícola, los costos de transacción de la producción orgánica, el marco institucional, y la ausencia de asistencia técnica. En base a los resultados obtenidos en el presente estudio, esas consideraciones se pueden complementar con el dato de que, desde un punto de vista puramente estadístico, existe una correlación entre la probabilidad de éxito en la variable “usa plaguicidas” y factores como el tipo de cultivo (independiente), mes de cosecha (octubre), la toma de decisiones sobre asignación de tareas (no toma decisiones), la recepción de información sobre eventos climatológicos (no recibe información), y el conocimiento del seguro agrario Pachamama.

8. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio ponen de manifiesto que la regresión logística y regresión probit son herramientas que se puede emplear para contribuir al análisis de los factores que influyen en el uso de plaguicidas entre la población considerada dentro de la Encuesta Agropecuaria 2015 en Bolivia.

En base a dos modelos de clasificación binaria (logit y probit) formulados a partir de una muestra de 1,607 observaciones, se calculó el efecto marginal que tienen factores como el tipo de cultivo, mes de cosecha, la toma de decisiones sobre asignación de tareas, la recepción de información sobre eventos climatológicos, y el conocimiento del seguro agrario Pachamama, sobre la probabilidad de uso de plaguicidas.

Los principales resultados del estudio son los siguientes:

- ♦ Las variables explicativas consideradas en el modelo tienen un efecto negativo o positivo (según el caso) tanto en el logaritmo de odds como en el ratio de odds de la probabilidad de usar plaguicidas, dentro de un modelo logit y un modelo probit estimados en base a dichas variables. Los efectos marginales de dichas variables explicativas son los siguientes: tipo de cultivo independiente -2.836/-3.08411%, mes de cosecha octubre 3.59-4%, herbicidas -2.62/-2.48%, producción almacenada 1.91/2.04%, y -2.34/-2.52%.
- ♦ La capacidad predictiva del modelo es de 97.57% de clasificaciones correctas. No obstante, es importante notar que existe un sesgo de clasificación negativa que hace que se tenga mejores clasificaciones negativas que positivas. Esto se debe a las características de la base de datos (proporción baja de positivos en la variable independiente).

En consecuencia, se concluye lo siguiente:

- ♦ Se rechaza la hipótesis nula de que la probabilidad de uso de plaguicidas puede explicarse en base a factores como la superficie, el volumen de producción, el riego, la cantidad vendida al mercado nacional, la cantidad vendida al mercado internacional y la cantidad de producción destinada a derivados, y se acepta la hipótesis alternativa de que son otros factores los que explican el fenómeno.
- ♦ La conclusión general es que las regresiones logit y probit permiten demostrar que el uso de plaguicidas está asociado a un nivel estadístico con algunos de los factores tomados en cuenta dentro de la Encuesta Agropecuaria 2015.

Finalmente, se recomienda utilizar en futuros estudios datos más actuales, con una antigüedad menor a los 5 años, para tener resultados más actualizados, y, asimismo, incluir en la recogida de información aspectos sociales como el nivel educativo, percepciones sobre los químicos, el acceso a asistencia técnica y los costos económicos asociados al abandono de la producción con químicos en favor de la producción orgánica.

Fecha de recepción: 3 de febrero de 2023

Fecha de aceptación: 20 de abril de 2023

Referencias

1. Adams, Christopher. (2021). *Learning microeconometrics with R*. CRC Press. Primera edición.
2. AEMP (2019). *Estudio de mercado de plaguicidas en Bolivia*. Autoridad de Fiscalización de Empresas. <https://www.autoridadempresas.gob.bo/descargas?download=886:estudio-de-mercado-de-plaguicidas-en-bolivia>
3. Alemán Andrade, Andrea (2018). Estrategias de desarrollo agrario andino en Bolivia durante el neoliberalismo, post neoliberalismo y ‘consenso de los commodities’. *Con-Sciencias Sociales*, 10(19), 32-38. Universidad Católica Boliviana “San Pablo”. Cochabamba.
4. Barrón, J., Tirado, N., Vikström, M., Lindh, C., Steinus, U., Leander, K., Berglund, M. y Dreij, K. (2021). *Exposición a plaguicidas en agricultores bolivianos: asociaciones entre hábitos, protección personal y biomarcadores de exposición*. Investiga UMSA 2021. https://dipgis.umsa.bo/investigaumsa/wp-content/uploads/2021/09/Articulo-cientifico-y-anexos_Dra-Barron-Jessika-Ximena-Barron-Cuenca_01-1.pdf
5. Bickel, U. (2018). Aumento de las intoxicaciones por plaguicidas en Bolivia. *Leisa: Revista de agroecología*. 34(3). <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-34-numero-3/3516-aumento-de-las-intoxicaciones-por-plaguicidas-en-bolivia#:~:text=Seg%C3%BAAn%20diagn%C3%B3stico%20de%202015%20del,durante%20diez%20a%C3%B1os%20o%20m%C3%A1s>.
6. Blanes, J. (2006). Bolivia: las áreas metropolitanas en perspectiva de desarrollo regional. *Revista EURE*, XXXII(95), 21-36. Santiago de Chile.
7. Bolivia, INE (2019). *Encuesta agropecuaria 2015*. <https://anda.ine.gob.bo/index.php/catalog/6>
8. Bolivia, Ministerio de Salud y Deportes, Unidad de Comunicación (2018). “Salud: ningún plaguicida químico ingresará al país si atenta a la salud”. <https://www.minsalud.gob.bo/es/3259-ministerio-de-salud-ningun-plaguicida-quimico-ingresara-al-pais-si-atenta-a-la-salud>
9. Bolivia, Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (2012). *Compendio agropecuario*. Observatorio Agroambiental y Productivo. <https://www.ruralytierras.gob.bo/compendio2012/files/assets/basic-html/page1.html>

10. Bolivia, IBCE (2019). Comercio ilegal de plaguicidas en Bolivia. Un atentado a la salud al medio ambiente y a la economía *Comercio exterior: un mundo de oportunidades*, 28. <https://ibce.org.bo/images/publicaciones/ce-Comercio-Ilegal-de-Plaguicidas.pdf>
11. ----- (2022). *Bolivia: producción agrícola* [Boletín electrónico]. https://ibce.org.bo/images/ibcecifras_documentos/CIFRAS-1061-Bolivia-Produccion-Agricola.pdf
12. Campos de Bolivia. *Agricultura en Bolivia* <https://www.camposdebolivia.com/agricultura-en-bolivia/>
13. Colque, G. (14 de junio de 2020). *Radiografía de la agricultura boliviana*. Fundación Tierra. <https://ftierra.org/index.php/opinion-y-analisis/943-radiografia-de-la-agricultura-boliviana>
14. Diez plagas y 12 males afectan a la agricultura en varios municipios (12 de junio de 2016). *Opinión*. <https://www.opinion.com.bo/articulo/cochabamba/diez-plagas-12-males-afectan-agricultura-varios-municipios/20160612200100552612.html>
15. Dixon, J., Aidan, G. y Gibbon, D. (2001). *Sistemas de producción agropecuaria y pobreza: cómo mejorar los medios de subsistencia de los pequeños agricultores en un mundo cambiante*. FAO. Primera edición. <https://www.fao.org/3/y1860s/y1860s00.htm#TopOfPage>
16. FAO, Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (2001). *Manejo integrado de plagas*. <https://www.fao.org/3/as952s/as952s.pdf>
17. ----- (2022). *Pesticides use, pesticides trade and pesticides indicators. Global, regional and country trends, 1990-2020*. FAOSTAT Analytical Briefs, N° 46, Rome. <https://www.fao.org/3/cc0918en/cc0918en.pdf>
18. García, Ana, Ramírez, A. y Lacasaña, Marina. (2002). Prácticas de utilización de plaguicidas en agricultores. *Gaceta Sanitaria*, 16(3), 236-40. <https://www.gacetasanitaria.org/es-pdf/S0213911102716671>
19. Ghimire, N. y Woodward, R. (2013). *Under- and over-use of pesticides: An international analysis*. *Ecological Economics*, 89(1), 73-81. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800913000645>
20. Gladek, E., Roemers, G., Sabag Muños, O., Kennedy, E., Fraser, M. y Hirsh, P. (2017). *The Global Food System: An analysis*. WWF. <https://pymwymic.com/wp-content/uploads/2021/04/Global-Food-System-Analysis-1.pdf>

21. Kaur, R., Kaur Mavi, G., Raghav, S. y Khan, I. (2019). Pesticides Classification and its Impact on Environment. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3), 1889-1897. https://www.researchgate.net/profile/Gurjot-Mavi/publication/332065060_Pesticides_Classification_and_its_Impact_on_Environment/links/5e11f34d4585159aa4b32f68/Pesticides-Classification-and-its-Impact-on-Environment.pdf
22. Guitart, R. (2002). *Residuos de plaguicidas en alimentos*. https://www.aktiveter.com/ftp_public/articulo1534.pdf
23. Howell, D. (2010). *Statistical Methods for Psychology*. Wadsworth Cengage Learning. Segunda edición.
24. Jacquet, F., Butault, J. P. y Guichard, L. (2011). An economic analysis of the possibility of reducing pesticides in French field crops. *Ecological Economics*, 70(9), 1638-1648. <https://typeset.io/pdf/an-economic-analysis-of-the-possibility-of-reducing-yvn2u5u69z.pdf>
25. Morales Anaya, Rolando (2003). *Hacia una agenda para el desarrollo*. CIESS-ECONOMETRICA SRL. Primera edición.
26. Ongley, E. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos* (Primera edición). Estudio FAO Riego y Drenaje N° 55. <https://www.fao.org/3/w2598s/w2598s00.htm#Contents>
27. Polanco, Y., Salazar, J. y Curbow, B. (2014). Un análisis cuantitativo del uso de plaguicidas en los campesinos colombianos: percepción del control y la confianza en este uso. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*; 32(3), 373-82. Biblioteca virtual em saude. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-724975>
28. Ramírez, A., Lacasaña, M. & García, A. (2002). *Prácticas de utilización de plaguicidas en agricultores*. *Gaceta Sanitaria*, 16(3), 236-240. <https://www.gacetasanitaria.org/es-pdf-50213911102716671>
29. Skevas, T. (2012). *Economic analysis of pesticide use and environmental spillovers under a dynamic production environment* Tesis doctoral. Repositorio Wageningen University. <https://edepot.wur.nl/201500>
30. Villalobos, G. (20 de mayo de 2021). *Los agroquímicos más usados en Bolivia: entre toxicidad y prohibiciones internacionales*. Fundación Solón. <https://fundacionsolon.org/2021/05/20/los-agroquimicos-mas-usados-en-bolivia-entre-toxicidad-y-prohibiciones-internacionales/>

31. ----- (11 de abril de 2022). *Agricultura boliviana: planes, programas, estrategias y aspiraciones pomposas*. Fundación Solón. <https://fundacionsolon.org/2022/04/11/agricultura-boliviana-planes-programas-estrategias-y-aspiraciones-pomposas/>
32. Wilson, C. y Tisdell, C. (2000). Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological Economics, Elsevier*, 39(3), 449-462. <https://ideas.repec.org/a/eee/ecolect/v39y2001i3p449-462.html>

Anexos

Anexo 1: Estadísticos descriptivos, variables continuas y discretas - Encuesta Agropecuaria 2015

#	Nombre	Cuenta	Media	Desviación estándar	Mediana	Media truncada	Desviación mediana	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo	Kurtosis	Error estándar
1	Superficie	54242	40,30704	422,8378	0,5	1,326442	0,696822	0	26468	26468	25,35663	908,2655	1,815541
2	Producción	31117	1400,295	22637,15	14,95652174	40,21932	20,39542	0	1531692	1531692	36,12566	1688,49	128,3284
3	Cantidad de semillas	31058	7235,329	138447,3	46	179,603	65,90898	0,00025	9293536	9293536	35,84868	1586,552	785,5931
4	Precio de semillas	10714	60,54462	436,6899	6,348043478	11,76147	6,188566	0,03	16929,6	16929,57	20,71336	562,788	4,218882
5	Costo abono orgánico	8436	10,92643	19,90145	0	7,05457	0	0	300	300	4,826001	41,16087	0,216679
6	Costo plaguicida	204	106,6249	104,3884	140	97,81549	163,086	0	473,78	473,78	0,42298	-0,63061	7,30865
7	Cantidad abono químico	3775	24,88162	53,53595	6,52173913	9,923772	1,36657	0	380	380	3,38559	12,16799	0,871339
8	Costo abono químico	4777	28,49135	337,3944	1	1,833518	1,11195	0,000005	17500	17500	34,45515	1582,837	4,881578
9	Cantidad insecticida	4777	135,9754	40,67275	143	138,5191	34,0998	0	223	223	-0,81101	0,868107	0,588472
10	Costo insecticida	2338	113,3552	3768,687	2	4,933329	2,2239	0,0002	182000	182000	48,08399	2317,591	77,94133
11	Cantidad funguicida	2338	140,2051	31,73787	140	142,7696	26,6868	0	210	210	-2,12107	8,091881	0,65638
12	Costo funguicida	3961	118,0749	1443,815	2	8,777228	2,2239	0,0002	68250	68250	32,5728	1353,17	22,94084
13	Cantidad herbicida	3961	134,0498	30,77569	143	136,6407	25,2042	0	200	200	-0,75136	0,405118	0,488996
14	Costo herbicida	31096	30,10675	106,5926	10	15,75441	8,8956	0,05	7000	6999,95	25,11179	1103,726	0,60447
15	Horas siembra	31096	45,62471	134,1011	10	22,30551	13,3434	0,05	8080	8079,95	18,33278	705,5613	0,760466
16	Horas para la preparación del suelo	31096	48,60437	130,6461	24	30,74828	23,7216	0	8391	8391	26,52966	1190,78	0,740874

#	Nombre	Cuenta	Media	Desviación estándar	Mediana	Media truncada	Desviación mediana	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo	Kurtosis	Error estándar
17	Horas para la cosecha	27964	16,61345	203,2418	2	3,716277	2,9652	0	20870,4	20870,4	59,40365	4884,499	1,215383
18	Producción, cantidad para el consumo del hogar	27964	10,36189	381,192	0	0,336394	0	0	47828	47828	89,24863	9834,593	2,279524
19	cansem	27964	29,50916	1614,421	0	0,007904	0	0	158550,7	158550,7	77,353	6731,849	9,654217
20	Producción, cantidad para la transformación	27964	1174,797	22703,68	1	16,2373	1,4826	0	1483864	1483864	37,34267	1733,604	135,7677
21	Producción, Cantidad vendida al mercado nacional	14513	290,0787	532,9464	100	139,1135	88,956	0,1	4000	3999,9	2,969023	8,131787	4,423897
22	Producción, precio mercado nacional	27964	14,87252	1043,639	0	0	0	0	139130,4	139130,4	106,5182	12676,04	6,240952
23	Producción, Cantidad vendida al exterior	193	451,4214	526,3229	120	386,1306	177,912	0	1914	1914	0,808708	-0,81082	37,88555
24	Producción, precio de venta al mercado exterior	27964	19,20487	1266,527	0	0,00423	0	0	202225,8	202225,8	147,0395	23261,95	7,573819
25	Producción, cantidad perdida	27976	0,815547	12,18015	0	0,004468	0	0	1460,87	1460,87	73,28271	7825,776	0,072822
26	Producción, otros	27964	3,479467	142,6483	0	0,042857	0	0	14869,89	14869,89	77,01474	6728,369	0,853035
27	Producción, almacenamiento cosecha verano	27976	3,602716	291,3549	0	0	0	0	43480	43480	130,9811	18527,15	1,741925