

Relación entre la superficie de distintas coberturas vegetales y el Índice de Vegetación Normalizado con el rendimiento melífero de apiarios del centro de la provincia de Buenos Aires.

Trabajo Final de Especialista de la Universidad de Buenos Aires, en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicados al estudio de los recursos naturales y la producción agropecuaria

Carlos Alberto Muñoz

Ingeniero Agrónomo – Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Facultad de Ciencias Agrarias – Año de egreso 2007

Lugar de trabajo: Unidad para el Cambio Rural (UCAR) – Ministerio de Agroindustria de la Nación (MINAGRO)



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO:

Tutor

María Gabriela Sepulcri

Ingeniera Zootecnista (Universidad Nacional de Lomas de Zamora)

Mg. En Producción Vegetal

JURADO DE TESIS

Tutor

María Gabriela Sepulcri

Ingeniera Zootecnista (Universidad Nacional de Lomas de Zamora)

Mg. En Producción Vegetal

JURADO

Marcos Texeira

Licenciado Ciencias Biológicas (Universidad de la República)

Mg. Ciencias Biológicas con opción en ecología (PEDECIBA)

Dr. Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

JURADO

María Vallejos

Ingeniera Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Dra. Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Fecha de defensa de la tesis: 14 de Diciembre de 2017

Dedicatoria

A mi familia

Agradecimientos

A los colegas Ing. Agr. Ruy Perea y Miguel Vallespi por facilitarme datos e información de sus apiarios. A la Mg. Ing. Zoot. Gabriela Sepulcri, por sus consejos y acompañamiento. Al técnico Daniel Osvaldo Alonso por brindarme las instalaciones del laboratorio de la Facultad de Ciencia Agrarias de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora. A la Dra. Lic. Laura Gurini de INTA Estación Experimental Delta, por ofrecerme su colaboración y consejo para organizar los objetivos. A mi amigo y compañero de trabajo Mg. Ing. Juan Pedro Bergaglio por sus consejos, acompañamiento y ayuda en el análisis de datos y redacción del informe. A la Ing. Agr. Graciela Kristof quién durante su gestión como jefe, me facilitó el tiempo para poder avanzar con este trabajo final. A mis compañeros de trabajo quienes me alentaron siempre y me ayudaron en el diseño, análisis de datos, redacción y presentación. A la Unidad para el Cambio Rural (UCAR) por darme una oportunidad de capacitación. Al Dr. Ing. Agr. Gervasio Piñeiro por guiarme en los tramos más decisivos. Al Ing. Lautaro Grande Pastorini, por su gestión en la obtención de datos. A la Ing. Agr. Lorena Pane de INTA Agencia de Extension Rural de Azul y al Productor Mg. Ing. Zoot. Guillermo Mariategui, por compartirme sus saberes y experiencia sobre la zona de estudio. A mi esposa, por su cariño y que cuando ya había “tirado la toalla” me supo convencer de volver a intentar; además me acompañó en todo momento. A mis hijas Esperanza y Brisa, por su aguante durante todo el proceso de trabajo. A mis padres, hermanos y hermana por brindarme apoyo confianza y contención. A Dios por mostrarme que en Él los sueños pueden ser reales y por fortalecerme y sostenerme día a día, principalmente en aquellos momentos de prueba, donde uno muchas veces se siente flaquear.

Declaración

"Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no ha sido presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución."

ÍNDICE GENERAL

Resumen:	6
Abstract:	7
Introducción	8
1. Materiales y métodos:	10
2.1. Área de estudio	10
2.2. Caracterización del área de estudio y de los apiarios.....	11
2.3. Evaluación de la relación entre la producción de miel y el uso del suelo circundante a los apiarios.....	13
2.4. Evaluación de la relación entre la producción de miel y el IVN de imágenes MODIS del área circundante a los apiarios.	15
2. Resultados	16
3. Discusión.....	21
4. Conclusiones Generales	24
5. Referencias bibliográficas:.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa con la ubicación del área de estudio y localización de apiarios	11
Figura 2	Adecuación del producto MOD13Q1 (NDVI) de la plataforma MODIS	15
Figura 3	Salida de clasificación no supervisada para un establecimiento	17
Figura 4	Evolución del IVN y desvío estándar (barras), representativo de patrones de cultivos de verano, para cuatro fechas fenológicamente contrastantes.	18
Figura 5	Relación entre la producción de miel y la proporción de cultivos de verano existente en distintos años alrededor de cada establecimiento/apiario.	20
Figura 6	Análisis de regresión lineal entre el IVN y el rendimiento de miel por colmena para distintos periodos, considerando todas los apiarios juntas. Cada punto representa un apiario en un año.	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ubicación de los apiarios estudiados	12
Tabla 2.	Tamaño de los apiarios y rendimiento promedio de miel por colmena	13
Tabla 3.	Evaluación de la clasificación de uso del suelo, realizada con imágenes de la plataforma LANDSAT.....	16
Tabla 4.	Significancia estadística del coeficiente de determinación del análisis temporal	19
Tabla 5.	Significancia estadística del coeficiente de determinación del análisis espacial	19
Tabla 6.	Significancia estadística de los análisis de regresión	20

Título: Relación entre la superficie de distintas coberturas vegetales y el Índice de Vegetación Normalizado con el rendimiento melífero de apiarios del centro de la provincia de Buenos Aires.

Resumen:

Conocer con exactitud los recursos naturales disponibles alrededor de apiarios resulta importante, dado que contribuye a la estimación del potencial apícola de un lugar. En los últimos 30 años, la Región Pampeana y Extrapampeana ha experimentado grandes cambios en el uso del suelo, especialmente relacionados a la producción de oleaginosas lo cual generó impactos en la actividad apícola. Existen diversas metodologías para identificar y evaluar los recursos naturales y sus cambios en el tiempo y espacio. La percepción remota y su aplicación en Sistemas de Información Geográfica (SIG), brinda una alternativa sumamente versátil y económica. El objetivo de este trabajo final fue determinar si existe alguna relación entre la superficie de cultivos de verano en el área de pecoreo de las abejas con la producción de miel por colmena, y también si esta última se encuentra relacionada con el índice verde (IVN), un estimador de la productividad primaria neta, en apiarios localizados en el centro de la provincia de Buenos Aires. El relevamiento se realizó en cinco lugares, durante ocho ciclos productivos. Se procesaron imágenes de la plataforma satelital LANDSAT y MODIS, que luego aplicando técnicas de SIG, permitió obtener información de cultivos e índice verde alrededor de los apiarios. Seguidamente a través de un análisis de regresión lineal y test de hipótesis, se evaluaron la relación entre los datos obtenidos con la producción melífera. El rendimiento promedio de miel por colmena tendió a disminuir al aumentar la superficie de cultivos de verano en el área de pecoreo, aunque las tendencias no fueron estadísticamente significativas. Sin embargo, se encontró una relación positiva entre el rendimiento de miel por colmena con el IVN promedio mensual del mes de noviembre y diciembre, pero no con el de otros meses del año. Estos resultados sugieren que tanto la productividad como el tipo vegetación afectan la calidad de los recursos disponibles para las abejas, impactando la producción de miel.

Palabras Claves: Cobertura vegetal, cultivos de verano, IVN, LANDSAT, MODIS, producción de miel/apicultura.

Title: Relationship between the surface of different vegetation cover and the Normalized Vegetation Index with the honeycomb yield of apiaries in the center of the province of Buenos Aires

Abstract:

Knowing exactly the natural resources available around apiaries is important, since it contributes to the estimation of the apicultural potential of a place. In the last 30 years, the Pampeana and Extrapampeana Region has experienced great changes in land use, especially related to the production of oilseeds which generated impacts on the beekeeping activity. There are several methodologies for identifying and evaluating natural resources and its changes in time and space. Remote sensing and its application in Geographic Information Systems (GIS), provides an extremely versatile and economical alternative. The objective of this final work was to determine if there is any relationship between the surface of summer crops in the surrounding area of foraging of the bees with the production of honey by hive, and also if this latter is related to the green index (NDVI), an estimate of net primary productivity, in apiarios located in the center of the province of Buenos Aires. The survey was carried out in five places, during eight productive cycles. Images were processed from the LANDSAT and MODIS satellite platform, which then applying GIS techniques, allowed to obtain crop information and green index around the apiaries. Then through a linear regression analysis and hypothesis test, we evaluated the relationship between the data obtained with the honey production. The average yield of honey per hive tended to decrease as the area of summer crops increased in the foraging area, although trends were not statistically significant. However, a positive relationship was found between the yield of honey per hive and the monthly average of NDVI for November and December, but not with that of other months of the year. These results suggest that both productivity and vegetation type affect the quality of resources available to bees, impacting honey production.

Keywords: Plant cover, summer crops, NDVI, LANDSAT, MODIS, honey production / beekeeping.

Introducción

La apicultura es el arte dedicado a la crianza de abejas con fines recreativos y/o comerciales (Dewey, 2010). Desde el punto de vista ecológico posee un impacto positivo, relacionado con servicios de polinización, favoreciendo el mantenimiento de la biodiversidad y sustentabilidad de los ecosistemas. Ocupa un lugar destacado dentro de la producción agropecuaria argentina, particularmente a escala de agricultura familiar y economías regionales. Según el Ministerio de Agroindustria de la Nación (MINAGRO), a través de su servicio de infraestructura de datos espacial, a mayo del 2017 el país contaba con 16.716 apiarios registrados, que suman 1.416.766 colmenas distribuidas en casi todo el territorio nacional. Estando el 83% de las mismas, localizadas en las provincias que conforman la región de la Pampa Húmeda. Además según el informe de coyuntura mensual de la cadena apícola, en la campaña 2016 la actividad generó más de 153 millones de dólares, especialmente por exportaciones de miel a granel (73.456tn), cuyos principales destinos fueron los Estados Unidos de América y Alemania.

En los últimos 30 años, la Región Pampeana y Extrapampeana han experimentado grandes cambios en el uso del suelo. Entre los más destacados se encuentra el avance de cultivos oleaginosos tal como la soja (*Glicine max*) (Satorre, 2008). En este sentido a modo de antecedentes se citan casos como el del municipio de Guaminí, provincia de Buenos Aires, donde la intensificación agrícola produjo una caída del 55% en el nivel de producción de miel, duplicando el porcentaje de mortandad de colmenas con el consecuente aumento del abandono de la actividad apícola (Cordero, 2012). Paralelamente en Río Cuarto provincia de Córdoba, el avance de la agricultura provocó un desplazamiento de las colmenas hacia zonas sin cultivos y una baja del 50% en la producción promedio de miel (Programa de Desarrollo Apícola de UNRC, 2008).

Durante los meses en que hay abundante floración de aptitud melífera (flores que producen néctar y/o polen), buen clima y colmenas bien pobladas con buena sanidad, las abejas reúnen mucho néctar y polen (Dewey, 2010). Asimismo este periodo coincide con los meses del año en que se empieza a cosechar miel. De ese modo la flora melífera define un importante factor de producción para el desarrollo de las colonias (Lechman de

Enzenhofer, 2003). Por otro lado, la flora melífera en el entorno de las colmenas define un área de pecoreo; que según indica Lastra Menéndez (2004), puede variar su dimensión dependiendo de la abundancia de vegetación melífera disponible en la zona. Así para la Región Pampeana Argentina, en función de entrevistas realizadas a apicultores de la zona, se cree que para obtener buenos rendimientos de miel por colmena, los apiarios se deben localizar de tal manera que la vegetación melífera se encuentre a una distancia inferior a 2 km de radio.

Conocer con exactitud los recursos naturales disponibles alrededor de los apiarios resulta una tarea compleja para muchos apicultores. Frente a esta dificultad una práctica habitual muy recomendada, al establecer un nuevo apiario o al inicio de una campaña, es evaluar la zona por observación directa y obtener una idea somera de la flora existente en el área de pecoreo. Es una práctica sencilla, pero está sujeta a la naturaleza del terreno, a las posibilidades de acceso a los predios y resulta muy subjetiva (Persano, 2007). Otra posibilidad consiste en evaluar durante varias campañas un determinado número de colmenas y en función de los resultados productivos obtenidos, tomar decisiones a futuro. Esta alternativa es más objetiva, pero implica disponer de registros de producción y bastante tiempo para analizar varias campañas (Persano, 2007). Por otra parte, es importante mencionar que cada vez es más generalizado el uso de herramientas informáticas como el caso de “Google Earth”. De esta manera muchos apicultores con acceso a internet, usan este instrumento para observar distintas coberturas alrededor de sus apiarios tales como áreas urbanas, montes, aguadas y lotes agrícolas. Sin embargo, en determinadas áreas las imágenes que utiliza esta herramienta no son actualizadas periódicamente, con lo cual no siempre se dispone de una buena cantidad de escenas en el tiempo. Frente a esta limitante una alternativa, actualmente poco explorada en la actividad apícola, es la percepción remota y su aplicación en Sistemas de Información Geográfica (SIG), que ofrecen una opción eficiente, en términos económicos y logísticos, a la hora de relevar recursos naturales e identificar cambios en el tiempo y espacio (Paruelo et al., 2012).

Existen diversas metodologías para identificar y evaluar el uso y la cobertura del suelo con sensores remotos. Una de las más utilizadas, se basa en la transformación de la

información espectral de las imágenes, en un índice que resulta más interpretable o aplicable al tipo de cobertura que se pretende estudiar. De esta manera para coberturas vegetales, el Índice de Vegetación Normalizado (IVN) es uno de los índices más utilizados (Vázquez et. al., 2006). El IVN se calcula como el cociente entre la diferencia de la reflectancia en el infrarrojo cercano (IRc) y el rojo (R) del espectro electromagnético y su suma (Rouse et al., 1973). Paruelo et al., (2012), destaca que el IVN integra dos aspectos claves del comportamiento espectral de los tejidos fotosintéticos: la baja reflectancia en longitudes de onda correspondientes al rojo (debido a la absorción por parte de la clorofila) y la alta reflectancia en la porción del infrarrojo cercano (debido a la estructura del mesófilo de las hojas). Así Marini (2008), indica que los valores obtenidos oscilan entre los extremos 1 (vegetación muy densa) y -1 (ausencia total de vegetación). Y que conociendo la evolución del IVN a lo largo del ciclo fenológico de un cultivo, se puede determinar la superficie que este ocupa en un área.

En este contexto el objetivo de este trabajo final fue determinar si existe alguna relación entre la superficie de cultivos de verano en el área de pecoreo de las abejas con la producción de miel por colmena, y también si esta última se encuentra relacionada con el índice verde (IVN), un estimador de la productividad primaria neta, en apiarios localizados en el centro de la provincia de Buenos Aires.

1. Materiales y métodos:

2.1. Área de estudio

El estudio se efectuó en los distritos de Tapalque y General Alvear, ambos situados en la provincia de Buenos Aires dentro de la denominada Región Pampeana, República Argentina.

El relevamiento se realizó en cinco apiarios, durante ocho ciclos productivos (2007/8, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2012/13, 2013/14 y 2014/15). El área de estudio equivale a la suma de las áreas de pecoreo; entendiéndose como tal, a la superficie delimitado por un radio de 2.000m a la redonda de cada apiario (1.256ha).

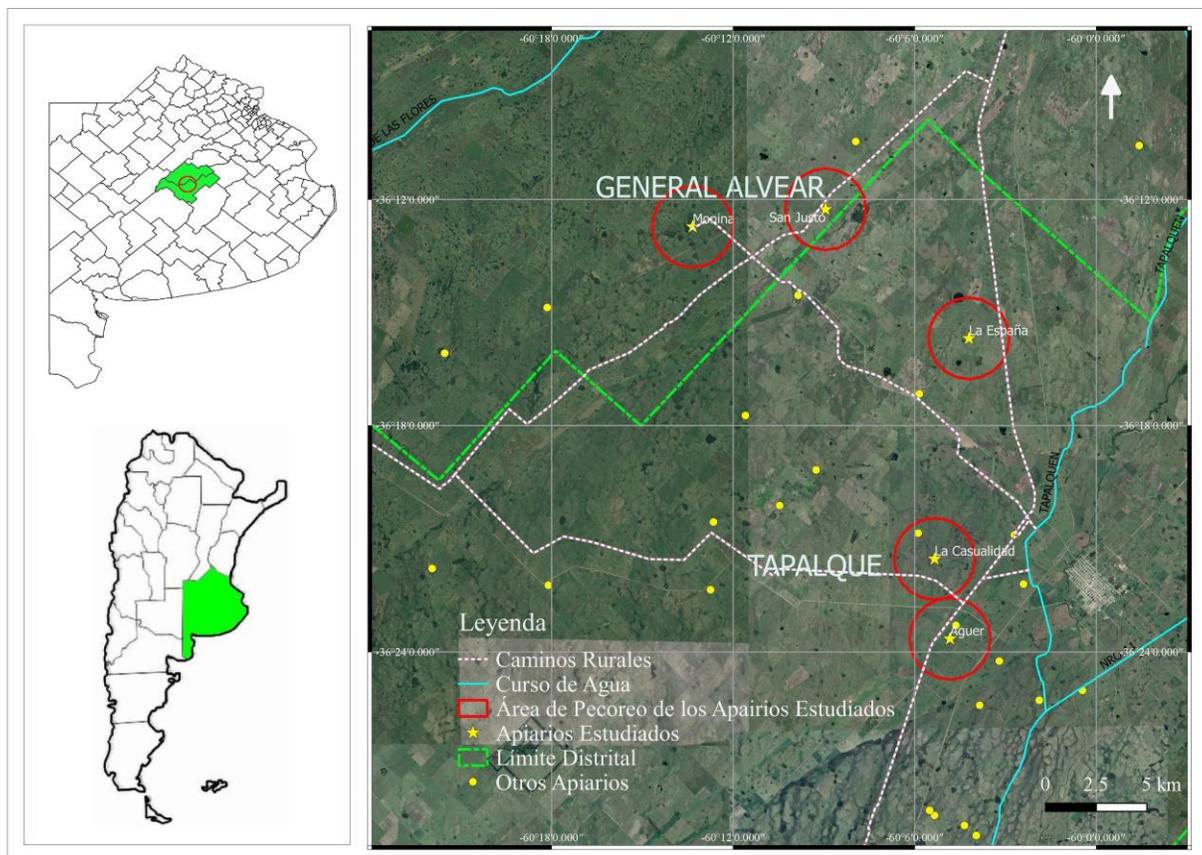


Figura 1 Mapa con la ubicación del área de estudio y localización de apiarios

2.2. Caracterización del área de estudio y de los apiarios

El área de estudio se enmarca en un paisaje heterogéneo sin relieve marcado, caracterizado por la presencia de suelos con distintos grados de alcalinidad, salinidad e hidromorfismo distribuidos en forma de mosaico en toda el área (Vázquez et al., 2006). Presenta además numerosas microcubetas de deflación que constituyen en la actualidad cuencas cerradas ocupadas por lagunas o bajos anegables de manera permanente y temporal. La vegetación predominante es el pastizal natural, conformado principalmente por estepas gramíneas (*Paspalum* sp., *Stipas* sp., *Bromus* sp., *Bothriochloa* sp., *Festuca* sp., *Distichlis* sp., etc.); comunidades de ambientes palustres (*Ciperaceas*, *juncáceas*, *solanáceas*, *leguminosas*, etc.) y montes implantados en patrón intrincado cuyos principales géneros son *Eucalyptus* sp., *Acacia* sp y *Salix* sp. El clima es templado sub-húmedo, según registros de la estación meteorológica de Azul (Situada a 40km del área de estudio), las

precipitaciones anuales promedian 918mm (Serie 2006 – 2015). El régimen es de tipo isohigro, pero es característico que haya exceso de lluvias en invierno y déficit en verano.

Los sistemas productivos del área son tradicionalmente ganaderos; siendo el desarrollo de la agricultura muy variable, sujeto a condiciones agroclimáticas y de mercado. Según el Sistema Integrado de Información Agropecuaria del Ministerio de Agroindustria (SIIA), los principales cultivos invernales de cosecha en la zona de estudio son Cebada cervecera (*Hordeum distichum*), Trigo (*Triticum aestivum*) y Avena (*Avena sativa*) de uso forrajero. Mientras que los principales cultivos estivales de cosecha son Soja (*Glicine max*), Maíz (*Zea mays*), Sorgo (*Sorghum spp.*) y Girasol (*Helianthus annuus*). Según el Registro Nacional de Productores Apícolas (RENAPA) los municipios de Gral. Alvear y Tapalque a mayo de 2017, presentaban 121 apiarios registrados, totalizando 7.298 colmenas.

Los apiarios estudiados se ubicaron todos a una distancia máxima cercana a los 20 km (Figura 1 y Tabla 1) y durante el periodo de estudio todos fueron operados por el mismo perito apicultor. El número de colmenas que los conformaron varió entre 9 y 54 dependiendo de los años y registraron rendimientos de miel entre 11 y 66 kg por colmena (Tabla 2). Así, todos variaron el número de colmenas y su rendimiento entre años, aunque su tamaño y rendimiento melífero promedio fueron similares (Tabla 2).

Tabla 1. Ubicación de los apiarios estudiados

Apiario	Latitud	Longitud
Aguer	36°23'38,87''S	60°04'49,94''O
La Casualidad	36°21'31,97''S	60°05'20,44''O
La España	36°15'41,10''S	60°04'12,40''O
Monina	36°12'43,26''S	60°13'20,18''O
San Justo	36°12'15,49''S	60°08'56,66''O

Tabla 2. *Tamaño de los apiarios y rendimiento promedio de miel por colmena*

Apiario	Unidad	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15
Aguer	Tamaño ¹	22	36	20	41	33	37	37	33
	Rend. ²	29	26	22	31	13	26	23	66
La Casualidad	Tamaño	26	27	22	35	30	28	26	24
	Rend.	11	11	34	17	13	35	35	53
La España	Tamaño	31	26	34	28	31	33	34	33
	Rend.	20	15	24	23	20	21	55	47
Monina	Tamaño	9	11	18	37	31	27	31	29
	Rend.	8	19	13	18	40	32	49	45
San Justo	Tamaño	54	50	53	44	40	32	29	27
	Rend.	28	9	21	11	22	32	27	63

Fuente: *Elaboración propia en base a entrevistas personales a productores de la zona de estudio.*

1 Tamaño del apiario expresado en cantidad de colmenas

2 Rendimiento corresponde a rendimiento expresado en Kg de miel / Colmena

2.3. Evaluación de la relación entre la producción de miel y el uso del suelo circundante a los apiarios

Para evaluar la relación entre la producción de miel y el uso del suelo circundante a los apiarios se realizaron clasificaciones no supervisadas del uso del suelo en base a imágenes LANDSAT sensores ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus) y OLI (Operational Land Imagen). Estas imágenes poseen una resolución espacial de 30m y temporal de 16 días. Se buscó disponer de escenas libres de nubes o cuyo porcentaje no supere el 10%. Se utilizaron 4 imágenes de cuatro fechas contrastantes, de acuerdo a los distintos estadios fenológicos de los cultivos predominantes, para cada ciclo productivo; sumando un total de 32 imágenes. Además se utilizaron datos vectoriales de los municipios, a través de servicios de infraestructura de datos espaciales (IDE) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Se buscó clasificar usos agrícolas analizando el patrón temporal del IVN; para identificar cultivos de verano, ya que los ciclos productivos de estos coinciden con el de la actividad apícola. Las imágenes correspondientes a la plataforma Landsat 7, dado que presentaban un bandeo o franjas sin información (error de Gaps por la rotura del

Corrector de Línea de Exploración SLC de la plataforma), se corrigieron aplicando reiteradas veces (cinco en total), un modelo que utiliza la función media para completar estos espacios vacíos, de manera de cubrir el área de estudio. Se consideraron solo las bandas cuyas longitudes de onda corresponden a los espectros del Rojo (R) e Infrarojo cercano (IRc). Posteriormente, sobre los datos expresados en nivel digital (ND), según algoritmos definidos para el sensor, se realizaron las correcciones radiométricas de las imágenes, para expresar los datos en valores físicos (reflectancia). De esta manera, los resultados pudieron ser comparables en el tiempo. Seguidamente, para cada fecha se calculó el índice de vegetación normalizado según la siguiente fórmula:

$$IVN = (IRc - Rojo) / (IRc + Rojo)$$

Luego se integraron cuatro imágenes correspondientes a las fechas representativas de cada ciclo productivo, en un compuesto que integra los 4 momentos. Finalmente, a modo de optimizar tiempo de proceso y espacio de almacenamiento, se efectuó un corte que contenga, de manera acotada, las áreas de pecoreo de los apiarios.

Se efectuó una clasificación no supervisada, usando el algoritmo “ISODATA” (Acrónimo de Iterative Self Organizing Data Analysis Technique), sobre los compuestos generados para cada ciclo productivo. Se definieron a priori 20 clases y 40 interacciones (cantidad de secuencias para clasificar los píxeles). Al instante para reagrupar las clases, se tuvo en cuenta las distancias espectrales, a través del análisis de separabilidad, donde se puede visualizar el parecido entre estas. Posteriormente sobre la imagen resultante de la clasificación se identificaron lotes cuya forma y clase espectral podría corresponder a usos agrícolas. Para luego dentro de estos, con ayuda de la imagen que contiene el patrón temporal del IVN, confirmar la correspondencia a la clase cultivos de verano.

Para validar la información obtenida en la clasificación se adoptó como verdad de campo los datos relevados por la metodología de Segmentos Aleatorios del Ministerio de Agroindustria de la Nación (polígonos rectangulares de 400ha dónde se identifican distintas unidades de usos de suelo). Como estos datos no se localizaban en el área de estudio, pero sí estaban ubicados dentro de la escena de las imágenes utilizadas (Path Row 225/226, 85), se aplicó la misma metodología de clasificación, en un área equivalente, lo más cercana

posible al área de estudio, que contenga los segmentos. Luego se compararon los resultados obtenidos por la clasificación con la verdad terrestre relevada en los segmentos aleatorios.

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de regresión lineal (análisis temporal y espacial) entre la superficie con cultivos de verano (relativizado al área de pecoreo de cada apiario) y el rendimiento promedio de miel por colmena. Luego se evaluó la significancia, mediante un test de hipótesis, de los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos.

2.4. Evaluación de la relación entre la producción de miel y el IVN de imágenes MODIS del área circundante a los apiarios.

Se utilizó el producto MOD13Q1 (NDVI) de la plataforma MODIS, siendo las escenas obtenidas un polígono de 6,25 x 6,25 km de lado, cuya coordenada central coincide con la localización de cada apiario, para los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero de las ocho campañas productivas que abarcó el periodo de estudio. Estas imágenes tienen una resolución espacial de 250m y temporal de 16 días. Se analizaron en total 64 imágenes.

Dado que se trata de un producto generado por la plataforma MODIS, se adecuó el sistema de referencia de coordenadas a POSGAR 94 faja 5 (SRC 22185), luego se procedió a ajustar los datos de IVN al área de pecoreo y extraer los valores de los píxeles. Para ello se aplicaron técnicas de SIG, que permitieron rectificar, acotar y extraer los datos, a través de un vector que representa el área de pecoreo (buffer de 2.000m de cada apiario) (Figura 2). De esta manera la información provista por las imágenes se pudo adaptar y extraer en un formato adecuado para el análisis de datos (planilla de cálculo).

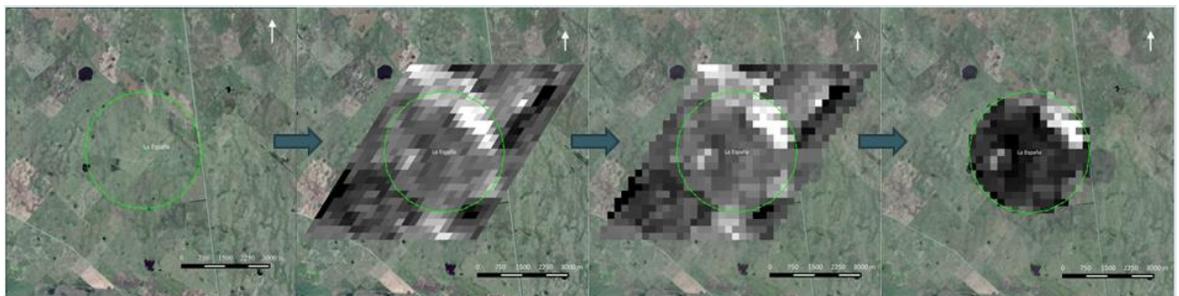


Figura 2 Adecuación del producto MOD13Q1 (NDVI) de la plataforma MODIS

Luego se realizó un análisis de regresión entre el IVN mensual y el rendimiento promedio de miel por colmena y se evaluó la significancia, mediante un test de hipótesis, de los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos.

2. Resultados

La clasificación realizada con las imágenes LANDSAT, permitió separar zonas de cultivos de verano y zonas con pastizales naturales y pasturas (Figura 3). Se observaron además distintos patrones temporales del IVN dentro de los lotes de uso agrícola (Figura 4); que teniendo en cuenta las estadísticas para la zona, podría tratarse de: maíz, girasol, sorgo (curva a), soja de primera (curva b) y soja de segunda (curva c), entendiéndose a este último como el segundo cultivo desarrollado en un mismo lote durante una campaña productiva (ejemplo: trigo en invierno y soja en verano). Sin embargo, en este trabajo todas estas clases fueron agrupadas en una sola clase, cultivos de verano. La evaluación de la clasificación se realizó comparando los datos reportados por tres (3) segmentos aleatorios cercanos a los apiarios durante las campañas 2013/14 y 2014/15 de cosecha gruesa (cultivos de verano) (Tabla 3). Pero solo en un segmento y durante un año se reportaron cultivos de verano, por lo que no se pudo realizar una matriz de confusión de la clasificación, pero el área de cultivos de verano reportada para ese año fue también detectada por la clasificación y con un área similar (Tabla 3).

Tabla 3. *Evaluación de la clasificación de uso del suelo, realizada con imágenes de la plataforma LANDSAT.*

Lotes de uso agrícola detectados	Clasificación		Segmentos Aleatorios	
	Cantidad	Superficie (ha)	Cantidad	Superficie (ha)
Segmento 1 año 2013/14	2	26,28	2	37,83

Fuente: Elaboración propia

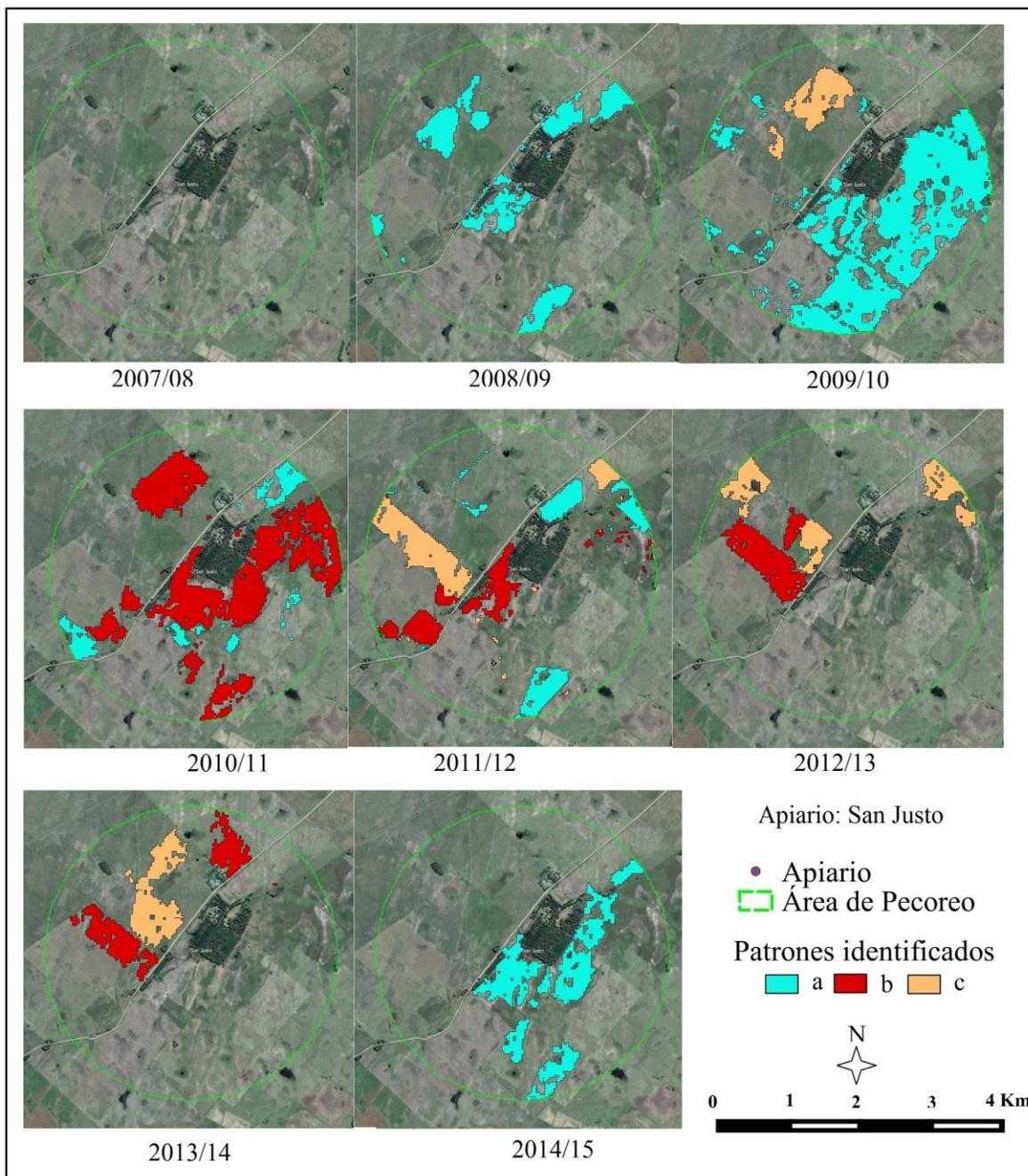


Figura 3 Salida de clasificación no supervisada para un establecimiento

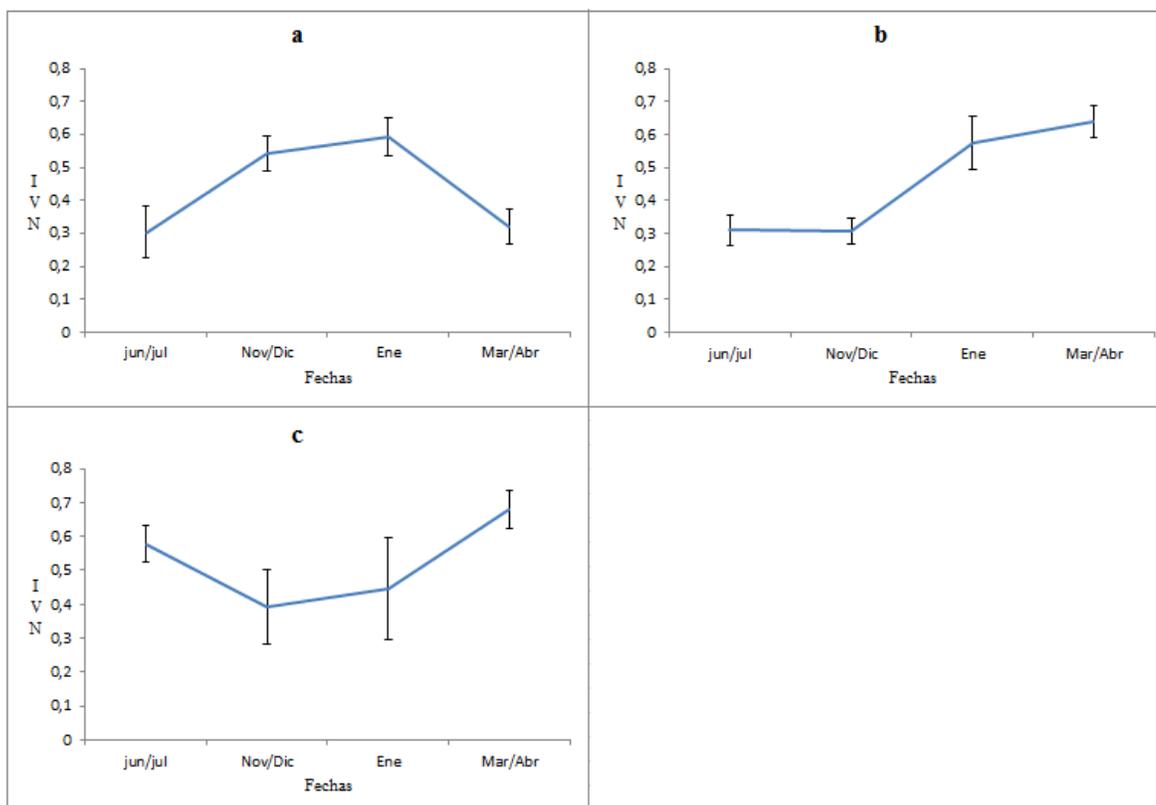


Figura 4 Evolución del IVN y desvío estándar (barras), representativo de patrones de cultivos de verano, para cuatro fechas fenológicamente contrastantes.

El rendimiento promedio de miel por colmena tendió a disminuir al aumentar la superficie de cultivos de verano en el área de pecoreo, aunque las tendencias no fueron estadísticamente significativas (Tablas 4 y 5 y Figura 5), pero aumento a mayores valores de IVN durante los meses de diciembre y noviembre (Tabla 6 y Figura 6). Todas los apiarios presentaron tendencias similares a pesar de estar en áreas diferentes y con porcentajes de agricultura diferentes. El porcentaje de cultivos de verano fue relativamente bajo en todos los apiarios, siempre menor al 15%, salvo en el apiario San Justo que algunos años alcanzo valores cercanos al 30% (Figura 3). Por otro lado, la producción de miel por colmena aumento a mayores valores de IVN durante el mes de noviembre ($R^2=0,24$) y el mes de diciembre ($R^2=0,23$) (Tabla 6 y Figura 6). Del mismo modo, se halló una relación positiva ($R^2=0,34$) para el IVN promedio entre los meses de noviembre y diciembre con la producción de miel. Por el contrario, no se encontraron relaciones significativas para los

meses de enero, febrero o el promedio de los meses desde noviembre a febrero (Tabla 6 y Figura 6).

Tabla 4. Significancia estadística del coeficiente de determinación del análisis temporal

Apiario	Estimador	P=0,85	R²
Aguer	0,734	1,130	0,287
La Casualidad	0,175	1,130	0,071
La España	0,843	1,130	0,326
Monina	0,099	1,130	0,040
San Justo	0,230	1,130	0,094

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Significancia estadística del coeficiente de determinación del análisis espacial

Campaña	Estimador	P=0,85	R²
2007/08	0,003	1,250	0,002
2008/09	0,069	1,250	0,040
2009/10	0,171	1,250	0,098
2010/11	0,935	1,250	0,475
2011/12	0,391	1,250	0,220
2012/13	0,019	1,250	0,011
2013/14	0,156	1,250	0,090
2014/15	0,412	1,250	0,231

Fuente: Elaboración propia

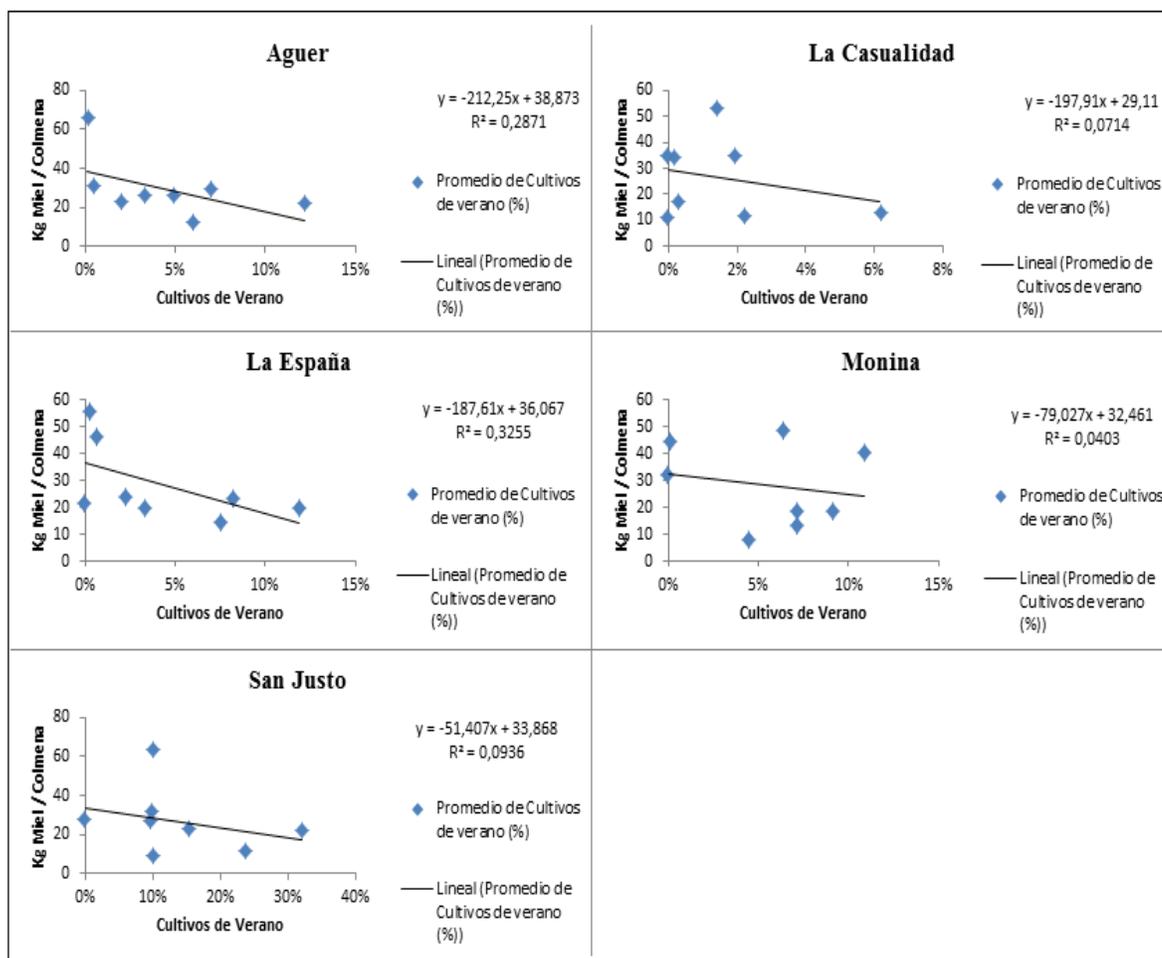


Figura 5 Relación entre la producción de miel y la proporción de cultivos de verano existente en distintos años alrededor de cada establecimiento/apiario.

Tabla 6. Significancia estadística de los análisis de regresión

	Estimador	P=0,90	R ²
Nov	1,439	1,31	0,247*
Dic	1,463	1,31	0,231*
Ene	0,118	1,31	0,020
Feb	0,200	1,31	0,032
Prom Nov-Dic	2,066	1,31	0,343*
Promedio Nov-Dic-Ene-Feb	0,104	1,31	0,018

Fuente: Elaboración propia

*Significativo

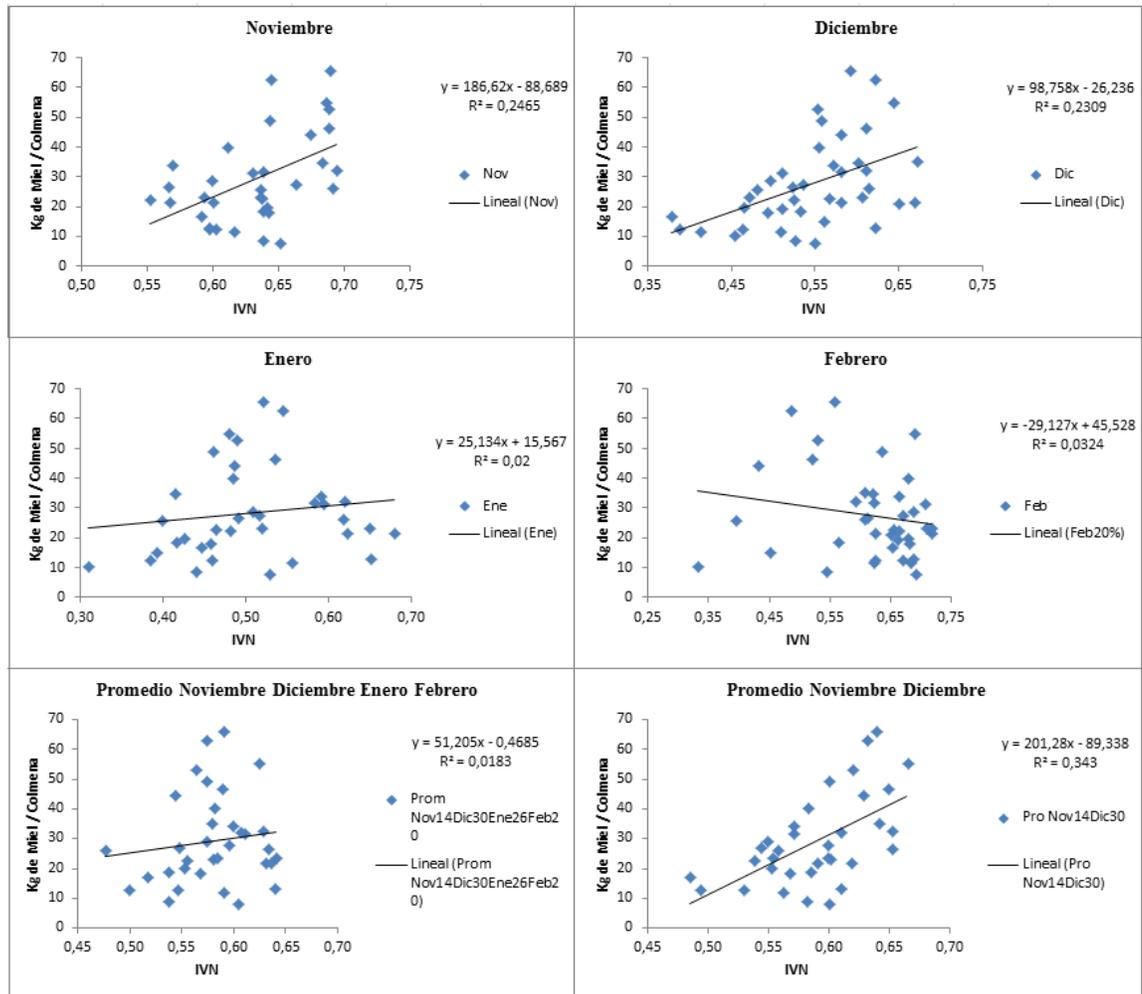


Figura 6 Análisis de regresión lineal entre el IVN y el rendimiento de miel por colmena para distintos periodos, considerando todas los apiarios juntas. Cada punto representa un apiario en un año.

3. Discusión

La relación positiva entre el IVN y la producción de miel por colmena para los meses de noviembre y diciembre podría estar explicada por una respuesta ligada a las características fenológicas (sobre la floración) de la vegetación melífera particular de cada zona. Al respecto Dewey (2010), describió a este periodo como “estación de flujo de néctar”, dónde las condiciones de recolección del néctar son las mejores. Además, el mismo autor, indicó que esta etapa varía en su duración (de una semana hasta un mes) de acuerdo a la zona y el clima, sugiriendo que en la región estudiada este periodo podría extenderse

varios meses. Informantes calificados de la región (Ruy Perea y Miguel Vallespi comunicación personal), coinciden que dicha estación se inicia en noviembre, pero su prolongación es hasta finales de enero, mes que generalmente se produce el pico de flujo de néctar. Por lo tanto, los meses de noviembre y diciembre, con los cuales se correlaciona la producción de miel, podrían estar condicionando el nivel poblacional de las colmenas que maximice la cosecha de néctar y la producción de miel durante el pico de flujo de néctar que ocurriría un poco más tarde durante enero.

Si bien no se detectaron relaciones significativas, tanto en el análisis de regresión temporal como espacial entre la superficie con cultivos de verano y el rendimiento promedio de miel por colmena, si se observó una clara tendencia en la mayoría de los apiarios de disminución de la producción de miel con el aumento de la superficie de cultivos de verano, posiblemente soja ya que es el cultivo predominante en la región. En el mismo sentido, Sponsler and Johnson (2015), en Ohio Estados Unidos, encontraron que las reservas alimenticias de las colonias y la producción de cera, se incrementaban en áreas con mayor abundancia de especies herbáceas tales como tréboles (*Trifolium sp.*), diente de león (*Taraxacum officinalis*) y vara de oro (*Solidago chilensis*) las cuales son abundantes en pastizales y pasturas de la región, pero no en áreas de cultivos. Paralelamente Persano (2007), señaló que hay circunstancias especiales que pueden modificar sensiblemente este panorama, como es la rotación de cultivos aptos para la apicultura por otros que no lo son. De todos modos independientemente de la significancia estadística, el análisis temporal solo dio indicios en cuanto a la tendencia entre las variables evaluadas. Es decir, al aumentar la superficie de cultivos de verano en el área de pecoreo, el rendimiento de miel por colmena podría disminuir.

El uso del imágenes MOD13Q1 para obtener el IVN promedio del área de pecoreo parece ser una buena herramienta en cuanto a la cantidad de datos y los tiempos de procesamiento. En base a la heterogeneidad ambiental de la zona (Batista et al., 1992 y Vázquez et al., 2006) y la resolución espacial de las imágenes utilizadas, podemos suponer que los valores de IVN del producto utilizado en este trabajo, contemplan zonas relativamente grandes y probablemente heterogéneas de vegetación (cerca a las 5 ha). Sin embargo, si el análisis hubiera sido determinar usos de suelos, disponer de imágenes de

mayor resolución espacial, mejoraría el nivel de detalle, pudiéndose identificar y caracterizar coberturas de poca superficie tales como microcubetas, áreas erosionadas, pequeños macizos forestales, etc. En efecto, Vázquez et al., (2006), sugiere el uso de imágenes de alta resolución espacial, incluso mayor que las imágenes de la plataforma Landsat, para discriminar usos del suelo en zonas de elevada heterogeneidad ambiental, tales como la pampa deprimida.

Para la agrupación de las clases espectrales se tuvo en cuenta la evolución del IVN a lo largo de cada ciclo productivo. Este presentó una curva que coincidió con los resultados obtenidos por Marini en su paper “*El avance de la frontera agrícola en el área adyacente al sistemas Sierras de la Ventana*” (2008). Es decir que la evolución del IVN en un periodo de tiempo, es representativa de un patrón típico de una cobertura vegetal estacional, como los cultivos anuales. De esta forma se posibilitó identificar lotes cuyo patrón corresponden al de cultivos de verano. A sí mismo, se tuvo en cuenta, que en algunos casos este patrón puede confundirse con pequeñas áreas de coberturas vegetales de igual ciclo fenológico que los cultivos de verano, introduciendo errores en la determinación de lotes agrícolas. Para mejorar la estimación y evitar estos errores es que se realizó además una interpretación visual de las imágenes, identificando polígonos de formas antrópicas (cuadrados, rectángulos, trapecios, etc.) que corresponden a lotes de uso agrícola. Finalmente frente a la limitación de no disponer de datos de campo, el uso de los “Segmentos Aleatorios”, fue una alternativa viable y muy interesante de explorar a futuro, por su gran cobertura espacial y temporal (el Ministerio de Agroindustria realiza estimaciones para toda la región agrícola hace varios años). Independientemente de no hallar información para todo el periodo de estudio, para validar la clasificación realizada, los resultados obtenidos en la clasificación coinciden con la reportada por los segmentos. Sin embargo, cuando se calculó la superficie agrícola total, se encontró una diferencia que se atribuye a la presencia de áreas marginales dentro de las parcelas. Al respecto Vázquez et al., (2006), señaló que hay que tener especial cuidado en no incluir estas áreas, ya que aumenta la variabilidad real de la clase por contaminación. A pesar de haber realizado un esfuerzo en este sentido es posible que algunas áreas pequeñas, típicas del paisaje estudiado, no fueras visualizadas e incorporadas en la clasificación.

4. Conclusiones Generales

La percepción remota y su aplicación en Sistemas de Información Geográfica (SIG), ofrecieron una alternativa sumamente versátil y económica; para estudiar el área de pecoreo de los apiarios y su relación con la producción de miel. Asimismo, resultaría ventajoso complementarla con visitas programadas al territorio, para que el análisis de la información espectral pueda ser evaluado. El IVN junto a datos de producción de miel, permitió identificar el periodo crítico de la estación de oferta de néctar (entre noviembre y diciembre) importante para el desarrollo de la densidad poblacional de las colonias y su producción melífera. Nuestros resultados sugieren, aunque no en forma significativa, que el aumento de la cobertura de cultivos de verano podría disminuir la producción de miel. Para evaluar los impactos que la actividad agrícola produce en la apicultura, sería importante para futuros estudios, incorporar otras regiones que hayan registrado avance de la frontera agrícola y analizar otras variables de estudio, tales como tipos de cultivos y manejos agronómicos (barbechos, uso de agroquímicos, rotaciones, etc.).

5. Referencias bibliográficas:

Batista W. B. y León R. J. C. 1992. Asociación entre comunidades vegetales y algunas propiedades del suelo en el centro de la depresión del salado. *Ecología Austral*. 2:47-55.

Cordero L., 2012. Crisis y futuro. La apicultura en el proceso de tecnificación del agro: Una actividad que se complejiza. Tesis de grado

Descripción y corrección de productos Landsat 8. Consultado de la WEB <http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf> , 10 de marzo de 2015

Dewey M. C., 2010. En Manual práctico de apicultura. Pág. 23, 28 y 50

Estación meteorológica Azul. Datos meteorológicos de precipitación. Consultado de la WEB http://www.tutiempo.net/clima/AZUL_AERO/876410.htm, 9 de marzo de 2016

Lastra Menendez J. J., 2004. En Las abejas y la apicultura. Pág. 50-51

Lechman de Enzenhofer L., 2003. En Herramientas de trabajo para la apicultura moderna. Pág. 71-72.

Marini F. M., 2008. El avance de la frontera agrícola en el área adyacente al sistema Sierras de la Ventana (Buenos Aires, Argentina). ISSN:0213-4691

Ministerio de Agroindustria de la Nación y Sub Secretaria de Alimentos y Bebidas. Informe de coyuntura mensual N°167 Dic. 2016 de Cadena Apícola.

Paruelo J. M.; Verón S. R.; De Abelleira D., 2012. En Percepción remota y sistemas de información geográfica. Sus aplicaciones en agronomía y ciencias ambientales. Cap. 1

Paruelo J. M. y Caride C., 2012. En percepción remota y sistemas de información geográfica. Sus aplicaciones en agronomía y ciencias ambientales. Cap. 9

Persano A. L., 2007. En Apicultura práctica Pág. 5 y 203

Programa de desarrollo apícola de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Consultado de la WEB http://www.unrc.edu.ar/unrc/n_comp.cdc?nota=20108, 8 de Septiembre de 2016

Rouse J. W., 1973. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green wave effect) of natural vegetation, RSC 1978-1 E7.3 10693

Satorre E.H; Benech Arnold R.L; Slafer G.A; De la Fuente E.B; Miralles D.J; Otegui M.E y Savin R., 2008. En producción de granos bases funcionales para su manejo. Pág. 3

SENASA, 2014. Informe de desarrollo del sector apícola.

Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Consultado de la WEB http://www.siaa.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php , 19 de febrero de 2016.

Sponsler D. B. and Johnson R. M., 2015. Honey bee success predicted by landscape composition in Ohio, USA. Peerj 3:e838; DOI 10.7717/Peerj.838

Vázquez P., Masuelli S., Platzeck G., 2006. Determinación de patrones espectrales para distintos usos del suelo en ambientes heterogéneos. Publicación técnica n°1. Ediciones INTA. ISSN 1850-6496. 34 pp.