

Agraria

Revista

Científica

Facultad de Ciencias Agrarias



**Facultad
de Ciencias
Agrarias**



UNJu
Universidad
Nacional de Jujuy

Vol. XII N°19 - Año 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JUJUY

Rector

Lic. Rodolfo Alejandro Tecchi

Vicerrector

Dr. Ricardo Enrique Gregorio Slavutsky

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS - UNJu

Decano

Ing. Agr. Dante Fernando Hormigo

Vicedecano

Dra. Noemi Bejarano

Sec. Académica: **MSc. Susana E. Álvarez**

Sec. Administrativa: **Ing. Agr. Alejandro Zelaya**

Sec. Extensión y Difusión: **Dra. Natalia Ávila Carreras**

Sec. Ciencia y Técnica: **Dr. Marcelo R. Benítez Ahrendts**

COMITÉ EDITOR

Dr. Marcelo Benitez Ahrendts

Dr. Marcos Vaira

REVISIÓN Y TRADUCCIÓN

Master Esp. Trad. Liliana Beatriz Chávez

EDICIÓN Y DISEÑO

D.G. Marina Schimpf

COMITÉ EDITOR LOCAL

MSc. Susana Álvarez

MSc. Jorge Baldo

Dra. Noemí Bejarano

Dr. Marcelo R. Benitez Ahrendts

Dra. Leonor Carrillo

MSc. Silvia Ana Carla Cravero

Dra. Norma Farfán

MSc. Gabriela Fernández

Dr. Lucio Malizia

Dra. María Inés Zamar



Facultad de Ciencias Agrarias

Alberdi N° 47, San Salvador de Jujuy
Jujuy, Argentina
C.P. 4600

Agraria es producida y financiada por la
Facultad de Ciencias Agrarias - UNJu



UNJu

Universidad
Nacional de Jujuy

PESO DE RAÍCES, FUSTES Y RAMAS, Y PROPORCIÓN DE RAÍCES DE ÁLAMOS EN LA ESTACIÓN FORESTAL SAN PABLO (ex-IFONA), PROVINCIA DE JUJUY

WEIGHT OF ROOTS, STEMS, AND BRANCHES, AND UNDERGROUND PROPORTION OF POPLARS AT THE SAN PABLO FOREST STATION (FORMER IFONA), PROVINCE OF JUJUY

Chocobar, A. N. E.¹

RESUMEN

Con la finalidad de estimar la biomasa de álamos en una parcela cultivada con salicáceas en la Estación Forestal San Pablo (ex-Instituto Forestal Nacional), ubicada a 1470 m snm. en la provincia de Jujuy, se llevó a cabo el análisis dimensional de tres árboles –*Populus deltoides* de 7 y 16 años y *P. x euramericana* de 15,5 años– plantados a partir de estacas provistas por el INTA. Se estudió en particular el compartimento subterráneo de complicada extracción y laboriosa medición directa. Se fraccionaron los fustes, todas sus ramas y las raíces hasta 2 mm de grosor; este material fue medido y pesado en verde. Las longitudes totales de las raíces de los dos árboles maduros fueron: 130,5 y 121,0 metros respectivamente. La proporción de peso fresco promedio del total de fitomasa fue: raíces 21,1%, follaje 8,4%, ramas 25,9% y fustes 44,6%. El cociente entre peso de raíces y peso de la parte aérea promedió fue 0,267 es decir que aproximadamente la biomasa radical representó el 27% de la BM (biomasa) aérea. En el *P. deltoides* de 16 años, el peso específico de la madera a las dos semanas de abatido el árbol fue 641 kg/m³ y el P.E. (peso específico) aparente (madera seca al aire) fue 390 kg/m³. La BM posible en una forestación con estos cultivares a los 15 años en las condiciones del sitio de ensayo se estimó en 408 toneladas de carbono por hectárea.

Palabras clave: Biomasa. Peso fresco de raíces. Álamos. *Populus* sp. Prov. Jujuy.

SUMMARY

In order to estimate the biomass of poplars in a plot cultivated with salicaceae at the San Pablo Forest Station (former National Forest Institute), located at 1,470 m snm (4820 ft. a.s.l.) in the province of Jujuy the dimensional analysis of three trees was carried out –*Populus deltoides* 7 and 16 years old and *P. x euramericana* 15,5 years old– planted from cuttings supplied by I.N.T.A. The underground compartment of complicated extraction and laborious direct measurement was specially studied. Stems, branches and roots up to 2 mm thickness were cut; this material was measured and fresh weighted. The total root lengths of the two mature trees were 130,5 and 121,0 meters respectively. The average fresh weight ratio of phytomass total were: roots 21.1%, leaves 8.4%, branches 25.9% and stems 44.6%. Ratio between root weight and aboveground weight averaged 0.267 id

¹-Cátedra de Dasonomía, Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu, y Cátedra de Dasonomía, Expansión Académica San Pedro de Jujuy, FCA, UNJu.

est, root biomass meant nearly 27% of aboveground BM (biomass). Regarding the 16 years old *P. deltoides*, specific gravity of timber cut two weeks before laboratory testing was 641 kg/m³ (40 lb/ft³), and 390 kg/m³ (24,3 lb/ft³) for air-dry wood. The feasible BM forestation with these cultivars at 15 years under test site conditions was estimated at 408 tons of carbon per hectare.

Keywords: **Biomass. Poplars. *Populus* sp.. Province of Jujuy. Roots fresh weight.**

INTRODUCCIÓN

La medición de la biomasa (BM) y productividad de los componentes vegetales de un ecosistema es una tarea indudablemente muy difícil (Spurr y Barnes, 1982), en particular en lo referente a la BM subterránea. Los sistemas radicales, desde sus estructuras profundas de fijación hasta las más superficiales de absorción, constituyen una proporción significativa de la biomasa leñosa. La estimación del almacenamiento de carbono en la biomasa subterránea resulta importante en los proyectos de fijación de carbono, ya que ésta representa una fracción importante de la biomasa aérea. Según distintos autores la proporción ronda entre un 10 y 40% de la biomasa total (MacDiken, 1977); un 10 al 30% de la biomasa aérea (Dixon, 1995); 20 a 30% de la biomasa aérea para distintos lugares del mundo (Cairns y otros, 1997); 28,7% de la biomasa aérea de los bosques de Roble-Raulí-Coigüe del sur de Chile (Calderón y otros, 2001); 21% de la BM total en pinos y 23% en sauces (Chocovar, 2012).

La biomasa de las raíces puede estimarse básicamente mediante tres procedimientos: 1) por medición directa; 2) utilizando un determinado porcentaje de la biomasa aérea; y 3) apelando al uso de modelos de biomasa radical obtenidos de la literatura específica, toda vez que se trate de las mismas especies y condiciones edáficas similares. La determinación de biomasa radical por extracción total de sus componentes y posterior pesaje resulta útil para tener mejores estimaciones del carbono total de un ecosistema nativo o la acumulada en una forestación con especies exóticas.

El primero de estos métodos fue empleado como base para futuras extrapolaciones en la Estación

Forestal San Pablo (EFSP, ex-Instituto Forestal Nacional). El presente análisis da cuenta de la extensión, volumen aproximado, peso fresco o verde (PF) y peso seco al aire, y relación entre parte aérea y radical de tres árboles de *Populus* sp. de 7, 15,5 y 16 años plantados en la EFSP.

Antecedentes

Se ha encontrado que plantas con sistemas radicales fibrosos tienen enormes extensiones de raíces. Entre las varias plantas estudiadas, una planta de centeno de 4 meses llegó a formar 143 raíces principales, 35.600 raíces de segundo orden, 2.300.000 de tercer orden y 11.500.000 de cuarto orden (Robbins y otros, 1957). Una planta de maíz puede alcanzar una extensión acumulada de sus raíces de más de 400 metros (Hill y otros, 1967).

En las especies leñosas la extensión radical puede ser igualmente importante. Kramer y Kozlowski (1960) citan para un plantín de *Cornus florida* de sólo 6 meses 2.657 raíces entre primer y sexto orden y 51 metros de longitud acumulada; y un plantín de igual edad de *Pinus taeda* totalizaba 767 raíces con casi 4 metros de longitud. Kalela (1954) mencionó un *Pinus taeda* de 100 años cuya extensión total de raíces llegaba a los 50 kilómetros. Heyward (1933) midió algo más de 20 m en *P. palustris* en el oeste de Florida; en Australia, se halló una extensión máxima de 45 m en un *P. pinaster* (Paton, 1987), y Kozlowski, (1971) midió 60 m en un álamo (*Populus deltoides*). Ya al 6° año de instalada una parcela de *P. patula* en un suelo húmedo de la EFSP, las raíces laterales cubrían un radio medio de 4,6 metros (Chocovar y Picchi, 2006).

Según la clasificación de las disposiciones de enraizamiento, el tipo axonomorfo pivotante

corresponde a la predominancia de una raíz que se clava profundamente en el suelo; en nuestros estudios en la provincia este tipo de arquitectura, lo hemos observado solamente en pinos y en *Araucaria angustifolia*, pero no en eucaliptos o salicáceas. El tipo superficial vale para las especies en las que predominan las raíces laterales sin una pivotante conspicua, y el tipo oblicuo ocupa una posición intermedia. La extensión total de los sistemas radicales de cada árbol dentro de una plantación, si se toman en cuenta las raicillas (raíces menores a 2 milímetros de diámetro) más las vellosidades absorbentes, puede alcanzar cifras astronómicas (Daniel y otros, 1982).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se trabajó en las parcelas experimentales próximas al arroyo Coyamayo (límite Norte de la EFSP). De una parcela de 9500 m² se apearon en diversas oportunidades varios árboles, sauces y álamos entre dominados y enfermos (varios atacados por *Platypus sulcatus*), quedando en pie sólo 18 de los mejores ejemplares, sanos y dominantes; dos de estos y otro de menor edad fueron elegidos para llevar a cabo este estudio sobre la biomasa en *Populus*, en particular la referida al sistema radical por medición directa (Chocovar y Picchi, 2008 y 2016).

Para la extracción de las raíces se operó con picos, barretas, palas, azadas, y tijeras de podar para seccionar las raíces más delgadas; el uso de motosierra se intentó en varias oportunidades, pero debió ser reservado para el posterior trozado de las raíces ya limpias y para las ramas y fustes, pues sus cadenas fueron severamente dañadas por la arena y por piedras no visibles aprisionadas por las raíces. Los radios de acción de cavado según los diámetros de los árboles –2,5 metros para un DAP de 35 cm– sugeridos en el Manual de Procedimientos (Calderón *et alii*, *op. cit.*) resultaron insuficientes para los álamos estudiados, debiéndose explorar zanjas de hasta 6 metros.

Para la estimación del volumen radical, al carecer de un xilómetro adecuado a los tamaños de las secciones de las raíces (método de desplazamiento de agua) se optó por el método de análisis dimensional (diámetros y longitudes de las muestras, que es algo menos preciso aunque igualmente utilizado en distintos trabajos). El PF de las muestras se logró cortando convenientemente el material colectado con sierras manuales; las secciones fueron lavadas, rápidamente escurridas y expuestas al aire para un oreado proporcional a la humedad relativa ambiente previo a las pesadas.



Figura 1. Vistas de varios trocillos de los fustes de dos álamos (*Populus deltoides* a la izquierda y *Populus x euramericana* a la derecha) apeados en la EFSP con el objeto de determinar el volumen, peso fresco y densidad de cada sección.

El voluminoso material seccionado en piezas de diversos tamaños (Figura 1), fue pesado a campo en una balanza "romana" (*statera*) de 30 kg, y en laboratorio en dos balanzas convencionales de 50 y 20 kilogramos; las raíces pequeñas y raicillas se pesaron en una balanza "Ohaus" CS-2000 con precisión de 1 gramo.

El tiempo transcurrido entre la tala de los árboles, el corte de las distintas partes (trociños, ramas y raíces) y su traslado para el pesado inicial (PF) fue variable, pero no superó los 15 días; por ello se considera que la pérdida de humedad durante ese lapso fue mínima. En este sentido, en su trabajo concretado en Chacras de Coria, Mendoza, Calderón *et alii* (1988) determinaron una pérdida en peso de sólo el 5,3% en rollizos de *P. x euramericana* cultivar 'I-214' apeados en primavera durante los 30 días posteriores a la tala. Igualmente, trabajando en San Pablo con 14 trociños de *P. deltoides* y 12 de un híbrido euramericano, Chocovar (2007) encontró en promedio una pérdida de 12,6 g de agua/día, equivalente aprox. al 0,5-0,6% diario del peso fresco inicial. Para la determinación de peso seco de la madera se cortaron muestras del material cosechado con sierra sin fin y se sometieron los tacos obtenidos (aprox. 250-400 gramos c/u) a secado entre 70 y 80 °C mediante el empleo de una estufa eléctrica marca "Dalvo" (facilitada en préstamo por la ex-Dirección de Estaciones Experimentales de la Provincia), y otro a gas de 100 dm³ de capacidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos correspondientes a los álamos *Populus deltoides* y *P. x euramericana* objeto de la determinación de volumen, peso fresco (PF) o verde y extensión de sus raíces, como los vinculados a fuste, etc. fueron los siguientes:

A)

Identificación botánica: *Populus deltoides* Bartr. ex Marsh. ssp. *angulata*
 Variedad: Cultivar 'I-125/68'
 Procedencia: Centro de Investigaciones de RRNN, INTA (Ing. A. Ragonese)
 Edad del árbol: 16 años
 Altura total = 28,5 m;
 Incremento medio anual (IMA) en altura = 1,76 m
 Diámetro de referencia (DAP) = 0,35 m.

B)

Identificación botánica: *Populus deltoides* Bartran
 Variedad: cultivar no identificado.
 Procedencia: Estación Experimental Agrop. Delta del Paraná, INTA (Ing. R. Sancho)
 Edad del árbol: 7 años
 Altura total = 12,9 m
 Incremento medio anual en altura = 1,84 m
 DAP = 0,17 m

C)

Identificación botánica: *Populus x euramericana* (Dode) Guinier, también conocido como *P. x canadensis* Moench. (álamo Carolina)
 Presuntos genitores: *Populus nigra* L. x *P. deltoides f. virginiana* (y su recíproco).
 Variedad: Clon 'I-262' obtenido en Italia por G. Jacometti (Casale Monferrato).
 Procedencia: Estación Experimental Agrop. INTA, Campana (Ing. A. Alonzo)
 Edad del árbol: 15,5 años
 Altura total = 26,0 m;
 Incremento medio anual en altura = 1,73 m
 DAP = 0,33 m.

Observaciones: este híbrido fue considerado en Mendoza como el más resistente al ataque de canchros (Septoria musiva) (Romero, 1969). Es uno de los más apreciados por su buen porte y elevada producción maderera. En el Alto Valle del Río Negro (Norte de Patagonia) con este clon se lograron 54,4 m³ ha⁻¹ año⁻¹ (Chara y Piedrafita, 1983).

Populus deltoides (A)

En la Tabla 1 se presentan los valores medios de diámetros, secciones, longitudes (expresados en metros), secciones transversales y volúmenes de los 76 trozos en que fue dividida la porción radical de este álamo.

Tabla 1. Valores correspondientes al sistema radical de un álamo (*P. deltoides* cultivar I-125/68) de 16 años en la EFDSP (m), ubicados en orden decreciente de volumen de cada trozo.

| Trozo # | Diámetro mayor (cm) | Diámetro menor (cm) | Diámetro medio (cm) | Longitud del trozo (m) | Sección m ² | Volumen m ³ |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | 0,22 | 0,05 | 0,135 | 5,3 | 0,0143 | 0,0759 |
| 3 | 0,19 | 0,06 | 0,125 | 5,3 | 0,0123 | 0,0650 |
| 7 | 0,19 | 0,07 | 0,130 | 4,1 | 0,0133 | 0,0544 |
| 9 | 0,18 | 0,07 | 0,125 | 4,3 | 0,0123 | 0,0528 |
| 4 | 0,16 | 0,06 | 0,110 | 4,5 | 0,0095 | 0,0428 |
| 6 | 0,16 | 0,05 | 0,105 | 4,4 | 0,0087 | 0,0381 |
| 2 | 0,15 | 0,05 | 0,100 | 4,7 | 0,0079 | 0,0369 |
| 8 | 0,16 | 0,05 | 0,105 | 3,9 | 0,0087 | 0,0338 |
| 10 | 0,15 | 0,06 | 0,105 | 3,7 | 0,0087 | 0,0320 |
| 14 | 0,15 | 0,04 | 0,095 | 4,1 | 0,0071 | 0,0291 |
| 12 | 0,16 | 0,04 | 0,100 | 3,5 | 0,0079 | 0,0275 |
| 26 | 0,13 | 0,07 | 0,100 | 2,8 | 0,0079 | 0,0220 |
| 5 | 0,12 | 0,05 | 0,085 | 3,8 | 0,0057 | 0,0216 |
| 11 | 0,14 | 0,04 | 0,090 | 3,3 | 0,0064 | 0,0210 |
| 15 | 0,12 | 0,06 | 0,090 | 3,2 | 0,0064 | 0,0204 |
| 20 | 0,12 | 0,06 | 0,090 | 2,9 | 0,0064 | 0,0184 |
| 13 | 0,13 | 0,03 | 0,080 | 3,4 | 0,0050 | 0,0171 |
| 19 | 0,13 | 0,05 | 0,090 | 2,5 | 0,0064 | 0,0159 |
| 17 | 0,11 | 0,04 | 0,075 | 2,8 | 0,0044 | 0,0124 |
| 24 | 0,10 | 0,05 | 0,075 | 2,4 | 0,0044 | 0,0106 |
| 25 | 0,10 | 0,05 | 0,075 | 2,4 | 0,0044 | 0,0106 |
| 28 | 0,11 | 0,03 | 0,070 | 2,7 | 0,0038 | 0,0104 |
| 16 | 0,10 | 0,04 | 0,070 | 2,5 | 0,0038 | 0,0096 |
| 18 | 0,10 | 0,03 | 0,065 | 2,4 | 0,0033 | 0,0080 |
| 21 | 0,09 | 0,05 | 0,070 | 2,0 | 0,0038 | 0,0077 |
| 23 | 0,09 | 0,04 | 0,065 | 2,2 | 0,0033 | 0,0073 |
| 27 | 0,08 | 0,05 | 0,065 | 2,1 | 0,0033 | 0,0070 |
| 22 | 0,08 | 0,04 | 0,063 | 2,1 | 0,0031 | 0,0064 |
| 33 | 0,08 | 0,04 | 0,060 | 2,1 | 0,0028 | 0,0059 |
| 35 | 0,06 | 0,04 | 0,050 | 2,1 | 0,0020 | 0,0041 |
| 32 | 0,07 | 0,02 | 0,045 | 2,4 | 0,0016 | 0,0038 |
| 31 | 0,08 | 0,01 | 0,045 | 2,1 | 0,0016 | 0,0033 |
| 29 | 0,07 | 0,02 | 0,045 | 2,0 | 0,0016 | 0,0032 |
| 34 | 0,05 | 0,02 | 0,035 | 2,3 | 0,0010 | 0,0022 |
| 30 | 0,06 | 0,01 | 0,035 | 2,2 | 0,0010 | 0,0021 |
| 37 | 0,04 | 0,02 | 0,030 | 1,2 | 0,0007 | 0,0008 |
| 36 | 0,04 | 0,01 | 0,025 | 1,3 | 0,0005 | 0,0006 |
| 38 | 0,03 | 0,01 | 0,020 | 1,0 | 0,0003 | 0,0003 |
| 39 | 0,03 | 0,01 | 0,020 | 0,8 | 0,0003 | 0,0003 |
| 41 | 0,03 | 0,02 | 0,025 | 0,9 | 0,0005 | 0,0004 |
| 45 | 0,02 | 0,01 | 0,015 | 0,6 | 0,0002 | 0,0001 |
| 47 | 0,04 | 0,01 | 0,025 | 0,6 | 0,0005 | 0,0003 |
| 42 | 0,02 | 0,01 | 0,015 | 0,6 | 0,0002 | 0,0001 |
| 44 | 0,03 | 0,01 | 0,020 | 0,6 | 0,0003 | 0,0002 |
| 40 | 0,04 | 0,02 | 0,030 | 1,1 | 0,0007 | 0,0008 |
| 46 | 0,03 | 0,01 | 0,020 | 0,5 | 0,0003 | 0,0002 |
| 48 | 0,03 | 0,01 | 0,020 | 0,5 | 0,0003 | 0,0002 |
| 52 | 0,04 | 0,02 | 0,030 | 0,9 | 0,00071 | 0,00064 |
| 50 | 0,01 | 0,005 | 0,0075 | 0,3 | 0,00004 | 0,00001 |
| 64 | 0,01 | 0,005 | 0,0075 | 0,1 | 0,00004 | 0,00000 |
| 43 | 0,02 | 0,01 | 0,015 | 0,7 | 0,0002 | 0,0001 |
| 49 | 0,02 | 0,01 | 0,015 | 0,5 | 0,0002 | 0,0001 |
| 53 | 0,02 | 0,01 | 0,015 | 0,5 | 0,00018 | 0,00009 |
| 58 | 0,015 | 0,005 | 0,01 | 0,1 | 0,00008 | 0,00001 |
| 51 | 0,05 | 0,02 | 0,035 | 1,4 | 0,00096 | 0,00135 |
| 57 | 0,01 | 0,01 | 0,010 | 0,2 | 0,00008 | 0,00002 |
| 55 | 0,02 | 0,01 | 0,015 | 0,3 | 0,00018 | 0,00005 |
| 62 | 0,04 | 0,02 | 0,030 | 0,5 | 0,00071 | 0,00035 |
| 63 | 0,02 | 0,005 | 0,0125 | 0,1 | 0,00012 | 0,00001 |
| 66 | 0,075 | 0,03 | 0,0525 | 0,1 | 0,00216 | 0,00022 |
| 54 | 0,03 | 0,01 | 0,020 | 0,7 | 0,00031 | 0,00022 |
| 56 | 0,01 | 0,01 | 0,010 | 0,2 | 0,00008 | 0,00002 |
| 59 | 0,01 | 0,005 | 0,0075 | 0,1 | 0,00004 | 0,00000 |
| 61 | 0,02 | 0,01 | 0,015 | 0,2 | 0,00018 | 0,00004 |
| 65 | 0,04 | 0,025 | 0,0325 | 0,5 | 0,00083 | 0,00041 |
| 60 | 0,01 | 0,005 | 0,0075 | 0,1 | 0,00004 | 0,00000 |
| 71 | 0,05 | 0,025 | 0,0375 | 0,2 | 0,00110 | 0,00022 |
| 73 | 0,025 | 0,01 | 0,0175 | 0,1 | 0,00024 | 0,00002 |
| 70 | 0,125 | 0,05 | 0,0875 | 1,7 | 0,00601 | 0,01022 |
| 69 | 0,105 | 0,045 | 0,075 | 1,9 | 0,00442 | 0,00839 |
| 67 | 0,085 | 0,035 | 0,060 | 0,1 | 0,00283 | 0,00028 |
| 72 | 0,035 | 0,01 | 0,0225 | 0,4 | 0,00040 | 0,00016 |
| 68 | 0,065 | 0,03 | 0,0475 | 0,1 | 0,00177 | 0,00018 |
| 75 | 0,015 | 0,005 | 0,0100 | 0,1 | 0,00008 | 0,00001 |
| 74 | 0,02 | 0,005 | 0,0125 | 0,1 | 0,00012 | 0,00001 |
| 76 | 0,015 | 0,005 | 0,0100 | 0,1 | 0,00008 | 0,00001 |

Longitud total de las raíces (hasta un diámetro mínimo de 4 mm) = 130,5 m

Volumen total de las raíces = 0,767 m³

Peso de las raíces al estado de madera verde = 492 kg

Peso específico o densidad de la madera verde) = 492 kg / 0,767 m³ = 641 kg/m³

Peso específico aparente (madera secada al aire) = aprox. 390 kg/m³

Peso total del fuste (leño + agua) = 977 kg

Volumen del fuste (por fórmula de Smalian) = 1,35 m³

Densidad media de la madera del fuste = 977 kg / 1,35 m³ = 724 kg/m³

Peso del leño (Peso seco) = 280 kg

Peso del agua (H) = 977 kg – 280 kg = 697 kg

P total / (P total - P leño) = 100/H Conten. de humedad H = (100 x 697) / 977 = 71,3%, coincidente por aplicación de la fórmula [(PF – Peso Seco) / PF]. (100) = 71,3%

Populus deltoides (B)

La metodología utilizada para el cálculo de pesos y volúmenes fue la misma que para el álamo A. Para esta variedad cuya identificación clonal fue extraviada, los pesos aproximados por compartimentos fueron los siguientes: follaje = 74,1 kg; ramas = 207 kg; fuste = 394,5 kg; raíces = 176,4 kg; peso total = aprox. 852 kg. Por tratarse de un árbol joven (7 años) con mayor proporción de albura o sámago, no se determinó el peso específico del leño verde. En este caso, también resulta mayor la relación corteza-madera, lo cual implica un mayor desgaste al corte de las sierras o cuchillas; este problema no tiene que ver con la variedad específica sino con la edad y consecuente escasa sección transversal del fuste (0,028 m²).

Populus x euramericana (C)

Longitud total de las raíces (hasta un diámetro mínimo de 4 mm) = 121,0 m

La metodología utilizada fue la misma que para el álamo A y B.

Peso total del fuste (leño + agua) = 785 kg

Volumen del fuste (por fórmula de Smalian) = 1,07 m³

Densidad media de la madera del fuste = 785 kg / 1,07 m³ = 734 kg/m³

Comparación de porcentajes de PF por compartimentos

| Especie / cultivar | Edad (años) | Follaje | Ramas | Fuste | Parte aérea | Raíces (R) | Cociente R / PA |
|----------------------------------|-------------|---------|-------|-------|-------------|------------|-----------------|
| <i>P. deltoides</i> 'I-125/68' | 16 | 8,3 | 26,0 | 43,7 | 78,0 | 22,0 | 0,282 |
| <i>P. deltoides</i> cv. (?) | 7 | 8,7 | 24,3 | 46,3 | 79,3 | 20,7 | 0,261 |
| <i>P. x euramericana</i> 'I-262' | 15 | 8,1 | 27,6 | 43,7 | 79,4 | 20,6 | 0,259 |

Tabla 2. Porcentajes aproximados de los pesos de cada compartimento en relación con el (PF) total de cada árbol, y relaciones entre peso de raíz y la parte aérea.

Cabe mencionar que los valores de peso específico de las maderas de álamo son muy variables, según el medio ecológico de crecimiento, la densidad de plantación, el sexo de los pies, una moderada influencia genética y el lugar de muestreo a lo largo de los fustes. La edad de los árboles parece no tener importancia alguna, y resulta controversial la relación entre velocidad de crecimiento y peso específico. Para el *P. deltoides* aquí tratado, Walters y Bruckmann (1965) determinaron densidades entre 287 y 518 kg/m³ (volumen verde). Ensayando 19 clones de *Populus* sp. en Tunuyán, Mendoza, Scordo y Arreghini (1983) encontraron un rango de variación del peso específico fresco (verde) que va desde los 538 kg/m³ hasta 1488 kg/m³.

Para *P. x euramericana*, Sekawin (1977) determinó sobre las muestras italianas, una densidad seca al aire (humedad del 12%) de 360 kg/m³ y una densidad básica (peso seco/volumen verde) = 300 kg/m³. Barbieri Basso (1984) para el álamo AM ('I-154') –un euramericano afín al 'I-262' aquí tratado– informó una densidad básica = 353 kg/m³.

La relación entre el peso de la parte aérea (PA) y peso de raíces (R) alcanzó en promedio la proporción de 3,74:1 (ver Tabla 2), vale decir que las raíces suman aproximadamente el 21% del peso total del árbol. Este valor es similar al hallado para sauces en iguales condiciones ecológicas y se encuadra dentro de los límites citados por varios autores en la estimación de almacenamiento de carbono en la biomasa subterránea realizada mediante modelización.

Algunos trabajos demostraron que esta relación PA a R puede variar con la edad de los árboles: en *Abies balsamea* se halló que en árboles jóvenes (DAP = 5 cm) la proporción de biomasa radical era 23,9% en tanto en árboles de DAP = 25 cm la relación bajaba a 21,3% (Baskerville, 1965).

Comparando 5 árboles de *Salix nigra* de una edad promedio de 6,2 años con otros 5 árboles de edad media de 13,4 años se encontró que a mayor edad menor era el valor relativo de las raíces respecto a la parte aérea ($r = -0,52$) (Picchi, 1995). Un resultado similar fue hallado en sauces con edades entre 3 y 18 años plantados a orillas del A° Coyamayo en Jujuy ($r = -0,69$) (Chocovar, 2012). Sin embargo, también se han documentado relaciones distintas: en Italia se investigó esta relación en el álamo clonado "I-476" y se encontró que el porcentaje de peso en raíz subía del 7% a los 8 años al 9% a los 14 años (Avanzo y otros, 1975).

Biomasa esperable con los clones incluidos en este trabajo

Tomando el promedio de los guarismos arriba mencionados para ambos cultivares en una rotación de 15 años –lapso que en populicultura es considerado un "ciclo largo" (Suárez, 1980)– en un sitio de buena calidad (1000-1200 mm anuales de lluvia, temperatura media anual no inferior a 15 °C, suelo neutro o levemente ácido) con riego inicial y limpieza por taza, podría obtenerse la biomasa que se ilustra en la Tabla 3.

| Nº de árboles | DAP (cm) | Área basal (m ²) | Altura media (m) | Volumen (m ³ ha) | Peso fresco (kg) | | | | BM (t C/ha) |
|---------------|----------|------------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|-------------|--------|-------|-------------|
| | | | | | Fustes | Parte Aérea | Raíces | Total | Total |
| 330 | 35 | 31,35 | 27,0 | 423 | 310 | 568 | 151 | 719 | 408 |

Tabla 3. Datos dasométricos y de biomasa relativos a una posible plantación de álamos en un sitio de buena calidad.

De las 408 toneladas de BM producidas por hectárea (sin considerar vegetación herbácea ni necromasa), aplicando $BM \sim PF \times 0,57$ tenemos que 86 toneladas corresponden a las raíces y 322 t a la parte aérea –hojas + ramas + fustes–. Empleando el modelo de estimación de BM en raíces propuesto por Kurz *et alii* (1996) para maderas blandas: $BM \text{ raíces} = 0,231 \times (BM \text{ sobre el suelo})$, se obtendrían 75 toneladas, unas 11 t menos, valor 13% inferior al calculado, pero evitando el pesado costo que implica la extracción de raíces sumado al laborioso proceso posterior descripto.

Los 423 m³ de fustes (rollizos) producidos a partir de los 330 árboles/ha, representan un incremento medio anual de 28,2 m³ por hectárea, cifra próxima al rendimiento máximo logrado en Jujuy (33 m³/ha al 10º año) en el mejor de los ensayos introducidos hace tres décadas (Picchi y Ragonese, 1988).

CONCLUSIONES

Para los dos árboles adultos (álamos >15 años) analizados, los pesos frescos fueron los siguientes:

Populus deltoides spp. *angulata* (árbol A) de 16 años: follaje (verano) = 186 kg; ramas = 582 kg; fuste = 977 kg; raíces = 492 kg; peso total = 2.237 kg

Populus x euramericana (árbol C) de 15,5 años: follaje = 145 kg; ramas = 495 kg; fuste = 785 kg; raíces = 370 kg; peso total = 1795 kg

En promedio de los tres árboles, los porcentajes de los pesos de cada compartimento en relación con el peso fresco total fue el siguiente: follaje= 8,4%; ramas= 25,9%; fuste= 44,6%; parte aérea= 78,9%; y raíces= 21,1%. El cociente raíces/parte aérea alcanzó 0,267.

AGRADECIMIENTOS

Al entonces Sr. Interventor en el Instituto Forestal Nacional Ing. Hugo H. Kugler por facilitar el acceso al material vegetal cultivado en la EFSP objeto de este estudio. Al entonces Profesor Titular Ord. de la Cátedra de Dasonomía FR Carlos G. Picchi, por su asistencia en las tareas de aserrado de fustes, cortes de ramas, extracción y posterior lavado y pesaje de las raíces de los álamos. Este trabajo fue aprobado por la Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales, UNJu (Proyecto 08/A090: “Inventario de carbono y determinación de biomasa en parcelas de Bosque Montano y rodales de especies exóticas de rápido crecimiento”).

BIBLIOGRAFÍA

Avanzo, E., Giordano, E. y Rossi Marcelli, A. 1975. *Utilisation intégrale du peuplier*. FAO, FO: CIP/75/30. Roma.

Barbieri Basso, C. 1984. Respuesta acerca de la densidad básica de algunas salicáceas. Libro de soluciones, Comisión del Álamo, pág. 105. Reunión Nacional de Salicáceas. Buenos Aires.

Cairns, M., Brown, S., Helmer, E. y Baumgardner, G. 1997. Root Biomass Allocation in the World's Upland Forest. *Oecologia* 111:1-11.

Calderón, A.D., Arreghini, R.L. y Somoza, A.R. 1988. Humedad en madera de álamos. Actas del VI Congreso Forestal Argentino, Tomo III: 546-547.

Calderón, S., Gayoso, J., Guerra, J., y Schlegel, B. 2001. Inventarios Forestales para Contabilidad de Carbono. Manual de Procedimientos. FONDEF D98I1076 UACH / INFOR.

Chara, M. y Piedrafita, E. 1983. Plantación de álamos en la zona del Alto Valle y Valle Medio del Río Negro. Actas y Trabajos Técnicos del V Congreso

Forestal Argentino, Tomo III: 137-141.

Chocovar, A.N.E. 2007. Marcha del pre-secado natural de álamos en la Estación Forestal San Pablo, Prov. de Jujuy. VI Jornadas de Informac. Científ.-Técnica de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu. pp. 14-23.

Chocovar, A.N.E. 2012. Productividad, funciones y valuación del Bosque Montano, piso superior de la Selva Montana y forestaciones de altura en la Provincia de Jujuy. Tesis de Maestría en RRNN (Orientación Forestal), Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.

Chocovar, A.N.E. y Picchi, C.G. 2006. Estimación del costo de extracción de raíces de pinos en la determinación de biomasa en cinco sitios de la Prov. de Jujuy. En: Actas de las XXI Jornadas Forestales de Entre Ríos. 26-27/10/2006. INTA, Concordia.

Chocovar, A.N.E. y Picchi, C.G. 2007. Porcentaje de peso fresco por compartimentos de varios sauces (nativos y exóticos) en relación con el peso total de sus árboles. Informe de avance a la SeCTER, UNJu. (Inéd.)

Chocovar, A.N.E. y Picchi, C.G. 2016. Estimación del almacenaje de Biomasa y Carbono en parcelas de Selva Montana y de *Pinus patula* en la Estación Forestal San Pablo, Prov. de Jujuy. Jornada de "Agroindustria y Biomasa: oportunidades y desafíos". Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu.

Daniel, P.W., Helms, U.E. y Baker, F.S. 1982. Principios de Silvicultura. McGraw-Hill de México, S.A. de C.V. México, D.F. 492 pp.

Dixon, R.K. 1995. Agroforestry Systems: Sources or Sinks of Greenhouse Gases? *Agroforestry Systems* 31:88-116.

Esau, K. 1959. Anatomía Vegetal. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 729 pp.

Heyward, F. 1933. The root system of longleaf pine on the deep sands of western Florida. *Ecology* 14:136-148.

Hill, J.B., Overholts, L.O., Popp, H.W. y Grove, Jr., A.R. 1967. Tratado de Botánica. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 747 pp.

Howard, E.T. 1971. Some chemical and physical properties of slash pine tree parts. USDA Forest Service. Southern Forest Exper. Station, Alexandria, La. USA.

Kalela, E. 1954. On root relations of pine seed-trees. (Translation). *Acta Forestalia Fennica*, 61 (28): 1-17.

Koch, P. 1972. Utilization of the Southern Pines. Vol. I: The raw material. U.S. Department of Agriculture Forest Service. Southern Forest Experiment Station. Washington, DC.

Kozlowski, T.T. 1962. Tree Growth. The Ronald Press Company. New York. 442 pp.

Kramer, P.J. y Kozlowski, T.T. 1960. Physiology of Trees. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York. 642 pp.

Kurz, W.A., Beukema, S.F. y Apps, M.J. 1996. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the canadian forest sector. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1973-1979.

MacDiken, K. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International, 1611 Kent St., suite 600, Arlington, USA. 87 pp.

Picchi, C.G. 1995. Relación entre edad de *Salix nigra* y proporción fuste/raíz en diez árboles cultivados en la Estación Forestal San Pablo, Prov. de Jujuy. Jornadas Tecnológico- Forestales de Orán, INTA/CETEFI. Provincia de Salta. 4 pág.

Picchi, C.G. y Chocovar, A.N.E. 2006. Estudio de la distribución de BM en especies leñosas exóticas. Informe al Proyecto SECTER (Ficha #13). FCA. UNJu. 5 pp.

Picchi, C.G. y Ragonese, A.E. 1988. "Primera evaluación del crecimiento de 21 clones de álamos en la Estación Experimental "Pozo de las Avispas", Jujuy." En: Libro de Resúm. Trabajos VI Congreso Forestal Argentino, pág. 15. Santiago del Estero.

Robbins, W.W., Weier, T.E. y Stocking, C.R. 1957. Botany. John Wiley & Sons, Inc., Publishers. New York. 578 pp.

Romero, R.R. 1969. Estudio del estado sanitario de los álamos en la provincia de Mendoza con especial referencia a la "cancrosis". Actas del Primer Congreso Forestal Argentino: Trabajo # 180, pág. 333. Bs. Aires.

Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. 2001. Manual de Procedimientos para Inventarios de Carbono en Ecosistemas Forestales. UACH, Valdivia. 15 pp.

Scordo, J.C. y Arreghini, R.I. 1983. Ensayo comparativo de adaptación de 19 clones de *Populus* sp. cultivados en Tunuyán, Mendoza. Actas del V Congreso Forestal Argentino, Tomo I, 1.122. 5 pp.

Sekawin, M. 1977. I cloni di pioppo iscritti nel Registro Nazionale Italiano dei cloni forestali. Collana verde 45/77. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste. Roma. 150 pp.

Spurr, S.H. y Barnes, B.V. 1982. Ecología Forestal (Capítulo 18). AGT Editor S.A., México. 690 pp.

Suárez, R.O. 1980. Consideraciones para asegurar una buena implantación y crecimiento final en *Populus* sp. Publicación especial de la Asociación Forestal Argentina. Pág. 77-81. (IV Cong. For. Arg., Goya, Corrientes.)

Walters, C.S. y Bruckmann, G. 1965. Variation in specific gravity of cottonwood as affected by tree sex and stand location. *Journal of Forestry* 63:182-185.

SELECCIÓN DE LEVADURAS ENOLÓGICAS NO-SACCHAROMYCES NATIVAS DE VIÑEDOS DE LA LOCALIDAD DE HUMAHUACA, JUJUY, ARGENTINA

SELECTION OF NON-SACCHAROMYCES NATIVE OENOLOGICAL YEASTS OF VINEYARDS IN HUMAHUACA LOCALITY, JUJUY, ARGENTINA

Burgos, C. R.¹; Ortega, A. M. A.¹; Rodríguez, C. I.¹; Agüero, A. A.¹

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue aislar, diferenciar y caracterizar levaduras del género no *Saccharomyces* de interés enológico, nativas de la Quebrada de Humahuaca, Jujuy. Se colectaron muestras al azar de racimos de uvas de distintas variedades tintas, durante la vendimia 2017. La diferenciación entre *Saccharomyces* y no-*Saccharomyces* se realizó en base a sus características morfológicas, crecimiento en agar lisina y esporulación en agar acetato. En todas las cepas se evaluaron características tecnológicas que determinan la eficiencia de las mismas en el proceso de fermentación y cualitativas que determinan su participación en las cualidades sensoriales de los vinos. Las cepas se agruparon según las semejanzas de las características evaluadas mediante un análisis de conglomerados. Se diferenciaron 10 cepas como no-*Saccharomyces*, la cepa QH37, identificada como *Metschnikowia pulcherrima*, presentó cualidades sobresalientes para ser seleccionada para fermentaciones mixtas con *Saccharomyces* por su afinidad por la glucosa y alta resistencia al anhídrido sulfuroso, baja producción de espuma, actividad β -glucosidasa y baja producción de compuestos sulfurados. Las levaduras seleccionadas en una determinada zona de producción, contribuyen a mantener las características propias de los vinos de una región vitivinícola y conservan la biodiversidad.

Palabras clave: Quebrada Humahuaca. Vinos de tierras altas. Levaduras autóctonas.

SUMMARY

The goal of this study was to isolate, differentiate and characterize yeasts of the *non Saccharomyces* genus of oenological interest, native from the Quebrada de Humahuaca, Jujuy. Random samples of grapes clusters of different red varieties were collected during the 2017 harvest. The differentiation between *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* was carried out based on their morphological characteristics, growth in lysine agar and sporulation in acetate agar. In all strains, technological characteristics that determine their efficiency in the fermentation process and qualitative ones that determine their participation in wines sensory qualities were evaluated. The strains were grouped according to the similarities of the evaluated characteristics by means of a cluster analysis. Ten strains were differentiated as no-*Saccharomyces*, strain QH37, identified as *Metschnikowia pulcherrima*,

showed outstanding qualities to be selected for mixed fermentations with *Saccharomyces* due to its affinity for glucose and high resistance to sulfur dioxide, low foam production, β -glucosidase activity and low production of sulfur compounds. Selected yeasts in a certain production area contribute to keep wine characteristics from a winemaking region and preserve biodiversity.

Keywords: Autochthonous yeasts. High land wines. Quebrada de Humahuaca.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales desafíos actuales en la industria del vino, es seleccionar cepas de levaduras vínicas nuevas y mejoradas, en respuesta a la creciente demanda de los consumidores por vinos con valor agregado, desde hace unos años se ha reevaluado el importante papel de las no-*Saccharomyces* en la producción de vino. En el pasado, las levaduras no-*Saccharomyces* se consideraban de importancia secundaria o levaduras indeseables de deterioro (Padilla y otros, 2016), hoy en día diversos estudios han demostrado que el empleo de cepas seleccionadas no-*Saccharomyces*, como las levaduras apiculadas de la especie *Hanseniaspora uvarum* (anamorfo *Kloeckera apiculata*) *Candida*, *Pichia*, *Hansenula*, *Metschnikowia*, *Kluyveromyces* y *Torulaspotas* (Jara y otros, 2016; Maturano y otros, 2015), pueden tener un impacto positivo en el proceso de elaboración del vino, debido a que estas levaduras tienen varias características enológicas deseadas, como lo son, la producción de altos niveles de compuestos aromáticos, ésteres, alcoholes y glicerol, (Escott y otros, 2017; Sadoudi, M., y otros 2012). Varias enzimas (esterasas, β -glicosidasas, lactonas, lipasas, celulasas y proteasas, entre otras) (Domizio y otros, 2011, Torresi y otros, 2013) que degradan ciertos componentes del mosto mejorando aspectos tecnológicos como maceración, filtración, clarificación, reducción en la producción de alcohol (Varela y otros, 2016; González y otros, 2013) estabilización del color y la calidad aromática del vino (Liu y otros, 2016). Además, algunas levaduras no-*Saccharomyces*, producen poca cantidad de compuestos indeseables como acetaldehído (Bely, M., y otros 2008), acetoína, ácido acético, y acetato de etilo.

En la actualidad, la inoculación sistemática con

levaduras secas activas (LSA) comerciales, es la práctica enológica más utilizada en las bodegas de Humahuaca. Sin embargo, muchos autores reportaron de la importancia de la aplicación en los procesos de vinificación de levaduras nativas seleccionadas procedentes de la zona vitivinícola donde serán aplicadas, ya que están totalmente adaptadas a las condiciones geo-botánico-climatológicas y a la composición del mosto (Llanos, 2003) para producir vinos de calidad estandarizada, que conserven las propiedades típicas de la región y de la cultura que los producen. Atendiendo a esta problemática el objetivo de este trabajo fue aislar, seleccionar y caracterizar levaduras autóctonas no-*Saccharomyces* de uvas de la Quebrada de Humahuaca, con propiedades enológicas eficientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestras

Se recolectaron 8 muestras al azar de racimos de uvas de las variedades Syrah, Merlot y Malbec, pertenecientes a un productor de la localidad de Humahuaca, durante la vendimia 2018.

Técnicas de Aislamiento

La siembras y aislamientos se realizaron en medio Agar YPD (Barnett y otros, 2000). A cada cepa aislada se le asignó un número y un prefijo QH (siglas de Quebrada de Humahuaca).

Diferenciación de las cepas aisladas (Barnett, y otros., 2000).

Características macroscópicas: se observó forma, color, elevación, bordes, textura y tamaño.

Características microscópicas: mediante preparados en fresco se observó forma, tipo de gemación y tamaño.

Crecimiento sobre agar lisina: Las levaduras del género *Saccharomyces* no logran desarrollarse en un medio que contiene lisina como única fuente de nitrógeno, las cepas no-*Saccharomyces*, en cambio colonizan en este medio sin mayores dificultades.

Esporulación en agar acetato: El tiempo requerido para la esporulación varía con las especies, por lo que se realizaron observaciones periódicas, del material a los 7, 14, y 21 días

Caracterización tecnológica de las cepas aisladas

Tolerancia al etanol: (Abad Arranz, 2006).

Las cepas se sembraron en 3 tubos con diferentes concentraciones de mosto alcoholizado (10-12-15%v/v) Luego se sellaron con tapón vas-par (vaselina-parafina 50%) y se incubaron en estufa a 28°C durante 7 días. El desplazamiento del tapón indicó que la levadura fermentó y produjo CO₂ resistiendo la concentración de etanol del medio.

Poder de fermentación: (Abad Arranz, 2006; Kurtzman y otros, 1998)

El poder fermentativo se calculó gravimétricamente evaluando la pérdida de peso diariamente por liberación de CO₂, entre el inicio y el final de la fermentación de 30mL de mosto de cada cepa. $PF (\%v/v \text{ en etanol}) = [P \text{ final (g)} - P \text{ inicial (g)}] \cdot 1,5$

Resistencia al anhídrido sulfuroso:

Las cepas se sembraron en 3 tubos con diferentes concentraciones de anhídrido sulfuroso. (50-100-300 ppm de anhídrido sulfuroso). Los tubos se sellaron con tapón vas-par. Las cepas resistentes a cada concentración de anhídrido sulfuroso, lograron desplazar el mencionado tapón.

Formación de espuma: (Nikolaou, 2004) - Formación de sustancias adherentes y sedimentos:

Se midió la altura de la espuma producida durante 10 días. Las levaduras se clasificaron en tres categorías, basadas en la altura máxima alcanzada por la espuma: F0 (menor a 2 milímetros), F1 (entre 2 y 4 milímetros) y F2 (mayor de 4 milímetros).

Se observó la formación de película o anillo y la formación de sedimentos y flóculos.

Fermentación de azúcares: Glucosa y Fructosa (Barnett y otros, 2000).

Las cepas se sembraron en 30 mL de caldo (extracto de levadura 0,5%, glucosa 10%). Los erlenmeyers se incubaron durante 12 días en estufa a 28 °C. La pérdida de peso se registró diariamente para valorar los gramos de CO₂ liberados.

El mismo procedimiento se realizó, para determinar la fermentación de la fructosa, utilizando caldo (extracto de levadura 0,5%, fructosa 10%)

Caracterización cualitativa de las cepas aisladas

Actividad β-glucosidasa: (Hernández y otros, 2003)

La actividad β-glucosidasa se evidenció por la formación de un halo negro alrededor de la colonia que se forma por la reacción entre la esculina hidrolizada, que se transforma en esculetina, por la actividad enzimática de la β-glucosidasa y la sal férrica soluble.

Formación de ácido a partir de glucosa: (Kurtzman y otros, 1998)

La producción ácido a partir de glucosa se evidenció por la formación de un halo transparente alrededor de la colonia, debido a la disolución del carbonato de calcio, por la producción de ácido, la cual se cuantifica de la siguiente manera: 1) ++++ halo de disolución mayor a 3 mm /alta formación de ácido, 2) +++ halo de disolución entre 2-3 mm /baja formación de ácido, 3) ++ halo de disolución mayor entre 1 y 2 mm /leve formación de ácido, 4) + halo de disolución menor a 1 mm /trazas de ácido

Producción de ácido sulfhídrico: (Nikolaou y otros, 2004)

El cultivo se sembró en agar Biggy, un medio de cultivo comercial que pone en manifiesto la producción de ácido sulfhídrico. El medio de cultivo tiene sulfito de bismuto, siendo el sulfito el principal precursor de la producción excesiva de H₂S.

La intensidad de coloración en este medio es una indicación de la máxima actividad de la enzima sulfito reductasa de una cepa dada determinada genéticamente. 1) ++++chocolate/alta formación de H₂S, 2) +++beige-marrón/media formación de H₂S, 3) ++beige/baja formación de H₂S, 4) +/-beige claro/trazas de H₂S

Los ensayos tecnológicos se realizaron con 10 mL mosto pasteurizado (60 °C, 15 minutos) por

triplicado, y se incubaron a 28 °C por 48 Hs, siempre que no se indique algo diferente en las respectivas técnicas. Se sembró una alícuota de 106 células/mL de cada cepa.

Los ensayos cualitativos se realizaron por siembra en placa por duplicado, se incubaron en iguales condiciones antes descriptas.

Identificación de levaduras de interés enológico.

La identificación se realizó en el Laboratorio de Espectrometría de Masas de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Litoral, mediante Tipificación microbiológica MALDI-TOF/TOF

Análisis Estadístico

Con el fin de agrupar las cepas según la semejanza de sus características tecnológicas, cualitativas y de diferenciación para poder facilitar el análisis de los resultados se realizó un análisis de conglomerados, a través del Software InfoStat versión 2017 (Di Rienzo y otros, 2107).

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Características de diferenciación

Análisis morfológico

Las características macro y microscópicas de las 12 cepas aisladas pueden observarse en la tabla 1 y las figuras 1 y 2.

| CEPA | Variedad | Características macro | | | | | | Características micro | | | |
|------|----------|-----------------------|------------|---------|---------|----------|---------------|-----------------------|--------------|-----------|------------------|
| | | color | altura | bordes | textura | forma | tamaño en cm. | largo en µm. | ancho en µm. | forma | tipo de gemación |
| QH8 | syrah | crema | umbilicada | enteros | cerosa | circular | 0.4 | 5.4 | 3.75 | alargada | bipolar |
| QH14 | malbec | crema | convexa | enteros | cerosa | circular | 0.2 | 5.4 | 3.9 | ovoide | bipolar |
| QH34 | malbec | blanco | convexa | enteros | cerosa | circular | 0.7 | 6.1 | 5 | ovoide | multipolar |
| QH37 | syrah | crema | umbilicada | enteros | cerosa | circular | 0.2 | 5.2 | 4.6 | ovoide | polar |
| QH41 | malbec | crema-centro rosa | convexa | enteros | cremosa | circular | 0.2 | 5.9 | 4.45 | ovoide | multipolar |
| QH58 | merlot | rosa | convexa | enteros | cremosa | circular | 0.4 | 6.2 | 5.3 | alimonada | bipolar |
| QH60 | merlot | crema | umbilicada | enteros | cremosa | circular | 0.1 | 7.1 | 6.1 | ovoide | multipolar |
| QH61 | malbec | blanco | umbilicada | enteros | cerosa | circular | 0.5 | 4.8 | 2.85 | ovoide | bipolar |
| QH63 | malbec | blanco | umbilicada | enteros | cerosa | circular | 0.4 | 5.7 | 4.15 | ovoide | polar |
| QH65 | malbec | blanco | umbilicada | enteros | cremosa | circular | 0.2 | 5.8 | 3.2 | ovoide | polar |
| QH67 | malbec | crema | umbilicada | enteros | cerosa | circular | 0.5 | 5.5 | 4.1 | ovoide | polar |
| QHLC | malbec | blanco | convexa | rugoso | cerosa | circular | 0.6 | 6 | 4.5 | ovoide | multipolar |

Tabla 1. Características macro y microscópicas

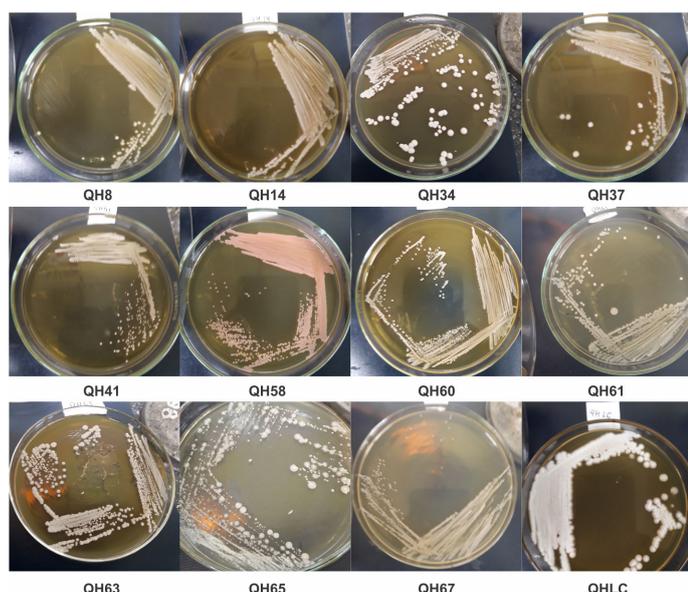


Figura 1. Morfología macroscópica de aislados estudiados

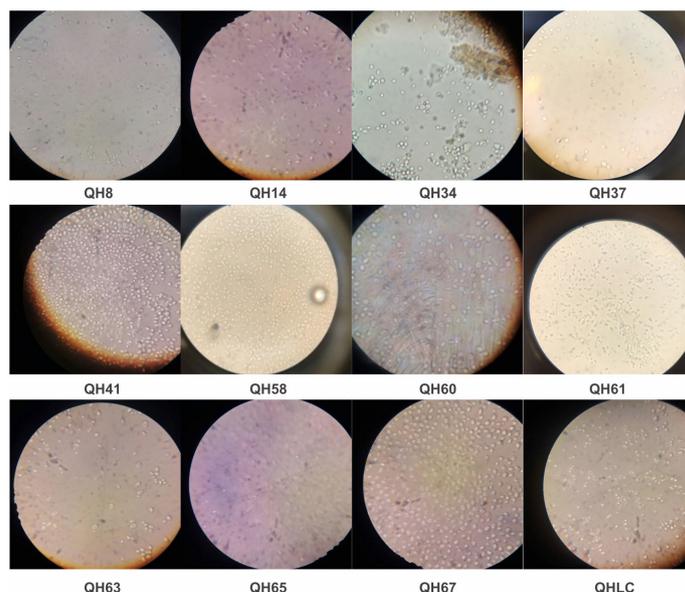


Figura 2. Morfología microscópica de aislados estudiados

Crecimiento en medio lisina:

El 83% de las cepas se diferenciaron como levaduras no-Saccharomyces. Los resultados obtenidos coinciden con (Jolly y otros, 2006) quien encontró que el grupo no-Saccharomyces predomina en el epicarpio de la uva, mientras que Saccharomyces prevalece preferentemente en ambiente de bodega.

Esporulación:

Las cepas estudiadas no presentaron esporulación. Estos resultados se pueden atribuir a que 10 cepas aisladas fueron diferenciadas en agar lisina como no- Saccharomyces.

Características Tecnológicas

Tolerancia al etanol:

De las 12 cepas analizadas: 2 cepas toleraron la concentración del 15% v/v de etanol, 4 cepas el 12% v/v de etanol, 3 cepas el 10% v/v de etanol y 3 cepas menos de 10% v/v de etanol. Las cepas analizadas presentaron en líneas generales, una alta tolerancia a la concentración de alcohol.

Poder de fermentación:

La pérdida de peso durante la fermentación tuvo comportamientos diferentes en función de la de la cepa, lo que se puede atribuir a la genética de las levaduras (Domizio y otros, 2011). Los valores obtenidos son acordes a lo reportado por

diversos autores (Soden y otros, 2000), dado que el promedio del poder fermentativo de las levaduras no Saccharomyces es aproximadamente de 4%. Por su parte la levadura QH61 produce un grado alcohólico mayor a 14% v/v, lo que se encuentra dentro de los parámetros que establece el Código Alimentario Argentino (C.A.A.) en su Artículo 1098 para vinos, siendo el mínimo de 12,5% v/v.

Cinética de fermentación:

Las cepas QH61 y QH34 demostraron una cinética de fermentación de arranque rápido, las cepas QH8 y QH 14 muestran una cinética de fermentación de arranque correcto y las restantes, cinéticas de fermentación con problemas de arranque.

Una correcta cinética de fermentación garantiza la ausencia de desprendimientos calóricos bruscos, en consecuencia, evitará elevaciones excesivas de temperatura que puedan provocar pérdidas aromáticas y disminución en la calidad del vino e incluso paradas fermentativas por muerte térmica de las levaduras. Además, permite reducir gastos innecesarios de energía en función de la refrigeración y garantizar que la cepa pueda finalizar correctamente la fermentación sin que en el vino permanezcan azúcares residuales. (Abad Arranz, 2006).

En el caso de no-Saccharomyces es importante garantizar que, en un tiempo determinado, las levaduras puedan producir altos niveles de compuestos aromáticos y enzimas que mejoren las

propiedades sensoriales de los vinos. (Cordente y otros, 2012).

Resistencia al anhídrido sulfuroso:

De las 12 levaduras aisladas: 1 cepa no toleró el anhídrido sulfuroso, 1 toleró 50 ppm, 2 toleraron 100 ppm y 8 toleraron la máxima concentración ensayada.

El sulfitado produce una esterilización parcial del mosto, permitiendo el control de microorganismos indeseables.

Las 75% de las cepas toleraron concentraciones por arriba de 100 ppm de anhídrido sulfuroso y se consideran eficientes para la elaboración de vinos tintos y blancos, ya que resisten la concentración mínima establecida para que la dosificación de anhídrido sulfuroso sea efectiva

Una levadura seleccionada, debe presentar alta tolerancia al anhídrido sulfuroso, dado que concentraciones elevadas de este compuesto retrasan el inicio de la fermentación (Ribéreau-Gayon, 2003) y en la vinificación se busca que las levaduras puedan producir metabolitos que favorezcan las propiedades del vino, antes de que su actividad se vea limitada por el aumento de etanol en el medio propiciado por el desarrollo dominante de *Saccharomyces*.

Formación de espuma:

Un 66% de las cepas presentaron una altura menor a 2 mm, un 16% altura entre 2-4 mm y un 16% altura superior a 4 mm. Estos resultados obtenidos son positivos, dado que una fermentación que produce un elevado nivel de espuma, puede provocar el desborde de las piletas, complicando las posteriores tareas de higiene (Valade, 2004).

El valor ideal para la selección de una levadura es que presente una altura menor a 2 mm (F0), pero en caso de que la cepa demuestre otras cualidades se podría tolerar un aumento de este valor hasta 4 mm (F1).

Formación de sustancias adherentes:

Un 50% de las cepas formaron una película en el tubo de ensayo que contenía 10 mL de mosto. La formación de películas, se asocia a la presencia levaduras oxidativas no-*Saccharomyces* lo que se representa en el porcentaje obtenido.

La formación de esta película es una característica no deseada, ya que pueden enturbiar o formar velos en los vinos o adherirse a las paredes de los tanques o piletas (Martínez y otros, 2001).

Formación de sedimento:

La totalidad de las muestras analizadas presentaron sedimento, lo que es una característica muy importante en la vinificación, el hecho de que los residuos se depositen en el fondo del recipiente facilita las tareas del proceso de clarificación. (García-Junco, 2001).

Fermentación de azúcares: glucosa y fructosa:

El 50% de las cepas presentaron mayor afinidad en el consumo de fructosa, lo que se evidenció por un mayor desprendimiento de CO₂ en el medio que contiene este azúcar como única fuente de carbono. Un 16% de las cepas no presentaron diferencias en el consumo entre uno y otro; mientras que el 33% restante presentó afinidad por la glucosa.

La mayoría de las cepas testeadas utilizaron la fructosa más rápidamente que la glucosa, lo que confirma el carácter fructofílico y, por lo tanto, podrían comportarse mejor en situaciones de estrés; por ejemplo, en fermentaciones detenidas con niveles elevados de fructosa. Contar con levaduras con preferencia en el consumo de fructosa evitaría fermentaciones lentas o detenidas, debido a su metabolismo dióxico.

Las cepas QH34 y QH61 utilizaron la glucosa más rápidamente que la fructosa lo que confirma el carácter glucofilico de las cepas *Saccharomyces*, el resultado obtenido coincide con el de (Berthels y otros, 2004) quienes también demostraron que comenzado el proceso de fermentación con cantidades iguales de los dos azúcares observaron la preferencia por la glucosa, en consecuencia, la presencia de levaduras glucofilicas es la causa de los elevados niveles de fructosa que quedan en los vinos con fermentaciones detenidas.

Características cualitativas

Actividad β -glucosidasa:

El 83% de las cepas presentó actividad β -glucosidasa. Es importante aclarar que los valores del pH del mosto de uva y del vino se encuentran en un rango de 2,8 a 3,5 en donde la actividad enzimática se disminuye en un 33% aproximadamente (Hernández y otros, 2003). Este resultado es positivo, dado a que se ha demostrado que a pesar de la baja capacidad fermentativa de las cepas no-*Saccharomyces*, estas pueden desarrollar compuestos aromáticos favorables como: acetato de feniletilo, acetato de isoamilo y terpenol, mejorando sustancialmente el perfil aromático del vino (Sadoudi

y otros, 2012).

En la misma línea es importante citar que la actividad β -glucosidasa contribuye a la hidrólisis enzimática de las proteínas presentes en las uvas, disminuyendo los componentes que dan lugar a la turbidez en mostos y vinos (Fernández y otros, 2000).

La actividad enzimática de interés biotecnológico ha sido estudiada en ocasiones anteriores (Domizio y otros, 2011, Torresi y otros, 2013) y la actividad β -glucosidasa ha sido asociada a cepas pertenecientes a la especie *Metschnikowia pulcherrima* (Liu y otros, 2016; Fernández y otros, 2000)

Formación de ácido a partir de glucosa:

De 12 cepas analizadas se obtuvo: 50 % con formación leve de ácido, 41% con formación media de ácido y 8 % con formación alta de ácido. La cantidad puede variar según: la cepa, las concentraciones de azúcar en el mosto y la temperatura de fermentación (Ribéreau-Gayon, 2003), por lo que es importante, elegir aquella que presente leve formación acida, ya que de lo contrario podría afectar las características sensoriales del vino. El ácido acético se vuelve desagradable a concentraciones cerca de su umbral de sabor de 0,7-1,1 gr/ L y por lo general valores entre 0,2 y 0,7 g / L, se consideran óptimos. Además, el índice máximo de acidez total, tiene límites legales de 0,8g/L expresados en ácido tartárico (Resolución INV N.º C-143/94) La cantidad de ácido formado desempeñan un rol fundamental en el equilibrio aromático del vino (Maturano 2015).

Producción de ácido sulfhídrico:

Las muestras analizadas, presentaron 50% trazas de H₂S y 50% de alta formación de H₂S.

Cuando un medio presenta una deficiencia en la fuente de nitrógeno asimilable (F.N.A.), las levaduras utilizan aminoácidos azufrados para sintetizar sus estructuras, liberando el grupo tiol correspondiente. Estas moléculas con grupos sulfuro, son los causantes del aroma a huevo podrido, plásticos, neumáticos. (Suarez-Lepe, 2004; Ribéreau-Gayon, 2003).

Diversos estudios han demostrado que siempre es conveniente elegir cepas que produzcan la cantidad mínima compuestos sulfurados (Swiegers, 2007).

Análisis de conglomerados

Se elaboró una matriz de similitud a partir de la cual se obtuvo el dendograma correspondiente (Figura N° 3)

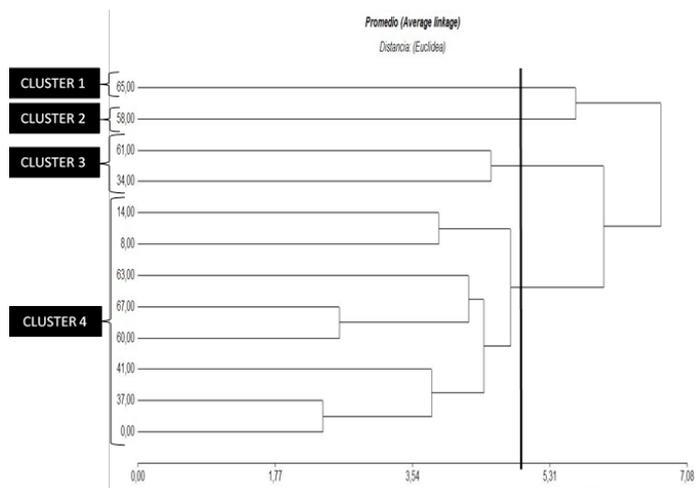


Figura 3. Dendograma

Mediante el análisis de conglomerados con distancia euclídea y enlace promedio (average linkage) fue posible agrupar las cepas en cuatro grupos. Posteriormente se realizó un análisis de cada 'cluster' para buscar aquellas cepas que se destaquen para poder ser utilizadas en fermentaciones vínicas. En la grafico N°1, se puede observar una distancia de corte de 5,11, en la cual se separan los cuatro grupos.

Las cepas de los 'clusters' N° 1 y 2 no presentaron propiedades enológicas suficientes para ser consideradas en este estudio.

Las cepas del 'cluster' N° 3 tienen en común, que presentan el poder de fermentación más alto de las cepas evaluadas (QH34=11,085%, QH61= 14,535%), pueden crecer a elevadas concentraciones de etanol, poseen una cinética fermentación correcta, sobre todo una gran afinidad por la glucosa, son capaces de crecer a 300 ppm de SO₂ y presentan ausencia de sustancias adherentes a las paredes del recipiente, lo que facilita las operaciones de limpieza y desinfección. Todas estas características se pueden atribuir a que fueron diferenciadas en agar lisina como levaduras del género *Saccharomyces*. Sin embargo, ambas cepas formaron de media a elevada concentración de ácido a partir de glucosa.

Las cepas del 'cluster' N° 4, tiene en general cinéticas fermentativas moderadas, gran tolerancia al anhídrido sulfuroso, una producción de alcohol potencial con promedio del 5%v/v. y mayor afinidad por la fructosa por lo que podrían comportarse mejor en situaciones de estrés; por ejemplo, en fermentaciones detenidas con niveles elevados de fructosa ya que las levaduras con preferencia en el consumo de fructosa evitan fermentaciones lentas o detenidas, debido a su metabolismo dióxico. Se puede observar características típicas de no-*Saccharomyces*.

Como puntos negativos presenta baja tolerancia al etanol, presencia de anillo y alta formación de Ácido acético.

CONCLUSIÓN

El estudio desarrollado, permitió concluir un análisis de las características tecnológicas y cualitativas de levaduras aisladas de uvas tintas pertenecientes a viñedos de Humahuaca.

De la muestra de cepas estudiadas en este trabajo, ninguna presentó todas las características enológicas deseadas para llevar a cabo una fermentación vínica. Sin embargo, la levadura no-*Saccharomyces* QH37 identificada como *Metschnikowia pulcherrima* fue la que más se asemejó a los criterios de selección (alta resistencia al anhídrido sulfuroso, baja producción de espuma, actividad β -glucosidasa y baja producción de compuestos sulfurados). Si bien no fue el objetivo de este estudio también fue de interés, el potencial de la levadura QH61 identificada como *Saccharomyces cerevisiae*. Ambas levaduras podrían ser utilizadas en fermentaciones co-inoculadas.

Finalmente, las levaduras seleccionadas a partir de una determinada zona de producción, podrían dar respuestas a la demanda del mercado actual, que busca vinos con identidad geográfica, aportando valor agregado a los vinos elaborados en la región de Humahuaca.

BIBLIOGRAFÍA

Abad Arranz, E. (2006). Selección de levaduras autóctonas para la elaboración de vinos tintos para bodegas y viñedos de Trujillo S.L. Madrid, España,

Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos.

Barnett, J. A.; Payne, R. W.; Yarrow, D. (2000). Yeast: characteristics and identification. 3er third edition. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.

Bely, M., Stoeckle, P., Masneuf Pomarède, I., Dubourdieu, D. (2008). Impact of mixed *Torulaspora delbrueckii*-*Saccharomyces cerevisiae* culture on high-sugar fermentation. International Journal of Food Microbiology 122: 312–320

Berthels, N. J.; Cordero Otero, R. R.; Bauer, F. F.; Thevelein, J. M.; Pretorius, I. S. (2004). Discrepancy in glucose and fructose utilisation during fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* wine yeast strains. FEMS Yeast Research 4:683–689.

Cordente, A.G., Curtin, C.D., Varela, C., Pretorius, I.S. (2012). Flavour-active wine yeasts. Appl. Microbiology Biotechnology 96 601–618

Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tolaba, M., Robledo, C. (2017). InfoStat version 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Cordoba. Version Electrónica para la web: <http://www.infostat.com.ar>

Domizio, P., Romani, C., Lencioni, L., Comitini, F., Gobbi, M., Mannazzu, I. (2011). Outlining a future for non-*Saccharomyces* yeasts: selection of putative spoilage wine strains to be used in association with *Saccharomyces cerevisiae* for grape juice fermentation. Int. J. Food Microbiology 147: 170–180.

Escott, C., Del Fresno, J., Loira, I., Morata, A., Tesfaye, W., González, M., Suarez-Lepe, J. (2017). Formation of polymeric pigments in red wines through sequential fermentation of flavanol-enriched musts with non-*Saccharomyces* yeasts. Food Chemistry 239: 975-983

Fernández, M., Úbeda J.F., Briones, A.I. (2000). Typing of non-*Saccharomyces* yeasts with enzymatic activities of interest in wine-making. International Journal of Food Microbiology 59: 29–36

García Junco, C. (2001). Estudio de distintos tiempos de maceración carbónica para la vinificación en tinto en tres variedades de vid (*V. vinifera* L.)

establecidas en el centro de la república mexicana. Tesis de maestría. Querétaro, México, Departamento de Ciencia y Tecnología De Alimentos, Universidad Autónoma De Querétaro”, pp 31-34

González, R., Quiro, M., Morales, P. (2013). Yeast respiration of sugars by non-*Saccharomyces* yeast species: A promising and barely explored approach to lowering alcohol content of wines. *Trends in Food Science and Technology* 29: 55 -61

Hernández, L.F.; Espinosa, J.C.; Fernández-González, M.; Briones, A. (2003) -Glucosidase activity in a *Saccharomyces cerevisiae* wine strain. *International Journal of Food Microbiology* 80: 171–176.

Jara, C., Laurie, V. F., Mas, A., Romero, J. (2016). Microbial Terroir in Chilean Valleys: Diversity of Non-Conventional Yeast. *Frontiers in Microbiology* 7 art.663

Jolly, N.P., Augustyn, O.P.H., Pretorius, I.S. (2006). The effect of non-*Saccharomyces* yeast on fermentation and wine quality. *South African Journal of Enology and vitiviniculture* 27: 15-39

Kurtzman, C.P.; Fell, J.W. (1998). PART IV Methods. En: “The Yeasts, A Taxonomic Study” Fourth edition. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Science B.V., pp, 75-107

Llanos, M. 2003. Selección y producción de levaduras vínicas. *La semana vitivinícola*. N° 2959, p1302-1308.

Liu Pei-Tong, Lu Lin, Duan Chang-Qing, Yan Guo-Liang (2016). The contribution of indigenous non-*Saccharomyces* wine yeast to improved aromatic quality of Cabernet Sauvignon wines by spontaneous fermentation. *Food Science and Technology* 71: 356-363

Martínez - Rodríguez, A., Alfonso, V., Carrascosa, J., Barcenilla, M., Pozo-Bayón, M. A., Polo, M. C. (2001). Autolytic capacity and foam analysis as additional criteria for the selection of yeast strains for sparkling wine production. *Food Microbiology* 18: 183-191.

Maturano, P., Assof, M., Fabani M.P., Nally, M.C., Jofre, V., Rodríguez Assaf, L.A., Toro, M.E., Castellanos de Figueroa, L., Vazquez, F.

(2015). Enzymatic activities produced by mixed *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* cultures: relationship with wine volatile composition. *Antonie van Leeuwenhoek* 108: 1239-1256

Nikolaou, E.; Soufleros, E.H.; Bouloumpasi, E.B., Tzanetakis, N. (2004). Selection of indigenous *Saccharomyces cerevisiae* strains according to their oenological characteristics and vinification results. *Food microbiology*. 23: 205-211.

Padilla, B., José V., Manzanares, G., Manzanares, P. (2016). Past and Future of Non-*Saccharomyces* Yeasts: From Spoilage Microorganisms to Biotechnological Tools for Improving Wine Aroma Complexity. *Frontiers in Microbiology*. 7 art. 411.

Ribéreau Gayon P.; (2003). *Microbiología del vino*. En:” *Tratado de enología*, Tomo 1, *Vinificaciones*”. Madrid. España, Mundi-Prensa, p. 655.

Sadoudi, M., Tourdot Maréchal, R., Rousseaux, S., Steyerd, D., Gallardo Chacón, J.J., Ballester, J., Vichi, S., Guérin Schneider, R., Caixach, J., Alexandre, H. (2012). Yeast–yeast interactions revealed by aromatic profile analysis of sauvignon blanc wine fermented by single or co-culture of non-*Saccharomyces* and *Saccharomyces* yeasts. *Food Microbiology* 32: 243–253.

Soden, A., Francis, I. L., Oakey, H., Henschke, P. A. (2000). Effects of co-fermentation with *Candida stellata* and *Saccharomyces cerevisiae* on the aroma and composition of Chardonnay wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6: 21–30.

Suárez Lepe, J.A. (2004). *Microbiología Enológica: Fundamentos de Vinificación*. Tercera Edición. Barcelona, España, Mundi-Prensa.

Swiegers J. H.; Pretorius I. S. (2007). Modulation of volatile sulfur compounds by wine yeast. *Applied Microbiology Biotechnology* 74: 954–960.

Torresi, S., Frangipane, M.T., Garzillo A.M.V., Massantini, R., Contini, M. (2013). Effects of a β -glucanase enzymatic preparation on yeast lysis during aging of traditional sparkling wines. *Food Science and Technology* 55: 83-92.

Valade, M. (2004). Las levaduras seleccionadas, aliadas en el control de la calidad del vino. *La semana vitivinícola* 308 3038-3040.

Varela, C. F., Sengler, M., Solomon, C., Curtin, M. (2016). Volatile flavour profile of reduced alcohol wines fermented with the non-conventional yeast species *Metschnikowia pulcherrima* and *Saccharomyces uvarum*. *Food Chemistry* 209: 57–64.

PRIMEROS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE MIELES PRODUCIDAS EN LA QUEBRADA DE HUMAHUACA, JUJUY, ARGENTINA

FIRST RESULTS OF THE PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF HONEYS PRODUCED IN THE QUEBRADA DE HUMAHUACA, JUJUY ARGENTINA

Colqui, R. A.¹; Rozo, V. F.¹; Velásquez, D. L.¹; Sánchez, A. C.¹

RESUMEN

La apicultura en la Quebrada de Humahuaca es una actividad poco desarrollada, pero está tomando mayor relevancia como complementaria a la producción agrícola local. El objetivo de este trabajo fue caracterizar fisicoquímicamente las mieles del grupo apícola Flor de Muña Muña, que incluyen al 78% de los apicultores de la Quebrada de Humahuaca, con la finalidad de aportar datos útiles a la tipificación y comercialización de las mieles. Se determinó según metodología estándar el pH, acidez libre, conductividad eléctrica, contenido de humedad, hidroximetilfurfural y actividad diastásica, en seis muestras de miel, periodo apícola 2016-2017. Se encontró los siguientes valores promedio: pH 3,97; acidez libre 30 meq/kg de miel; conductividad eléctrica 0,687 mS/cm; el contenido de humedad 18,9%. hidroximetilfurfural con rango de 11 a 20 mg/Kg de miel e índice de diastasa de 5,04 a 45,53 en promedio. Los resultados obtenidos son los primeros antecedentes publicados en mieles de la región estudiada. Se diferencian fisicoquímicamente de mieles de otras regiones de la provincia, en cuanto al pH y acidez libre. La heterogeneidad en los valores hallados, demuestran la influencia de la diversidad de fuentes de néctar que visitan las abejas para elaborar las mieles de la Quebrada de Humahuaca. Estos valores se encuentran dentro de lo que establece la legislación vigente.

Palabras clave: Miel. Análisis fisicoquímico. Quebrada de Humahuaca.

SUMMARY

Beekeeping in the Quebrada de Humahuaca is an undeveloped activity, but it is becoming more relevant as a complementary activity to local agricultural production. The objective of this study was to physicochemically characterize the honeys of the Muña Muña flower beekeeping group, which includes 78% of the Quebrada de Humahuaca beekeepers, in order to provide useful data for the typification and commercialization of honeys. The pH, free acidity, electrical conductivity, moisture content, hydroxymethylfurfural and diastatic activity were determined, according to standard methodology, in six honey samples, 2016-2017 beekeeping period. The following average values were found: pH 3.97; free acidity 30 meq / kg of honey; electrical conductivity 0.687 mS / cm; moisture content 18.9%, hydroxymethylfurfural with a honey range of 11 to 20 mg / Kg and a diastase index of 5.04

to 45.53 on average. The results obtained are the first published antecedents about honeys from the region studied. They differ physicochemically from honeys from other regions of the province, in terms of pH and free acidity. The heterogeneity in the found values, demonstrate the influence of the diversity of nectar sources visited by bees to make the honeys of the Quebrada de Humahuaca. These values are within what is established by current legislation.

Keywords: Honey. Physicochemical analysis. Quebrada de Humahuaca.

INTRODUCCIÓN

La Argentina ocupa un lugar importante a nivel mundial en la producción y exportación de miel. Destina más del 95% de la producción al mercado externo. Según la estadística de la última década, ocupa el segundo lugar en producción mundial y en volumen de exportación, y el primer lugar en ingresos de divisas por exportaciones de miel (SENASA, 2019), obteniendo volúmenes de exportación de miel de 70.500 Tn promedio en los últimos dos años (INTA, 2019). En el país la cadena apícola sostiene a casi 100 mil familias, entre productores y otros actores vinculados a la comercialización de estos productos e insumos, y representa una de las actividades principales para la agricultura familiar y las economías regionales. Actualmente, unos 25 mil productores apícolas trabajan con alrededor de 3 millones de colmenas, casi el 50% se ubican en la provincia de Buenos Aires, otro 35% se reparte en las provincias de Córdoba, Santa Fe, La Pampa y Entre Ríos y el 15% restante se distribuye en el resto del territorio nacional (SENASA, 2017). Debido a que las mieles no suelen proceder de una sola planta sino de un grupo de estas, sumado a que en la colmena se mezcla lo recogido en el día junto a la reserva ya existente, y que es lo que finalmente se cosecha, debemos establecer la calidad de este producto, como su tipificación de acuerdo con el hábitat donde se produce, y de esta manera asegurar un producto genuino al consumidor y a los mercados que se exportan.

La provincia de Jujuy se caracteriza por la presencia de la Agricultura familiar en su estructura agraria, siendo baja en superficie, pero sobresaliente en cuanto a cantidad de explotaciones agropecuarias (MAGyP, 2012). La actividad apícola, que aún no ha sido fuertemente desarrollada en la Quebrada

de Humahuaca, cuenta con apicultores que no tienen gran cantidad de colmenas, generalmente son agricultores familiares que crían abejas paralelamente a la producción agrícola habitual, y si bien se está teniendo continuidad en los últimos años, los apicultores de la zona tienen dificultades en la comercialización, lo que se distribuye en el mercado local, venta al menudeo y/o para consumo familiar (Colqui y otros, 2017). El objetivo de este trabajo fue caracterizar los parámetros fisicoquímicos de muestras de mieles de la Quebrada de Humahuaca, Jujuy, con los fines de aportar datos útiles a los productores de la zona para la comercialización de la miel, estableciendo descripciones correctas que se puedan utilizar sobre las etiquetas, para proteger e instaurar una certificación de origen, teniendo en cuenta las excelentes y apreciadas características sensoriales de las mieles que derivan de la vegetación nativa del lugar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Quebrada de Humahuaca (Fig. 1) se encuentra en el ámbito de la Cordillera Oriental, depresión intermontana. Es un valle seco, extenso y profundo desarrollado en dirección meridional con fuerte pendiente. Se desarrolla entre los 2000/2300 a 3000/3400 msnm. El clima es seco y cálido, con lluvias de 150 mm/año (60 - 70% estival). La cubierta vegetal corresponde a una estepa-matorral Prepuneña que cubren en el ámbito de la Cordillera Oriental, con comunidades vegetales xerofíticas, con arbustos bajos, cardones (*Trichocereus* spp.), bosquecillos, matorrales y especies arbóreas como: *Prosopis ferox* (Churqui), *Acacia visco* (visco), *Schinus areira* (molle), así como cojines de Bromeliáceas (Braun Wilke, 2013).

Para el desarrollo de este trabajo se contó con la colaboración del grupo apícola Flor de Muña Muña, integrado por productores pertenecientes a la Organización Red Puna y Quebrada, representante en la provincia de Jujuy del Movimiento Nacional Campesino Indígena. Los integrantes del grupo

proviene de las localidades de Humahuaca, El Hornocal, Ocumazo, San Roque en El Antigal y El Morado, Cianzo en El Zenta y El Churcal de Tilcara (Colqui y otros, 2017).

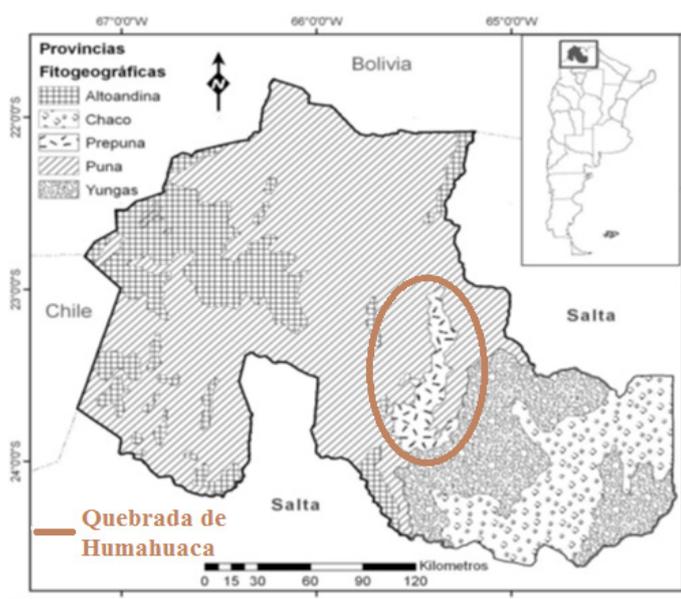


Figura 1. Provincias fitogeográficas de la Provincia de Jujuy. Adaptada de Cabrera (1976-1978).

Toma de Muestra

Se utilizaron seis muestras de mieles seleccionadas al azar de los distintos apiarios mencionados anteriormente (Tabla 1; Fig. 2). Las cosechas se realizaron en los meses de enero a mayo del año 2016. Se recogieron en envases de vidrio y plástico

de 500 g, se rotularon y enviaron al laboratorio para realizar los análisis correspondientes.

| Número de muestra | Localidad |
|-------------------|-------------------------------------|
| M1 | Tilcara, El Churcal |
| M2 | Humahuaca, San Roque 1 - El Antigal |
| M3 | Humahuaca, San Roque 2 - El Morado |
| M4 | Humahuaca, El Hornocal |
| M5 | Humahuaca, Santa Rosa |
| M6 | Humahuaca, Ocumazo |

Tabla 1. Identificación de las muestras de miel de la Quebrada de Humahuaca.



Figura 2. Muestras de mieles de la Quebrada de Humahuaca para análisis fisicoquímico.

Ensayos fisicoquímicos

Determinación de pH:

Según NORMA IRAM 15938:1995. Se pesó 10 g de miel en un vaso de precipitación y disolvió con porciones de agua, hasta completar 100 mL. Se sumergió el electrodo del pH-metro ALTRONIX en la solución preparada y se leyó el valor del pH asegurando el 0,1 y a 20° C, antes de proceder se calibró el pH-metro usando soluciones buffer de pH 4 y 7.

Determinación de acidez libre:

Por método de Bianchi (1990). Se pesó 10 g de miel y disolvió en 75 mL de agua destilada para luego titular la muestra de ensayo con solución de hidróxido 0,1 N, utilizando como indicador, la fenolftaleína, hasta alcanzar el punto final.

Determinación de la conductividad eléctrica:

Por método de Maidana (2005). Se pesan 20 g de miel y se disuelven con agua bidestilada hasta alcanzar el volumen en un matraz aforado de 100 mL. Se coloca la solución en un vaso de precipitación y se introduce el electrodo para leer el valor de la conductancia de la solución, en μS .

Determinación del contenido de humedad:

Por refractometría, método indirecto. Las mieles cristalizadas tuvieron una preparación previa, donde se colocó una pequeña cantidad en un tubo de ensayo taponado y se calentó a baño de agua sin sobrepasar los 50° C hasta la disolución de los cristales. Luego se invirtió suavemente el tubo de ensayo tres veces y se dejó enfriar a temperatura ambiente tapado, estando listas para la medición. Las mieles líquidas se pueden medir directamente, donde se colocó con una varilla de vidrio una o dos gotas de miel entre los prismas del refractómetro tipo Abbe,

Luego se realizó la lectura en escala graduada en grados Brix a 20° C, determinando el contenido de humedad mediante la tabla de Chataway (1932).

Determinación del contenido de Hidroximetilfurfural (HMF):

Por método cualitativo de Fiehé, modificado por Bianchi-Maidana (Maidana, 2003). Se pesan 2 g de miel en un vaso de precipitación y se agregan 7 mL de éter etílico, mezclando con una varilla de vidrio sin interrupciones durante 5 minutos. Luego se transfiere la solución etérea a un tubo de ensayo y agregan 2 mL de solución de resorcina al 1% en ácido clorhídrico, recién preparada, se deja en reposo en un lugar oscuro durante 10 minutos, cumplido el tiempo se mezcla por inversión el tubo, se esperó 20 segundos para estabilizar el color y se comparó con la Tabla de colores (Fig. 3.e).

Determinación de la actividad de la diastasa:

Según método de Bianchi (1990). En principio se prepara la muestra en un vaso de precipitación, mezclando 2 g de miel y 1 mL de solución buffer 5,3. Se coloca en una gradilla 10 tubos de ensayo y se agregó a cada uno 1 mL de solución de cloruro de sodio al 1%. Al primer tubo se le agrega 1 mL de muestra preparada y se mezcló por aspiración y expulsión con una pipeta, pasando luego 1 mL del primer tubo al segundo, mezclando y continuando así hasta el noveno tubo desechando el último mL, dejando el décimo tubo como testigo.

Después se colocó a cada tubo 1 mL de solución de almidón 0,050% e incubó durante 30 minutos a 37° C. Pasado el tiempo se retiró, enfrió rápidamente y colocó una gota de solución de trabajo a cada tubo y se agitó cada tubo antes de observar su coloración. Se toma el valor del último tubo incoloro y se lo multiplica por 2, a partir de este valor se calculó en la tabla de correlación entre U.D. del Método de Bianchi

y el Índice de Diastasa (I.D.) que corresponde al número de la Escala Gothe.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | ACIDEZ (meq/kg) | pH | HUMEDAD (%) | CONDUCTIV. (mS/cm) | DIASTASA (I.D.) * | HMF (mg/kg) |
|-----------------|-----------------|------|-------------|--------------------|-------------------|-------------|
| M1 | 29 | 3,4 | 21 | 0,347 | 5,04 | 11 – 20 |
| M2 | 21,5 | 3,26 | 19,2 | 0,292 | 45,53 | 11 – 20 |
| M3 | 31 | 4,34 | 21 | 0,732 | 18,8 | 11 – 20 |
| M4 | 21 | 3,96 | 18,2 | 0,361 | 18,8 | 11 – 20 |
| M5 | 38 | 4,82 | 17 | 1,53 | 45,53 | 11 – 20 |
| M6 | 39,5 | 4,04 | 17,2 | 0,858 | 7,69 | 11 – 20 |
| PROMEDIO | 30 | 3,97 | 18,93 | 0,687 | 23,56 | |
| MÍNIMO | 21 | 3,26 | 17 | 0,292 | 5,04 | |
| MÁXIMO | 39,5 | 4,82 | 21 | 1,53 | 45,53 | |

* Codex Alimentarius, Bogdanov y otros (2004)

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras de miel de la Quebrada de Humahuaca.

De acuerdo a los valores de pH obtenidos en las mieles de la Quebrada de Humahuaca (Tabla 2; Fig. 3.a), se ajustan a los valores de referencia para mieles en general, de 3,5 – 5,5 (Codex Alimentarius, 1981; Bogdanov y otros, 2004). El valor promedio de pH de las mieles fue de 3,97, más ácidas que las mieles de los Valles y las Yungas de la provincia (Ríos y otros, 2014). La muestra M2 se halló como la más ácida y M5 la muestra menos ácida. Según lo establecido para diferenciar entre mieles de flores y de mielada (NORMA IRAM 15938; Bogdanov y otros, 2004; Bogdanov y otros, 2007), se puede considerar que son mieles de origen floral, a excepción de M5, sugiriendo un ingreso de néctar extra floral.

Los valores de acidez libre de las mieles de la Quebrada de Humahuaca (Tabla 2; Fig. 3.b) cumplen con los límites de calidad exigidos por la legislación nacional (C.A.A., Art. 783), mostrando gran amplitud. Observando en las muestras M5 y M6 valores muy cercanos al límite establecido por la legislación vigente. En promedio se obtuvo un valor de acidez libre mayor a los hallados en mieles de los Valles y las Yungas de Jujuy (Ríos y otros, 2014). Este valor elevado de acidez libre, en parte se puede explicar debido a la influencia de los componentes de mieladas en las mieles (M5 y M6), este tipo de mieles generalmente presentan un contenido de acidez libre

elevado sin manifestar riesgos de alteración en su almacenamiento (Montserrat González, 2002).

Se obtuvieron contenidos de humedad (Tabla 2; Fig. 3.d) en las muestras M1 y M3 que superaron el límite establecido por el Código Alimentario Argentino. Con un valor promedio por encima del estipulado por el C.A.A. (Art. 783), pero inferior al recomendado por el Reglamento Técnico Mercosur (G.M.C., Resol. N° 15/94) y el Codex Alimentarius (1981). Se coincide con Maidana y otros (2008) y Soto Vargas (2008), quienes explican que el alto contenido de humedad de las mieles en parte es debido a los factores que determinan su composición, como así también, influye el manejo de algunos apicultores, que realizan la cosecha de las mieles antes de haber sido completamente operculadas por las abejas en el interior de la colmena.

Comparando los valores de las mieles de la Quebrada de Humahuaca con los resultados obtenidos por Ríos y otros (2014), las primeras presentan un valor mayor. El contenido por encima del estipulado por la legislación (C.A.A., Art. 783), puede ser excepcional de la cosecha de miel con la que se trabajó, no siendo indicador del origen geográfico, coincidiendo con lo señalado por Acquarone (2004) que tiene en cuenta la influencia de otros factores en

la medición de este parámetro.

El valor promedio de conductividad eléctrica obtenido de las muestras de mieles (Tabla 2; Fig. 3.c) se halló cercano al límite establecido para diferenciar las mieles de flores y de mielada (Bogdanov y otros, 2004; Codex Alimentarius). De acuerdo con los valores obtenidos, las mieles de la Quebrada de Humahuaca en su mayoría son mieles provenientes de flores. Se destacan M5 y M6 que presentan valores superiores al valor de referencia, por lo que se puede deducir que en estas muestras hay componentes de mieladas que influyen en los valores medidos.

Según los valores obtenidos para el Índice de diastasa (Tabla 2; Fig. 3.f), se destacan M1 y M6 que mostraron bajos contenidos de diastasa. Los múltiples valores hallados pueden deberse a factores como el tiempo de colecta del néctar, su abundancia y el contenido de azúcar, la edad de las abejas y el contenido de polen (Bogdanov y otros, 2004; Serrano y otros, 2007). Las mieles provenientes de la Quebrada de Humahuaca (5,04 a 45,53), en su mayoría multiflorales, en promedio mostraron rangos de valores del I. D. más amplios que los hallados por Tosi y otros (2008) en mieles multiflorales de Santa

Fe (11,2 a 25,8).

El contenido de HMF de las mieles de la Quebrada de Humahuaca (Tabla 2; Fig. 3.e) determinado se encuentra en el rango de 11 – 20 mg/Kg de miel, según la escala de colores utilizada, cumpliendo con lo exigido por la legislación vigente (<40 mg/Kg) (C.A.A., Art. 783; G.M.C. Resol. N° 15/94; Codex Alimentarius, 1981).

De acuerdo a la legislación vigente (C.A.A., Art. 783; Codex Alimentarius, 1981), que relaciona el índice de diastasa de la miel junto al contenido de HMF, en las muestras provenientes de El Churcal (M1) y Ocumazo (M6) que presentaron valores de I. D. inferiores a 8, no se puede afirmar precisamente si se aplicaron tratamiento térmico o un tuvieron almacenamiento prolongado, debido a que se determinaron por métodos semi cualitativos ambos parámetros.

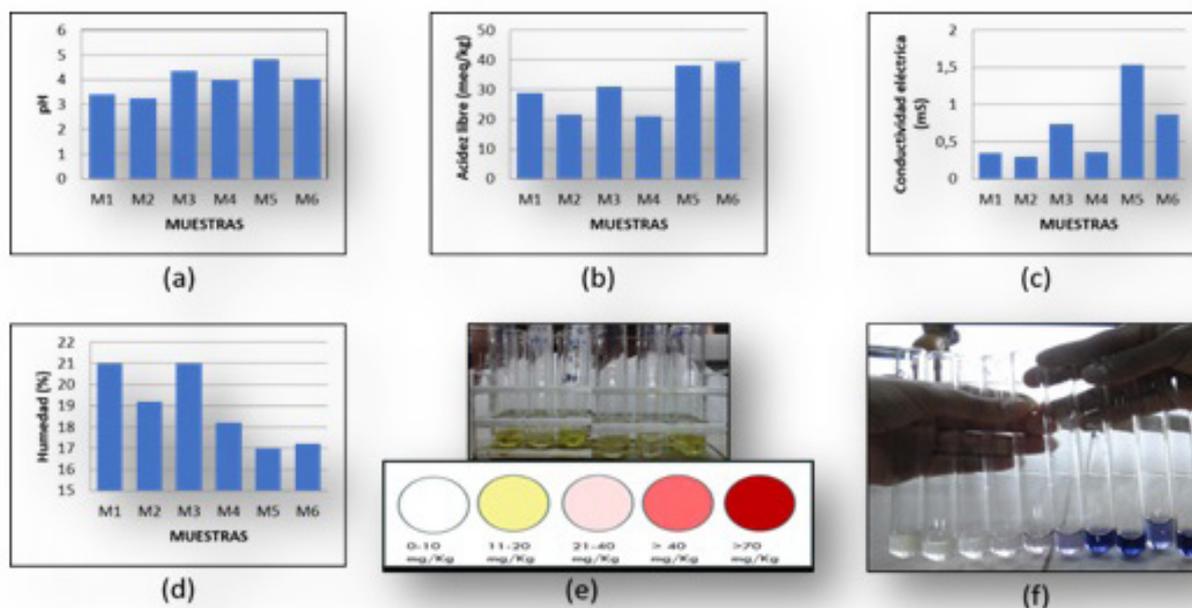


Figura 3. Valores obtenidos en las muestras de miel de la Quebrada de Humahuaca; (a) Valores de pH; (b) Valores de acidez libre; (c) Valores de conductividad eléctrica; (d) Valores de humedad; (e) Coloración de los tubos de ensayo y Tabla de colores para HMF; (f) Determinación de I.D. de una muestra para la actividad de la diastasa.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos son los primeros antecedentes publicados de la región estudiada, valores que podrán utilizarse como referencia para futuras investigaciones.

En comparación son mieles de otras regiones de la provincia donde se práctica la apicultura, se diferencian fisicoquímicamente en cuanto al valor de pH y la acidez libre.

Es de destacar la heterogeneidad de los valores obtenidos de conductividad eléctrica, acidez libre y actividad de la diástasa, lo que se justifica por la influencia de la diversidad de fuentes de néctar floral como extra floral que utiliza las abejas para elaborar las mieles.

Los valores hallados se encuentran dentro de lo exigido por la legislación vigente, a excepción del contenido de humedad, influenciado por el manejo de los apicultores.

BIBLIOGRAFÍA

- Acquarone, C.A., 2004. Parámetros fisicoquímicos de mieles, relación entre los mismos y su aplicación potencial para la determinación del origen botánico y/o geográfico de las mieles de Argentina. Tesina de Grado. Facultad de Ciencias Exactas y Ciencias Naturales. Universidad de Belgrano. Argentina.
- Bianchi, E.M. & Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1990. Control de calidad de la miel y la cera. Roma: FAO.
- Bogdanov, S., Martin, P. & C. Lüllmann, 1997. Harmonized Methods of the European Honey Commission. *Apidologie*. 1 – 59.
- Bogdanov, S., Rouff, K. & L. Persano Oddo, 2004. Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review. *Apidologie*. 35 (1): 4 – 17.
- Bogdanov, S., Haldimann, M., Luginbühl, W. & P. Gallman, 2007. Mineral in honeys: Environmental, geographical and botanical aspect. *Journal of Apicultural Research and Bee World*. 46 (4): 269 – 275.
- Braun Wilke, R. H., 2013. Carta de aptitud ambiental de la provincia de Jujuy. *EdiUnju*. Argentina.
- Colqui, R.A., Rozo, V.F., Velásquez, D.L. & A.C. Sánchez, 2017. Avance en la caracterización de mieles del grupo Flor de Muña Muña, Cambio rural II. Quebrada de Humahuaca. Jujuy. Argentina. I Jornadas Argentinas sobre Etnobiología y Sociedad “Compartiendo Caminos”. Humahuaca. Jujuy.
- Codex Alimentarius (FAO-WHO), 1981. Norma para la miel. Codex STAN-12.
- C.A.A. Código Alimentario Argentino. Capítulo X – Alimentos azucarados. Actualizado al 11/2018. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat-capitulo_x_azucaradosactualiz_2018-11.pdf. Último acceso: 05 mayo 2019.
- Gómez Pajuelo, A., 2004. Mieles de España y Portugal – Conocimiento y Cata. Montagud Editores. España.
- Grupo Mercado Común, 1994. Resolución Mercosur sobre Miel – Identidad y calidad de la miel Mercosur. Res. N° 15/94 (Incorporada por Resolución MSyAS 3 del 11.01.95).
- INDEC, 2002. Censo Nacional Agropecuario. Argentina.
- INTA, 2019. Página oficial de INTA. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/consulta-de-exportaciones-por-pais-destino>. Último acceso: 05 mayo 2019.
- IRAM, Norma: 15929:1994. Miel, Muestro.
- IRAM, Norma: 15938:1995. Miel, Determinación de pH.
- MAGyP, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, 2012. Estrategia provincial para el sector agropecuario. Programa de Servicios Agrícolas. Resolución del Ministerio de Producción N° 156/2012. Argentina.
- Maidana. J.F., 2003. Control de la Calidad de la Miel y Propóleo. CEDIA, Centro de Investigaciones Apícolas. Facultad de Agronomía y Agroindustria.

Universidad de Santiago del Estero. Argentina.

Maidana, J.F., 2005. La Miel, Características y composición, Análisis y Adulteración. CEDIA, Centro de Investigaciones Apícolas. Facultad de Agronomía y Agroindustria. Universidad de Santiago del Estero. Argentina.

Maidana, J.F., Herrera, H., Rojas, A., Mazzola, M., Fontanellaz, R. y M. Rodríguez, 2008. Determinación de características fisicoquímicas de mieles de Santiago del Estero. CEDIA, Centro de Investigaciones Apícolas. Facultad de Agronomía y Agroindustria. Universidad de Santiago del Estero. Argentina.

Montserrat González, M., 2002. El origen, la calidad y la frescura de la Miel. La interpretación de un análisis. En De Lorenzo y otros, 2002. La Miel de Madrid. Madrid. España. Madridinnova. 47 – 72.

Ríos, F., Sánchez, A. C., Lobo, M., Lupo, Coelho, I., Castanheira, I. & N. Samman, 2014. A Chemometric Approach: Characterization of quality and authenticity of artisanal honeys from Argentina. *Journal Chemometrics*.

SENASA, 2017. Página oficial de SENASA. Disponible en: <http://www.senasa.gob.ar/senasa-comunica/noticias/miel-argentina-de-alta-calidad-endulza-al-mundo>. Último acceso: 03 octubre 2017.

SENASA, 2019. Página oficial de SENASA. Disponible en: <http://www.senasa.gob.ar/cadena-animal/abejas>. Último acceso: 05 mayo 2019.

Serrano, S., Espejo, R. & M. Jodral Villarejo, 2007. Diastase and invertase activities in Andalusian honeys. *International Journal of Food Science and Technology*. 42 (1): 76 – 79.

Soto Vargas, C.E., 2008. Estudio de las mieles monoflorales a través de análisis palinológico, físico, químico y sensorial. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile.

Tosi, E., Martinet, R., Ortega, M., Lucero, H. & E. Ré, 2008. Honey diastase activity modified by Heating. *Food Chemistry*. 106: 883 – 887.

EFFECTO INHIBITORIO DE LEVADURAS *Trichosporon* spp. FRENTE A DIFERENTES CEPAS DE *Ascosphaera apis*, PROVENIENTES DE ESPAÑA Y PROVINCIAS ARGENTINAS

INHIBITORY EFFECT OF *Trichosporon* spp. YEASTS IN THE PRESENCE OF DIFFERENT STRAINS *Ascosphaera apis*, FROM SPAIN AND ARGENTINIAN PROVINCES

Ramos A. C.¹; Tejerina M. R.¹; Benitez Ahrendts M. R.¹

RESUMEN

La cría yesificada es una enfermedad causada por *Ascosphaera apis*. Afecta a larvas de abejas melíferas, causando pérdidas económicas en el sur de Argentina y otros países. El objetivo de este trabajo fue evaluar dos cepas de *Trichosporon* spp., frente a *A. apis*. Las levaduras fueron aisladas de intestino de abejas, y de superficie de *Varroas destructor* del apiario Severino (El Carmen) en medio Polen y MEA líquido, para evaluar su crecimiento. Se trabajó con cuatro cepas de *A. apis* provenientes de: Ciudad Real (España), Entre Ríos, Misiones y Jujuy; se realizaron suspensiones celulares de levaduras a concentraciones de 10^3 UFC/ml y se sembró 20µl en posillos en placas con Medio Agar-Polen, con explantes del patógeno. Los cultivos se incubaron a 30°C, en microaerofilia por 10 días. Se midieron los diámetros y se registró la presencia de esporulación de las cepas de *A. apis*. Las levaduras registraron un aumento de concentración en Medio Polen y no así en MEA. Además, lograron inhibir el crecimiento de las cepas de *A. apis*, siendo más efectiva la cepa aislada del intestino de abeja. Sin embargo, ambas levaduras podrían ser utilizadas como agentes biocontroladores.

Palabras claves: Abejas melíferas. *Ascosphaera apis*. Biocontrol. *Trichosporon* spp.

SUMMARY

Chalkbrood disease is caused by *Ascosphaera apis*, It affects honeybee larvae causing economic losses in southern Argentina and other countries. The objective of this study was to evaluate two strains of *Trichosporon* spp., versus *A. apis*. The yeasts were isolated from bees intestine, and from the *Varroas destructor* surface from the Severino apiary (El Carmen) in Pollen Medium and liquid MEA, to evaluate its growth. Four strains of *A. apis* from: Ciudad Real (Spain), Entre Ríos, Misiones and Jujuy were used; yeast cell suspensions were made at concentrations of 10^3 CFU / ml and 20µl was sown in dishes on plates with Agar-pollen Medium, with pathogen explants. The cultures were incubated at 30 ° C, in microaerophilia for 10 days. The diameters were measured and the presence of strains sporulation of *A. apis* was recorded. The yeasts recorded an increase in concentration in Pollen Medium and not in MEA. In addition, they were able to inhibit *A. apis* strains growth, being the isolated strain of the bee intestine more effective. However, both yeasts could be used as biocontrol agents.

Keywords: *Ascosphaera apis*. Biocontrol. Honeybee. *Trichosporon* spp.

INTRODUCCIÓN

La cría yesificada es una enfermedad de origen fúngico causada por *Ascophaera apis*, que afecta a larvas de abejas melíferas, causando pérdidas económicas en el sur de Argentina y otros países. El hongo invade a su huésped superando su sistema inmune (Albo y Reynaldi, 2010; Aronstein y Murray, 2010; Jensen y col, 2015), reduciendo de manera sustancial la cantidad de abejas y muerte de la colmena. Las larvas ingieren las esporas de *A. apis* junto con el alimento suministrado por las nodrizas (Reynaldi y col, 2003, 2004). Una vez que la spora ha germinado en el intestino, las hifas atraviesan la pared intestinal, y se extienden por todo el cuerpo, apareciendo en la superficie corporal cuando la larva alcanza la fase de pre-pupa. En esta superficie se desarrollan los cuerpos fructíferos, que producirán una nueva generación de esporas (Padilla y col, 2014). Las larvas enfermas están cubiertas por un moho blanco esponjoso, convirtiéndose posteriormente en momias de color gris oscuro o negro (Reynaldi y col, 2003).

Existen microorganismos asociados a las abejas melíferas y a sus alimentos, incluyendo bacterias, mohos y levaduras (Gilliam, 1997), de las cuales, algunas podrían producir sustancias antimicóticas y otras sustancias inhibitorias que contribuyan al control de diversas enfermedades.

La asociación entre levaduras e insectos han sido extensamente reportadas en varios trabajos durante las últimas tres décadas (Batra y col, 1973; Shandu y Waraich 1985; Lachance y otros, 1990; Hagler y otros, 1993; Lachance y col, 1998; Lachance y col, 2001; Teixeira y col, 2003; Zacchi y Vaughan-Martini 2003; Lachance y col, 2005; De Vega y col, 2009; Unal y otros, 2009; Basukriadi y col, 2010). Siendo las levaduras (solas o en asociación con bacterias), los colonizadores pioneros durante la sucesión microbiana en células larvales de muchas abejas (Batra y col, 1973). Además, es importante rescatar el antagonismo que presentan las levaduras frente a diversos microorganismos, el cual se atribuye en principio a: (1) competencia por nutrientes; (2) cambios de pH en el medio; (3) producción de altas concentraciones de etanol; (4) secreción de compuestos antimicrobianos (Hatoum y col, 2012; Benítez-Ahrendts y Carrillo, 2017).

Este artículo evaluará dos cepas de levaduras del

género *Trichosporon* spp., con potencial capacidad para controlar *A. apis*, una aislada de intestino de abeja y la otra de *Varroa destructor*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Microorganismos

Se trabajó con dos cepas de levaduras del género *Trichosporon* spp.: las levaduras fueron aisladas del intestino de abejas (identificada con el número 3), y de la superficie de *Varroa destructor* (representada por el número 1), pertenecientes al apiario Severino (El Carmen, Jujuy), en medio extracto de Malta y agar, también conocido como medio MEA (extracto de malta 2 g, peptona 0,1 g, glucosa 2 g, agar 2 g, agua 100 ml, pH 5,6).

Se trabajó con cuatro cepas de *A. apis*, cada una ya identificada genéticamente: una cepa de *A. apis* española (KX622166), una cepa de *A. apis* procedente de la provincia de Entre Ríos (MH633695), otra proveniente de Misiones (MH633694) y una última cepa de Jujuy (MH633693). Todas pertenecientes al Laboratorio de Sanidad Apícola, Facultad de Ciencias Agrarias-UNJu.

Las levaduras se cultivaron en 2 medios de cultivo: Agar-Polen (polen macerado 3 g, agar 2 g, agua 100 ml, pH 5) y medio MEA, para evaluar su potencial de crecimiento.

Ensayo de inhibición

Primeramente se realizaron ensayos para comprobar el efecto inhibitorio de ambas cepas *Trichosporon* spp. frente a *A. apis* Española, Entrerriana, Misionera y Jujeña. Para esto, se realizaron suspensiones celulares (SC) de levadura a una concentración de 103UFC/mL en medio polen líquido y se sembró 20µL en posillos en placas con medio Agar-Polen, con los explantes correspondientes de *A. apis* colocados en el centro de las placas. También se realizaron pruebas de inhibición mediante la técnica de barrera sembrando dos líneas paralelas de levaduras y el explante del entomopatógeno en el centro. Se realizaron placas controles con cada una de las cepas, y cada ensayo fue realizado por duplicado utilizando Medio Agar-Polen.

Todos los cultivos fueron incubados a 30°C, bajo condiciones de microaerofilia por un lapso de 10 días. Después de este período, se midieron los diámetros y se registró la presencia de esporulación de las cepas de *A. apis*.

Análisis estadístico

Los resultados de inhibición fueron expresados como Media \pm Desvío Estándar de los grupos control y de los tratamientos. El análisis estadístico de los resultados se realizó mediante ANOVA y la prueba de comparación entre medias de Tukey, con 0.05 de probabilidad de cometer error de tipo I, para ello se utilizó un paquete estadístico de InfoStat (Di Rienzo y col., 2008).

RESULTADOS

Potencial de Crecimiento de *Trichosporon* spp.

Las levaduras registraron un aumento de su concentración en Medio Polen y no así en MEA alcanzando concentraciones para el Medio Polen de $6,2 \times 10^3$ UFC/ml y en el caso del Medio MEA: $2,5 \times 10^3$ UFC/ml, para la levadura aislada de intestino de abeja; y para la levadura aislada de *Varroa destructor* en Medio Polen: $5,3 \times 10^3$ ufc/ml, y 2×10^3 UFC/ml para el Medio MEA.

Efecto inhibitorio de Inhibición *Trichosporon* spp. de *A. apis* Española y *A. apis* Argentinas

Para la cepa *Ascosphaera apis* española ambas levaduras lograron inhibir el crecimiento de *A. apis* española con ambas técnicas utilizadas, registrando para la colonia del entomopatógeno diámetros promedios de $22,5 \pm 3,5$ mm con respecto al control 68 ± 7 mm, no mostrando esporulación en ningún ensayo solo se registró el crecimiento a los 10 días de cultivo.

Las cepas de *Trichosporon* spp. lograron inhibir el crecimiento de la *A. apis* de Entre Ríos con la técnica seleccionada, registrando para la colonia del entomopatógeno diámetros promedios de $51 \pm 1,41$ con la cepa *Trichosporon* spp. (1) y $37 \pm 2,83$ con la *Trichosporon* spp. (3), con respecto al control $64,5 \pm 0,71$, no observando esporulación en ninguno de los ensayo a los 10 días de cultivo mostrando una diferencia significativa ($p=0.001$). El análisis de

Tukey mostro que la cepa *Trichosporon* spp. (3), inhibe mejor el crecimiento de la cepa Entrerriana que la *Trichosporon* spp. (1) (Ver Tabla 1).

Las cepas de *Trichosporon* spp. lograron inhibir el crecimiento de la *A. apis* aislado de polenes de Jujuy con la técnica seleccionada, registrando para la colonia del entomopatógeno diámetros promedios de $62 \pm 1,4$ *Trichosporon* spp. (1) y $50 \pm 1,4$ con la *Trichosporon* spp. (3), con respecto al control $71,5 \pm 0,7$, no observando esporulación en ninguno de los ensayo a los 10 días de cultivo mostrando una diferencia significativa ($p=0.009$). El análisis de Tukey mostro que la cepa *Trichosporon* spp. (3), inhibe mejor el crecimiento de la cepa Jujeña que la *Trichosporon* spp. (1) (Ver Tabla 1).

Las cepas de *Trichosporon* spp. lograron inhibir el crecimiento, pero no la esporulación de *A. apis* proveniente de Misiones con la técnica seleccionada, registrando para la colonia del entomopatógeno diámetros promedios de $63 \pm 2,8$ *Trichosporon* spp. (1) y $52 \pm 2,8$ con la *Trichosporon* spp. (3), con respecto al control $78 \pm 0,7$, mostrando una diferencia estadísticamente significativa ($p=0.02$). Se observó esporulación a partir del día cinco en todos los tratamientos. El análisis de Tukey mostro que la cepa *Trichosporon* spp. (3), inhibe el crecimiento de la cepa Misionera mejor que la con *Trichosporon* spp. (1) que se comportó casi de la misma manera que el control (Ver Tabla 1).

| Días | Tratamientos | Diámetro de Crecimiento de <i>A. apis</i> (mm) | | | Esporulación | | |
|------|-------------------|--|----------|--------|--------------|-----|----|
| | | ER | JUY | MIS | ER | JUY | MI |
| 2 | <i>T. spp</i> (1) | 19,5±0,7 | 13,5±0,7 | 11±0,7 | - | - | - |
| 2 | <i>T. spp</i> (3) | 10,5±0,7 | 9 | 9±0,7 | - | - | - |
| 2 | Control | 14±1,4 | 17,5±0,7 | 16 | - | - | - |
| 5 | <i>T. spp</i> (1) | 29,5±0,7 | 27 | 20±0,7 | - | - | - |
| 5 | <i>T. spp</i> (3) | 24±0,7 | 20,5±2,1 | 14±0,7 | - | - | - |
| 5 | Control | 28±2,8 | 33±1,4 | 34±0,7 | + | + | + |
| 8 | <i>T. spp</i> (1) | 41±1,4 | 49,5±0,7 | 42±0,7 | - | - | + |
| 8 | <i>T. spp</i> (3) | 33,5±2,1 | 36 | 36±0,7 | - | - | + |
| 8 | Control | 50,5±2,1 | 60 | 57±1,4 | + | + | + |
| 10 | <i>T. spp</i> (1) | 51±1,41 | 62±1,4 | 63±2,8 | - | - | + |
| 10 | <i>T. spp</i> (3) | 37±2,8 | 50±1,4 | 52±2,8 | - | - | + |
| 10 | Control | 64,5±0,71 | 71,5±0,7 | 78±0,7 | + | + | + |

*ER: Entre Ríos; JUY; Jujuy; MIS: Misiones; (-): sin esporulación; (+): con esporulación

Tabla 1. Se muestra el efecto inhibitorio *A. apis* Argentinas con dos cepas de *Trichosporon spp.* en diferentes días de cultivo

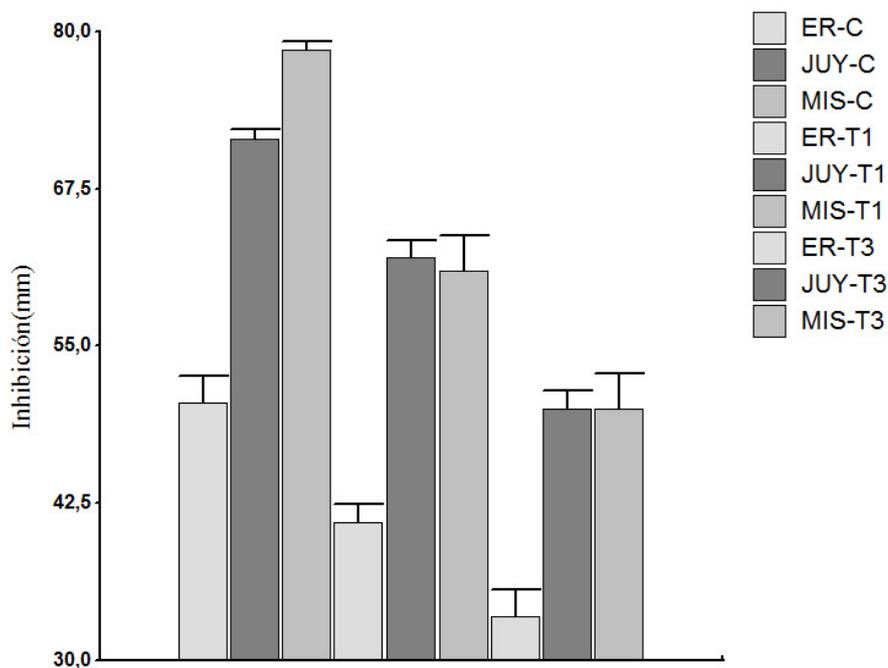


Figura 1. Efecto inhibitorio de *Trichosporon spp.* frente acepas Argentinas a los diez días de cultivo

DISCUSIÓN

En el presente estudio se evidenció el efecto inhibitorio de *Trichosporon* spp. aislados de intestino de abeja y de *Varroa destructor* sobre distintas cepas de *A. apis* seleccionadas (española, entrerriana, jujeña y misionera). Los resultados coinciden con Miao y col. (2009), el cual logró aislar cepas de levaduras inhibitorias de *A. apis*, pudiendo reducir la enfermedad.

En relación a la inhibición del crecimiento de *A. apis*-Entre Ríos, se observó que *Trichosporon* spp. proveniente del intestino de la abeja es más efectivo que *Trichosporon* spp. (1) que proviene de varroa. Con respecto a *A. apis* - Jujuy, se observó el mismo efecto que Entre Ríos lo que indicaría que el tratamiento *Trichosporon* spp. (3), es más efectivo al momento de inhibir el crecimiento del hongo *A. apis*. El Khoury y col (2018), revela que algunas levaduras podrían producir sustancias antimicóticas contra enfermedades fúngicas, tales como la cría yesificada, ya que estos microorganismos integran la microbiota huésped.

El efecto de las levadura sobre *A. apis* - Misiones revelaron que si bien disminuye su crecimiento el hongo entomopatógeno todavía esporula a los cinco días de cultivo. Es así, que si bien hay una disminución del crecimiento, ésta es mayor cuando se enfrenta con *Trichosporon* spp. (3) que con *Trichosporon* spp. (1). Gilliam y col. (1988), inocularon el patógeno *A. apis* en tortas de polen, introduciendo las mismas en varias colonias demostrando que algunas colmenas tenían más resistencia a este patógenos y otras más sensibles, esto estaría relacionando el comportamiento higiénico de las abejas, y a su alimentación ya que cuando se analizó, el pan de polen contenía un mayor porcentaje de levaduras lo que indicaría que estas mismas estarían protegiendo a la colmena de *A. apis*.

Se logró observar que la levadura proveniente del interior del intestino de abeja presenta mayor poder de inhibición, esto se debe a que forma parte de la microbiota intestinal de la abeja, desempeñando un papel importante en la prevención de enfermedades, al mismo tiempo que mejoran la resistencia de los huéspedes frente a parásitos intracelulares (El Khoury y otros, 2018), ya que regulan funciones específicas asociadas con el metabolismo y la respuesta inmunitaria (Evans y López, 2004; Alberoni

y otros, 2016).

CONCLUSIÓN

Las levaduras utilizadas fueron capaces de inhibir el crecimiento y la esporulación de las cepas *A. apis* provenientes de Entre Ríos, Jujuy y España. Siendo más efectiva aquella cepa de *Trichosporon* spp., que fue aislada a partir de intestino de abeja. Sin embargo, no lograron detener la esporulación de *A. apis* misionera pero si el crecimiento.

Ambas levaduras podrían ser utilizadas como agentes biocontroladores del hongo entomopatógeno.

BIBLIOGRAFÍA

Alberoni, D., Gaggia, F., Baffoni, L., and Di Gioia, D. 2016. Beneficial microorganisms for honey bees: problems and progresses. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 100, 9469–9482.

Albo GN, Reynaldi FJ. 2010. *Ascosphaera apis*, agente etiológico de la cría yesificada de las abejas. *Revista Argentina de Microbiología.* 42:80.

Aronstein KA, Murray KD. 2010. Chalkbrood disease in honey bees. *Journal of Invertebrate Pathology.* 103(Suppl.): S20-S29.

Batra, L. R., Batra, S. W. T., & Bohart, G. E. 1973. The mycoflora of domesticated and wild bees (*Apoidea*). *Mycopathologia et Mycologia applicata*, 49(1), 13-44.

Basukriadi, A., Sjamsuridzal, W., & Putra, B. B. 2010. Molecular identification and diversity of yeasts associated with *Apis cerana* foraging on flowers of *Jatropha integerrima*. *Microbiology Indonesia*, 4(1), 9.

Benítez-Ahrendts M.R., Carrillo L. 2017. Inhibición de *Bacillus circulans* por una levadura. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 10 (17), 34-37.

De Vega C, Herrera CM, Johnson SD. 2009. Yeasts in floral nectar of some South African plants: quantification and associations with pollinator type and sugar concentration. *S Afr J Bot* 75:798-806.

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzanini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW, Grupo Infostat, versión 2008, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2008.

El Khoury, S., Derome, N., Giovenazzo, P., Rousseau, A., Lecoeur, A., Mercier, P. L., ... & Castex, M. 2018. Deleterious interaction between honeybees (*Apis mellifera*) and its microsporidian intracellular parasite *Nosema ceranae* was mitigated by administrating either endogenous or allochthonous gut microbiota strains. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 58.

Evans, J. D., and Lopez, D. L. 2004. Bacterial probiotics induce an immune response in the honey bee (*Hymenoptera: Apidae*). *J. Econ. Entomol.* 97, 752–756.

Gilliam, M., Taber III, S., Lorenz, B. J., & Prest, D. B. 1988. Factors affecting development of chalkbrood disease in colonies of honey bees, *Apis mellifera*, fed pollen contaminated with *Ascosphaera apis*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 52(2), 314-325.

Gilliam, M. 1997. Identification and roles of non-pathogenic microflora associated with honey bees. *FEMS microbiology letters*, 155(1), 1-10.

Hagler LCM, Hagler AN, Kurtzman CP. 1993. Phylogeny of *Metschnikowia* species estimated from partial rRNA sequences. *Int J Syst Bacteriol* 43:368-73.

Hatoum R, Labrie S, Fliss I. 2012. Antimicrobial and probiotic properties of yeasts: from fundamental to novel applications. *Frontiers in Microbiology* vol. 3 art. 421.

Jensen AB, Aronstein K, Flores JM, Vojvodic S, Palacio MA, Spivak M. 2015. Standard methods for fungal brood disease research. *Journal of Apicultural Research*. 52(1):1-20.

Lachance MA, Starmer WT, Phaff HJ. 1990. *Metschnikowia hawaiiensis* sp. nov., a heterothallic haploid yeast from Hawaiian morning glory and associated drosophilids. *Int J Syst Bacteriol* 40:415-20.

Lachance MA, Rosa CA, Starmer WT, Schlag-Edler B, Barker JSF, Bowles JM. 1998. *Metschnikowia*

continentalis var. *borealis*, *Metschnikowia continentalis* var. *continentalis* and *Metschnikowia hibisci*, new heterothallic haploid yeasts from ephemeral flowers and associated insects. *Can J Microbiol* 44:279-88.

Lachance MA, Starmer WT, Rosa CA, Bowles JM, Barker JSF, Janzen, DH. 2001. Biogeography of the yeasts of ephemeral flowers and their insects. *FEMS Yeast Res* 1:1-8.

Lachance M-A, Ewing CP, Bowles JM, Starmer WT. 2005. *Metschnikowia hamakuensis* sp. nov., *Metschnikowia kamakouana* sp. nov. and *Metschnikowia mauinuiana* sp. nov., three endemic yeasts from Hawaiian nitidulid beetles. *Int J Syst Evol Microbiol* 55:1369-77.

Miao, W. A. N. G., Ju-Cui, Y. I. N., & Shao-yu, H. E. (2009). Screening of Yeast Against Chalkbrood Disease. *Journal of Bee*, 5, 008.

Padilla F, Flores JM, Campano F. 2014. Control de la ascosferosis (*Ascosphaera apis*) mediante el uso de fondos higiénicos de rejilla. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal (AICA)*. 4: 289-291.

Reynaldi FJ, López AC, Albo GN, Alippi AM. 2003. Differentiation of *Ascosphaera apis* isolates by rep-PCR fingerprinting and determination of chalkbrood incidence in Argentinean honey samples. *Journal of Apicultural Research*. 42:68-76.

Reynaldi FJ, de Giusti MR, Alippi AM. 2004. Inhibition of the growth of *Ascosphaera apis* by *Bacillus* and *Paenibacillus* strains isolated from honey. *Revista Argentina de Microbiología*. 36(1): 51-55.

Shandu DK, Waraich MK. 1985. Yeasts associated with pollinating bees and flower nectar. *Microb Ecol* 11:51-8.

Teixeira ACP, Marini MM, Nicoli JR, Antonini Y, Martins RP, Lachance MA, Rosa CA. 2003. *Starmerella meliponinorum* sp. nov., a novel ascomycetous yeast species associated with stingless bees. *Int J Syst Evol Microbiol* 53:339-43

Unal S, Yaman M, Tosun O, Aydin C. 2009. Occurrence of *Gregarina typographi* (*Apicomplexa*,

Gregarinidae) and *Metschnikowia typographi* (*Ascomycota, Metschnikowiaceae*) in *Ips sexdentatus* (*Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae*) populations in Kastamonu (Turkey). *J Anim Vet Adv* 8:2687-91.

Zacchi L, Vaughan-Martini A. 2003. Distribution of three yeast and yeastlike species within a population of soft scale insects (*Saissetia oleae*) as a function of developmental age. *Ann Microbiol* 53:43-6.

COLEÓPTEROS ASOCIADOS A UN ECOTONO DE LA SELVA PEDEMONTANA DE LAS YUNGAS (JUJUY, ARGENTINA)

COLEOPTERA ASSOCIATED WITH AN ECOTONE FROM THE PEDEMONTANA JUNGLE OF THE YUNGAS (JUJUY, ARGENTINA)

Baca V. A.¹; Muruaga de L'Argentier S.; Lujan Rudek, C. N.; Vilte, H.

RESUMEN

El orden Coleoptera es el grupo de insectos más variado y numeroso, con importantes representantes como bioindicadores, plagas de cultivos o biocontroladores. En las selvas pedemontana este orden prevalece en los relevamientos de su entomofauna, por lo que el objetivo fue caracterizar la comunidad de coleópteros a través de su riqueza, composición y grupos funcionales que abarcan. Se realizaron muestreos en la Reserva Provincial Las Lancitas utilizando trampas de intercepción de vuelo y trampas de caída. Se identificó hasta el nivel de morfoespecies para poder estimar la equidad (Shannon – Wiener), graficar una curva de rango-abundancia y analizar su distribución temporal en diferentes épocas del año. Se recolectaron 1182 individuos con una riqueza específica de 94 morfoespecies, distribuidas en 16 familias. Staphylinidae, Scarabaeidae, Curculionidae y Carabidae fueron las familias mejor representadas. Con una equidad de 2,93 (Shannon-Wiener) con especies dominantes, como *Oxytelus* sp. (Staphylinidae), *Canthon quinquemaculatus* y *Aphodius* sp. (Scarabaeidae). Los coprófagos (34%) y depredadores (53%) fueron los grupos tróficos más relevantes, marcando picos de máxima captura durante y después de la época estival, respectivamente.

Palabras clave: Coleoptera. Escarabajos. Grupos tróficos. Equidad. Comunidad

SUMMARY

The Coleoptera order is the most varied and numerous group of insects, with important representatives as bioindicators, crop pests or biocontrollers. In the pedemontana forests this order prevails in the surveys of its entomofauna, so the objective was to characterize the coleoptera community through its richness, composition and functional groups it encompasses. Samples were taken in Las Lancitas Provincial Reserve using flight interception traps and fall traps. They were identified up to the morphospecies level to estimate equity (Shannon - Wiener), draw up a rank-abundance curve and analyze their distribution in different seasons. 1182 individuals with a specific richness of 94 morphospecies, distributed in 16 families were collected. Staphylinidae, Scarabaeidae, Curculionidae and Carabidae were the best represented families with an equity of 2.93 (Shannon-Wiener) with dominant species, such as *Oxytelus* sp. (Staphylinidae), *Canthon quinquemaculatus* and *Aphodius* sp. (Scarabaeidae). Coprophagus

1. Cátedra de Biología Animal, Facultad de Ciencias Agrarias; Instituto de Ecorregiones Andinas - INEcoa (CONICET - UNJu).
e-mail: verobaca016@gmail.com; zoología@fca.unju.edu.ar

(34%) and predators (53%) were the most relevant trophic groups, marking peaks of maximum capture during and after the summer season, respectively.

Keywords: Beetles. Coleoptera. Community. Equity. Trophic groups.

INTRODUCCIÓN

El orden Coleoptera es el grupo de insectos más variado y numeroso, con aproximadamente 370.000 especies descritas (Aranda y otros, 2016). La mayoría de las especies se concentran en ocho grandes familias: Carabidae, Staphylinidae, Buprestidae, Scarabaeidae, Tenebrionidae, Chrysomelidae, Cerambycidae y Curculionidae (Ribera, 1999). De las 167 familias citadas a nivel mundial (Lawrence y Newton, 1995), en la región Neotropical, están representadas 127 (Costa, 2000) y cuenta con 6.100 especies registradas en la Argentina (Claps y otros, 2008). Varios autores atribuyen esta enorme diversidad, a la presencia de élitros, esta característica anatómica, les habría permitido explotar innumerables nichos ecológicos (Costa, 1999). Los coleópteros constituyen buenos indicadores de la biodiversidad de un territorio, de la calidad del medio ambiente y del agua (Vergara y otros, 2006). Están asociados con formaciones vegetales donde actúan como depredadores, herbívoros, polinizadores, descomponedores de materia orgánica y presentan rangos de distribución restringidos (Solervicens, 1995 y Jerez, 2000). Algunos son de importancia agronómica, como plagas de cultivos o como biocontroladores (Aranda y otros, 2016).

Desde el punto de vista de la fauna, la selva Pedemontana ha sido considerada como un área de elevada riqueza específica debido a su papel de ecotono. Estudios realizados en la zona, registraron insectos con hábitos fitófagos asociados a árboles nativos de interés forestal (Cordo y otros, 2004), como polinizadores útiles para la reproducción de cultivos adyacentes a estas selvas (Chacoff y Aizen, 2006), como macroinvertebrados bentónicos de ríos (Molineri y otros, 2009) y caracterizando grupos

endémicos de las Yungas con representantes de distintos órdenes (Cuezzo y otros, 2007; Cuezzo y González Campero, 2009; Navarro y otros, 2009). En Jujuy, este piso de vegetación es uno de los más extensos de la provincia y está expuesta a distintos grados de perturbación antrópica. Actualmente, se conocen los primeros aportes sobre su biodiversidad entomológica asociada a zonas de ecotono (Baca y otros, 2017), y a cuerpos de agua del Parque Nacional Calilegua (Torres y otros, 2008). Donde Coleoptera, es uno de los principales órdenes por el mayor número de especies recolectadas y por su importancia como bioindicadores de distintos tipos de uso de suelo (Muruaga y otros, 2015), y de gradientes ambientales en los diferentes pisos de vegetación de las Yungas (Lujan y otros, 2018).

Debido a elevada riqueza específica presente en esta selva pedemontana, es necesario trabajar líneas de investigación que se ocupen de la recolecta de organismos y formar inventarios biológicos completos que representen mejor la biodiversidad y la distribución geográfica de cada grupo biológico (Sánchez-Cordero y otros, 2001). Para conservar la diversidad biológica, se requiere del conocimiento de sus patrones y de su magnitud (Balselga y Novoa, 2008), donde el proceso de inventariar ensamblajes desconocidos y describir nuevas especies representa la base para cualquier investigación relacionada con la biodiversidad (Pedraza y otros, 2010). Con fines de conservación, manejo y monitoreo ambiental se han desarrollado métodos para medir la biodiversidad, como un indicador del estado de los ecosistemas (Spellerberg, 1991). El número de especies es la medida que más frecuentemente se utiliza (Moreno y Halffter, 2000); sin embargo, la biodiversidad no depende sólo de la riqueza de especies, sino también de la dominancia relativa de cada una de ellas. Cuanto mayor es el grado de dominancia de

ciertas especies y de rareza de las demás, menor es la biodiversidad de la comunidad (Pedraza y otros, 2010). De esta manera, medir la abundancia relativa de cada especie permite identificar, las que por su escasa representatividad en la comunidad, son más sensibles a las perturbaciones ambientales (Moreno, 2001). El objetivo de este trabajo fue caracterizar la comunidad de coleópteros presentes en un área de la Reserva Provincial las Lancitas, a través de su riqueza, composición y grupos funcionales y detectar aquellas especies dominantes y raras en dicha zona de muestreo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubicó en la Reserva Provincial Las Lancitas (RPLL) (24° 7' 16,57" S; 64° 22' 18,13" W) distrito El Fuerte, Dpto. Santa Bárbara, en el noreste de la Provincia de Jujuy, con una superficie de 9.536 hectáreas, entre las Sierras de Santa Bárbara y las del Centinela. Esta reserva se creó en el año 2002 y tiene por objeto la conservación de un sector de ecosistema transicional entre las Yungas y los Bosques Chaqueños. Caracterizada por bosques xerófilos, caducifolios con especies de interés forestal como *Anadenanthera macrocarpa* Brenan "cebil colorado", *Calycophyllum multiflorum* Grisebach "palo blanco", *Phyllostylon rhamnoides* Poisson "palo amarillo", *Astronium urundeuva* Allemano "urundel", *Cordia trichotoma* Vellozo "afata", *Pterogyne nitens* Tulasne "tipa colorada" y *Acacia visco* Grisebach "arca" (Saravia y Lizárraga, 2013).

Los muestreos se realizaron mensualmente durante el periodo Septiembre 2014-Mayo 2015 en una zona anexa a la casa del guardaparque, caracterizada por signos de antigua extracción forestal. En cada fecha de muestreo se trazaron tres transectas separadas 300 m entre sí, cada una con una trampa de intercepción de vuelo y diez trampas de caída distribuidas cada 20 m. Las trampas de intercepción consistieron en una red de malla color verde, sostenida por dos parantes de 1,5m enterrados de tal manera que la malla quede al ras del suelo, debajo de la misma se colocaron bandejas plásticas con agua, alcohol y detergente para capturar los insectos interceptados por la malla. Las trampas de caída, consistieron en vasos plásticos de un litro perforados a la mitad conteniendo agua, alcohol y detergente hasta las 1/3 partes, que permanecieron

durante un mínimo de 48 hs en cada muestreo.

Se recolectaron los insectos capturados en bolsas herméticas etiquetadas y se trasladaron para su análisis, al laboratorio de la Cátedra de Biología Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (FCA-UNJu).

Se separaron los escarabajos del resto de los insectos capturados, bajo lupa binocular (Arcano 10X). Todo el material recolectado se identificó hasta el nivel más específico posible o morfoespecie. Con claves a nivel de orden y familia (Borror y de Long, 1989), y otros autores de claves específicas, Scarabaeidae (Vaz de Mello, 2011); Staphylinidae (Moore, 1979 y Herman, 1970); Elateridae (Aguirre Tapiero, 2009); Carabidae (Roig Juñet y Dominguez, 2001; Martinez, 2005) y Curculionidae (Morrone y Posadas, 1998). El material identificado se encuentra depositado en la colección entomológica de la cátedra de Biología Animal (FCA-UNJu).

Se registró el número de insectos adultos recolectados en cada muestra y se utilizó referencias bibliográficas y observaciones in situ para la determinación de los grupos tróficos, según la clasificación propuesta por (Solervicens 1995, Jerez 2000): fitófagos (FI), los organismos que se alimentan de cualquier parte de las plantas; micófagos (MI), los que se alimentan de cualquier parte de los hongos; depredadores (DE), los que cazan a sus presas para alimentarse de ellas; saprófagos (SA), los que se alimentan de cualquier tipo de materia orgánica en descomposición; necrófagos (NE), los que se alimentan de animales muertos, y coprófagos (CO), los que se alimentan de excremento de vertebrados.

Se calculó el índice de equidad de Shannon-Wiener (H') que indica qué tan uniformes están representadas las especies (en abundancia), teniendo en cuenta todas las especies muestreadas. Se empleó la fórmula $H' = \sum p_i \ln p_i$, donde p_i = abundancia proporcional de la especie i . Este índice adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie dominante, y el logaritmo de la riqueza de especies ($\ln S$) cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Moreno, 2001; Villareal y otros, 2004). Para complementar el índice de Shannon-Wiener se graficó la diversidad de especies mediante una curva de rango-abundancia. Para ello, en el eje de las X se ordenaron las morfoespecies desde la más a la

menos abundante, y en el eje de las Y se graficaron los logaritmos de sus abundancias relativas. De esta manera se puede observar la riqueza de especies (número de puntos), sus abundancias relativas y la equidad (forma de la curva) (Moreno, 2001).

Se analizó la abundancia relativa y equidad (Shannon-Wiener) de las principales familias capturadas, durante las diferentes épocas climáticas en el periodo de muestreo, con el fin de observar la distribución temporal de las mismas y su influencia en la proporción de los grupos tróficos relacionados.

RESULTADOS

En el periodo de muestreo, se recolectaron 1182 individuos con una riqueza específica de 94 morfoespecies, distribuidas en 16 familias (Tabla N° 1). Staphylinidae y Scarabaeidae fueron las familias más abundantes con un 44% y 34% de abundancia relativa, respectivamente. Curculionidae fue la tercer familia, pero con un porcentaje mucho menor a nivel de abundancia relativa (9%), ya que incluía especímenes de la subfamilia Scolytinae y Platypodinae, grupos muy relacionados a formaciones vegetales por sus hábitos fitófagos y xilófagos. Carabidae fue representada con el 8% de individuos capturados, integrando el grupo de las cuatro familias mejor representadas en el muestreo. En el resto de las 12 familias, el número de individuos capturados fue mucho menor a lo expuesto anteriormente (Figura N° 1).

Tabla 1. Morfoespecies de Coleopteros recolectados durante la época de muestreo en la Reserva Provincial Las Lancitas (Santa Bárbara, Jujuy).

* especies consideradas raras en el presente estudio

| FAMILIA/msp | n | FAMILIA/msp | n |
|----------------------|----|---------------------------|-------------|
| BOSTRIQUIDAE | | SCARABAEIDAE | |
| Bostr sp1 | 2 | Aphodinae sp* | 1 |
| BUPRESTIDAE | | Aphodius sp1 | 64 |
| Bupr sp1 | 1 | Aphodius sp9 | 7 |
| CARABIDAE | | Ateuchus sp* | 3 |
| Ceroglossini sp2 | 9 | Canthon quinque maculatus | 142 |
| Platynini sp | 62 | Canthon sp* | 1 |
| Incagonum sp* | 2 | Canthon sp1* | 1 |
| Ceroglossini sp3 | 1 | Canthon unicolor* | 3 |
| Ceroglossini sp | 11 | Coprophaneus cyanescens | 5 |
| Oodini sp | 5 | Deltochilum sp1 | 4 |
| Oxandri sp* | 2 | Dichotomius nesus* | 2 |
| CERAMBYCIDAE | | Digintonthofagus gazella | 34 |
| Cera sp1 | 1 | Malagoniella chalybaea | 21 |
| Cera SP3 | 1 | Megathopa sp4 | 17 |
| Cera sp4 | 1 | Onthofagus sp* | 3 |
| Cera sp5 | 1 | Onthofagus sp1 | 7 |
| CHRYSOMELIDAE | | Onthofagus sp2* | 1 |
| Chry sp1 | 1 | Scar sp10 | 6 |
| Chry sp2 | 2 | Scar sp11 | 1 |
| CICINDELIDAE | | Scar sp12 | 2 |
| Cinc sp1 | 1 | Scar sp13 | 5 |
| CURCULIONIDAE | | Scar sp14 | 15 |
| Curc sp1 | 4 | Scar sp15 | 6 |
| Curc sp10 | 1 | Scar sp16 | 3 |
| Curc sp2 | 2 | Scar sp17 | 2 |
| Curc sp3 | 2 | Scar sp19 | 7 |
| Curc sp5 | 6 | Scar sp1B | 4 |
| Curc sp6 | 3 | Scar sp20 | 1 |
| Curc sp7 | 1 | Scar sp21 | 3 |
| Curc sp8 | 1 | Scar sp22 | 4 |
| Curc sp9 | 1 | Scar sp23 | 2 |
| Sco sp1 | 32 | Scar sp24 | 2 |
| Sco sp2 | 17 | Scar sp25 | 5 |
| Sco sp3 | 8 | Scar sp25B | 3 |
| Sco sp4 | 2 | Scar sp26 | 8 |
| Sco sp5 | 1 | Scar sp27 | 1 |
| Plat sp1 | 12 | Scar sp3 | 1 |
| Plat sp2 | 2 | Scar sp5 | 1 |
| ELATERIDAE | | Scar sp6 | 5 |
| Ela sp1 | 5 | Scar sp8 | 3 |
| Ela sp2 | 3 | STAPHYLINIDAE | |
| ENDOMICRIDAE | | Megalopsidinae sp1* | 2 |
| End sp1 | 3 | Psel sp1 | 84 |
| HIDROPHYLIDAE | | Staph sp1 | 404 |
| Hyd sp1 | 1 | Staph sp10 | 4 |
| HISTERIDAE | | Staph sp3 | 3 |
| Hist sp1 | 1 | Staph sp4 | 3 |
| MORDELLIDAE | | Staph sp5 | 6 |
| Mord sp1 | 7 | Staph sp6 | 2 |
| Mord sp2 | 2 | Staph sp7 | 10 |
| TENEBRIONIDAE | | Staph sp8 | 13 |
| Tene sp1 | 4 | Staph sp9 | 1 |
| Tene sp2 | 2 | | |
| Tene sp3 | 2 | | |
| Tene sp4 | 14 | | |
| Tene sp5* | 1 | | |
| TROGIDAE | | | |
| Trog sp1* | 1 | | |
| TOTAL | | | 1182 |

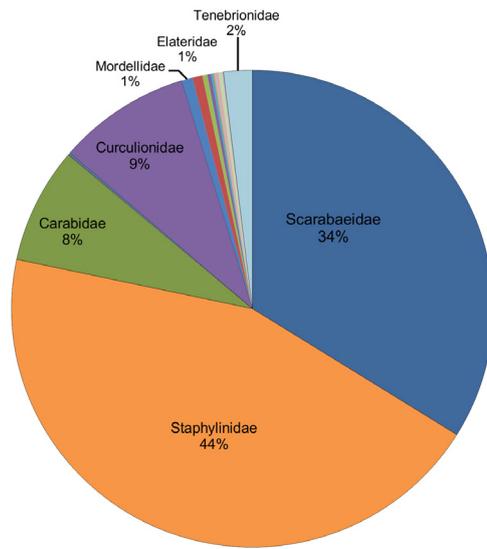


Figura 1. Proporción de familias de Coleopteros capturadas en el periodo septiembre-mayo en RPLL.

A partir del índice de Shannon-Wiener se calculó la equidad entre las especies de la muestra obteniéndose un valor $H' = 2,93$ (rango para interpretación: 0-4,54), que demuestra una equidad intermedia, donde la muestra está influenciada por las especies más abundantes, pero más del 75% de las morfoespecies están representadas por el mismo número de individuos (Moreno, 2001; Villareal y otros, 2004). Esta equidad se refleja en la pendiente de la curva de rango abundancia. Las especies más

dominantes, en cuanto a su abundancia relativa, fueron *Oxytelus* sp. (Staphylinidae), *Canthon quinquemaculatus* y *Aphodius* sp. (Scarabaeidae), luego la curva desacelera progresivamente hasta llegar al nivel más bajo que contiene una gran cantidad de especies raras, indicadas por los puntos al final de la curva, que por su escasa representatividad en la comunidad, son más sensibles a las perturbaciones ambientales (Moreno, 2001) (Tabla N°1 y Figura N°2).

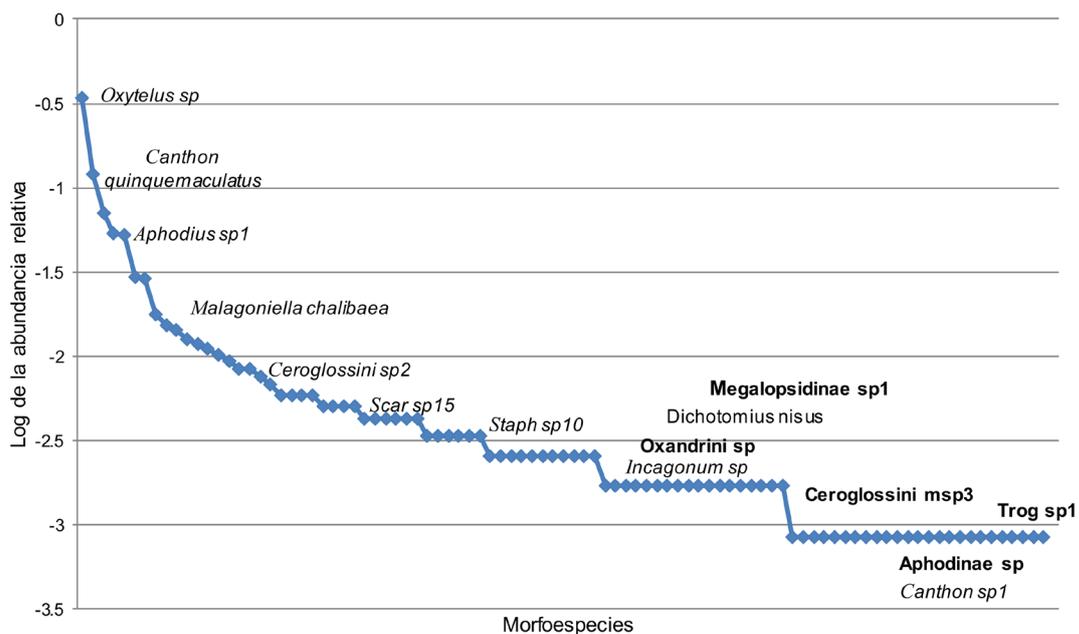


Figura 2. Curva de rango-abundancia de morfoespecies (Insecta, Coleoptera) capturadas en el periodo septiembre-mayo en RPLL.

A nivel de grupos tróficos, los depredadores fueron representados con el 53% de individuos capturados, mientras que los coprófagos con el 34%. La abundancia de estos dos grupos coincide con la abundancia relativa de las familias más abundantes del muestreo, como Staphylinidae y Scarabaeidae. Los fitófagos representaron un porcentaje menor (11%) pero con la mayor diversidad de familias presentes (8). El resto de los grupos, como micetófago, necrófago y saprófago, se representaron con porcentajes muy bajos con pocos individuos correspondientes a una sola familia (Figura N° 3). Esta diferencia en proporciones refleja la distribución de los ensambles de coleópteros en un lugar determinado, donde además, se debe tener en cuenta el tipo de metodología empleada y la época de muestreo (Villareal y otros, 2004).

Las trampas de intercepción de vuelo y de caída, permitieron identificar mejor los grupos de escarabajos epigeos. Sin embargo, se observó la diferencia existente entre los distintos hábitos alimentarios presentes y la notable diversidad de grupos fitófagos asociado a estas formaciones vegetales. La abundancia relativa de este grupo, se complementarían mejor con muestreos directos sobre la vegetación adyacente a las trampas (Villareal y otros, 2004).

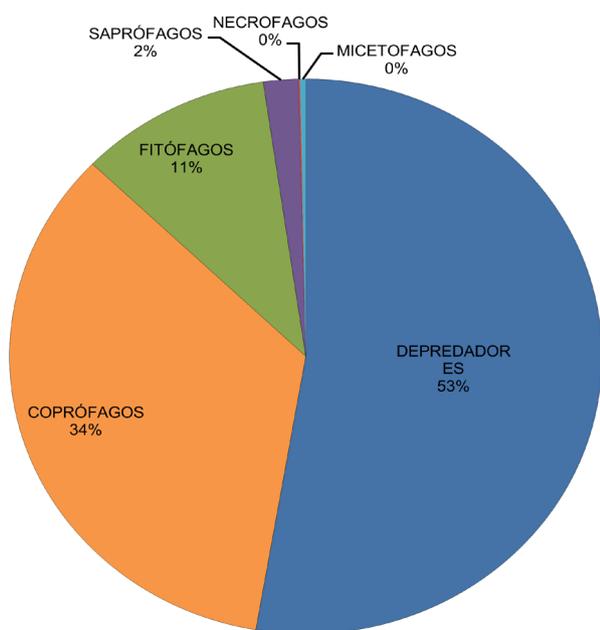


Figura 3. Proporción de grupos tróficos de Coleopteros capturados en el periodo septiembre-mayo en RPLL.

Considerando la época de muestreo, se analizaron las principales familias en su abundancia relativa y equidad, antes, durante y después de la época estival. Se observó que existe un equilibrio en la abundancia de todas las familias de Coleoptera antes de las lluvias (Septiembre: $H' = 3,00$). Luego, se observó un incremento de individuos capturados, marcado por el pico poblacional de Scarabaeidae durante la época de lluvias (Lujan y otros, 2018), pero que no influyó en la abundancia de las otras morfoespecies presente, por lo que la equidad mantenía un valor similar al anterior (Diciembre: $H' = 3,17$). A diferencia, el final de la época estival se caracterizó por una clara prevalencia de morfoespecies de la familia Staphylinidae, con diferentes morfoespecies de hábitos depredadores, y reflejados en el índice para esa época (Marzo: $H' = 0,65$ y Mayo: $H' = 0$) (Figura N°4 y tabla N°2). La prevalencia de esta familia en el muestreo, es debido a que su rol trófico demanda una amplia gama de recursos alimenticios durante toda la época de muestreo, donde siempre existen comunidades de artrópodos del que alimentarse. Además, los predadores son muy activos, con una mayor frecuencia de vuelo para la búsqueda de sus presas, por lo que van a ser mayormente recolectados en las trampas de intercepción de vuelo.

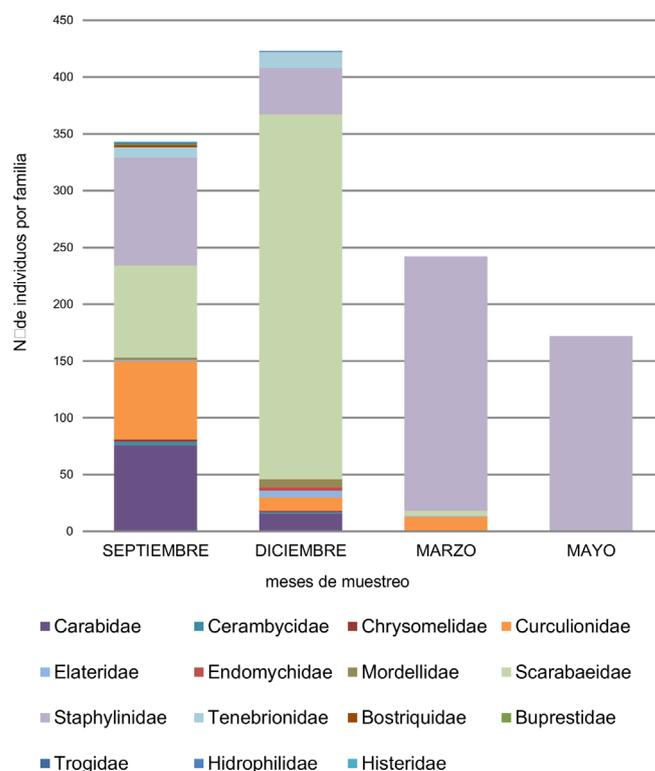


Figura 4. Variación en la proporción de familias colectadas, en cada época de muestreo durante el periodo septiembre-mayo en la RPLL.

| Meses | n | H' |
|--------------|-------------|-------------|
| Septiembre | 341 | -3,00 |
| Diciembre | 430 | -3,17 |
| Marzo | 241 | -0,65 |
| Mayo | 170 | 0,00 |
| Total | 1182 | 4,53 |

Tabla 2. Número de individuos colectados(n) e índice de Shannon-Wiener (H'), en cada época de muestreo (Septiembre -Mayo), en la RPLL.

CONCLUSIÓN

La metodología empleada permitió determinar la riqueza específica de la comunidad de coleópteros presentes en un área de la Reserva Provincial las Lancitas, reconociendo como relevantes las familias Staphylinidae y Scarabaeidae con especies dominantes como *Oxytelus* sp., *Canthon quinquemaculatus* y *Aphodius* sp.. Dentro de los grupos tróficos reconocidos, prevalecieron los depredadores y coprófagos coincidiendo con la abundancia relativa de las familias más abundantes. Esta proporción de grupos tróficos fluctuó en las distintas épocas, influenciadas por las lluvias. Esta información permitió reconocer aquellas especies, que por su escasa representatividad en la comunidad, son más sensibles a los cambios estacionales y perturbaciones ambientales, brindando por primera vez información del estado actual de la comunidad de coleópteros presentes en un ecotono de la Selva Pedemontana y permitir posteriores estudios más específicos del grupo y de la zona.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Secretaria de Gestión Ambiental de la Provincia de Jujuy por permitir las tareas de recolección dentro de la Reserva Provincial Las Lancitas.

Este trabajo fue financiado por subsidios otorgados por la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Jujuy SECTER con el proyecto (A/0159) "Diversidad de insectos asociados a plantaciones forestales nativas de la Selva Pedemontana de las Yungas y sus roles tróficos (Provincia de Jujuy, Argentina)", y enmarcado en el proyecto de Unidad Ejecutora INECO-CONICET

"Análisis espacio-temporal de problemáticas socio-ambientales actuales y emergentes en las ecorregiones de Jujuy. Un enfoque multidisciplinario".

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre Tapiero, M.P. 2009. Clave de identificación de géneros conocidos y esperados de Elateridae Leach (Coleoptera: Elateroidea) en Colombia. Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle 10 (2):25-35.

Aranda S. G., Córdoba S. P. y Sanchez F. R. 2016. Catálogo de los Tipos Primarios de Coleoptera depositados en la Colección Entomológica del Instituto-Fundación Miguel Lillo. Acta Zoológica Lilloana 60 (1): 10–46.

Baca V. A., Muruaga de L'Argentier S., Lujan Rudek C. y Vilte H.A. 2017. Entomofauna epigea asociada a un área de las selvas de transición de las Yungas (Jujuy, Argentina). Acta Zoológica Lilloana 61 (1): 65–73.

Balselga A. y F. Novoa. 2008. Coleoptera in a relict forest of Spain: implications of hyperdiverse taxa for conservation strategies. Annals of the Entomological Society of America 101: 402-410.

Borror D. J., De Long D. M. 1989. Clave para los órdenes y familias de insectos adultos. Traducidas por el Ing. Agrónomo Rafael Cancelado Sánchez, Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. 149 pp.

Brown A.D. y Malizia L.R. 2004. Las selvas pedemontanas de las Yungas. En el umbral de la extinción. Ciencia hoy. 83(14): 52- 63.

Chacoff N. P., Aizen M.A. 2006. Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. British Ecological Society. Journal of Applied Ecology. Blackwell Publishing, Ltd. 43:18–27. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2664.2005.01116.x/epdf>

Claps, L.; Debandi, G. y Roig-Juñet, S. 2008. Biodiversidad de artrópodos argentinos volumen 2. Editorial Sociedad entomológica Argentina, Mendoza. 615 págs.

- Costa C. 1999. Coleoptera, cap. 12, p. 113 – 122. En: C.R.F. Brandão y E.M. Cancellato (eds.). *Invertebrados Terrestres*, V. 5, XVII. 279 pp.
- Costa C. 2000. Estado de conocimiento de los Coleoptera neotropicales. Pp. 99-114. En: Martín-Piera, F., J.J. Morrone y A. Melic (eds.). *Hacia un Proyecto Cytad para el Inventario y Estimación de la Diversidad Entomológica en Iberoamérica: PriBes 2000*. Monografías Tercer Milenio 1. Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza, España.
- Cordo H. A., Logarzo G., Braun K., Di Iorio O. R. 2004. *Catálogo de insectos fitófagos de la Argentina y sus plantas asociadas*. 1ª Edición. Sociedad Entomológica Argentina. Buenos Aires, Argentina. 734 pp.
- Cuezzo F., Lizarralde de Grosso M., Navarro F. R., Szumik C. 2007. Endemic insects from the Yungas of Argentina. *Zootaxa* 1576: 63-67.
- Cuezzo F., Gonzalez Campero C. 2009. *Invertebrados en la Selva Pedemontana austral*. El caso de Formicidae como ejemplo de comunidades de insectos. En: A. Brown, P.G. Blendinger, T. Lomáscolo y P. Garcia Bes (eds). *Selva Pedemontana de las Yungas*. Historia natural, Ecología y manejo de un ecosistema en peligro. Ediciones del Subtrópico. Pág. 149-167.
- Herman, L.H. 1970. Phylogeny and reclassification of the genera of the rove-beetle. Subfamily Oxitelinae of the world (Coleoptera- Staphylinidae). *Bulletin of the America museum of natural history*. New York. 142:5
- Jerez, V. 2000. Diversidad y patrones de distribución geográfica de insectos coleópteros en ecosistemas desérticos de la región de Antofagasta, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 73:79-92, 2000
- Lawrence, J. F. y A. F. Newton. 1995. Families and subfamilies of Coleoptera (with selected genera, notes, references and data on family-group names). In *Biology, phylogeny and classification of Coleoptera: Papers celebrating the 80th birthday of Roy A. Crowson*, J. Pakaluk y S. A. Slipinski. (eds.). Muzeum i Instytut Zoologii PAN, Warszawa. Pág. 779- 1006.
- Lujan Rudek C.N., Muruaga de L'Argentier S.L., Baca V.A., Yapura A.M. y Ogara M. 2018. *Escarabajos coprófagos y necrófagos de las yungas del noroeste argentino*. Libro de Resúmenes. X Congreso Argentino de Entomología. Mendoza. Argentina. 21 al 24 de mayo de 2018. Pág. 182.
- Martinez, C. 2005. *Introducción a los escarabajos Carabidae (Coleoptera) de Colombia*. Instituto de investigación de Recursos Biológicos. Alexander Von Humboldt. Bogotá. Colombia. 546pp. ISBN 58-8151-46-5.
- Molineri C., Romero F., Fernández H.R. 2009. *Diversidad y conservación de invertebrados acuáticos*. En: A. Brown, P.G. Blendinger, T. Lomáscolo y P. Garcia Bes (eds). *Selva Pedemontana de las Yungas*. Historia natural, Ecología y manejo de un ecosistema en peligro. Ediciones del Subtrópico. Pág. 121-148.
- Moore, I. y Legner, E.F. 1979. *An illustrated guide to the genera of Staphylinidae of America North of Mexico exclusive of the Aleocharinae (Coleoptera)*. Division agricole science university of California Published. 4093:332pp.
- Moreno, C. E. y G. Halffter. 2000. Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology* 37:149-158.
- Moreno, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T- Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza, 84 pp.;
- Morrone, J.J. y Posadas, P. 1998. Cap. 26. *Curculionoidea*. 258-278. En: *Biodiversidad de artrópodos argentinos, una perspectiva biotaxonomica*. Coscaron, S. y J.J. Morrone (eds). Ediciones Sur, La Plata, Argentina.
- Muruaga, S; Rueda, M. C., Baca, V., Luján Rudek, C. N., Vilte H. Y Caires, W. 2015. *Escarabajos estercoleros (Coleoptera, Scarabeoidea, Scarabeidae, Scarabeinae) indicadores biológicos en ambientes de Yungas y Chaco jujeño*. Libro de Resúmenes. X REBIOS Y II CONBIOMOS. San Salvador de Jujuy. Septiembre 2015
- Navarro F. R., Cuezzo F., Goloboff P. A., Szumik C., Lizarralde de Grosso M., Quintana M. G. 2009. Can insect data be used to infer areas of endemism?

An example from the Yungas of Argentina. *Revista chilena de historia natural*, 82(4):507-522.

Pedraza M. del C., Marquez J. y Gómez Anaya J.A. 2010. Estructura y composición de los ensamblajes estacionales de coleópteros (Insecta: Coleoptera) del bosque mesófilo de montaña en Tlanchinol, Hidalgo, México, recolectados con trampas de intercepción de vuelo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 437- 456.

Ribera I. 1999. Evolución, filogenia y clasificación de los Coleoptera (Arthropoda: Hexapoda). *Evolución y Filogenia de Arthropoda. Sección III: Artropodiana. Boletín de la Sociedad Entomológica Argentina*, 26: 435-458.

Roig Juñet, S y Dominguez, M. 2001. Diversidad de la familia Carabidae (Coleoptera) en Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*.74:549-571.

Sánchez-Cordero, V., A. Townsend y P. Escalante-Pliego. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. In *Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad*, H. M. Hernández, A. N. García

Saravia M., Lizárraga L. 2013. Unidades de vegetación de la Reserva Provincial Las Lancitas. Informe Final. Dirección de Biodiversidad. Secretaría de Ambiente de la Nación. Jujuy, Argentina. Pág. 1-110.

Solervicens, J. 1995. Consideraciones generales sobre los insectos, el estado de su conocimiento y las colecciones. En: Simonetti JA, MTK Arroyo, A Spotorno y EC Lozada (eds) *Diversidad Biológica de Chile: 198- 210*. CONICYT, Santiago, Chile.

Spellerberg, I. F. 1991. *Monitoring ecological change*. Cambridge University Press, 334 p.

Torres P.L.M., Mazzucconi S. A., Michat, M.C. y Bachmann A.O.2008. Los coleópteros y heterópteros acuáticos del Parque Nacional Calilegua (Provincia de Jujuy, Argentina). *Rev. Soc. Entomológica Argentina*. 67 (1-2):127-144.

Vaz de Mello F. Z., Edmonds W. D., Ocampo F. C., Schoolmeesters P. 2011. A multilingual key to the genera and subgenera of the subfamily Scarabaeinae of the New World (Coleoptera: Scarabaeidae).

Zootaxa 2854: 1-73

Vergara O.E., Jerez V. y Parra L.E. 2006. Diversidad y patrones de distribución de coleópteros en la Región del Biobío, Chile: una aproximación preliminar para la conservación de la diversidad. *Revista Chilena de Historia natural*. 79: 369-388.

Villareal H., Álvarez M., Córdoba S., Escobar F., Fagua G., Gast F., Mendoza H., Ospina M., Umaña A. M. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. Colombia. 236 pp.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE QUESOS FRESCOS ARTESANALES DE TRES REGIONES DE LA PROVINCIA DE JUJUY

QUALITY EVALUATION OF ARTISANAL FRESH CHEESES FROM THREE REGIONS IN JUJUY PROVINCE

Calliope, S. R.^{1,3}; Segundo, C. N.^{2,3}; Molina, E.¹

RESUMEN

El control de la calidad e inocuidad de los alimentos debe ser un requisito importante a cumplir por parte de los productores. El queso es un producto obtenido a partir de leche cruda y de cuajos artesanales, cuya calidad está influenciada por el área geográfica de producción y sus tradiciones. El objetivo de este estudio fue describir la calidad nutricional, física y sensorial de quesos frescos producidos en Jujuy. Se analizaron quesos artesanales de tres regiones de la provincia tomados al azar. Se determinó composición proximal por técnicas AOAC. La textura, por análisis de perfil de textura (TPA) y análisis sensorial. Los quesos se clasificaron como magros, de pasta blanda según el Código Alimentario Argentino. Los quesos de Puna y Quebrada resultaron los de menor humedad, mayor contenido de lípidos y proteínas, mayor dureza y menor cohesividad acercándose a la calidad del queso comercial. En los parámetros sensoriales los de menor puntaje fueron las muestras procedentes de los Valles. El conocimiento general de las características y propiedades del queso artesanal de la Provincia de Jujuy es de gran importancia para garantizar su calidad y mejorar su aceptabilidad, siendo una herramienta útil para diferenciar los diversos tipos de quesos artesanales.

Palabras clave: Quesos frescos. Calidad. Inocuidad.

SUMMARY

Quality control and food safety must be an important requirement to be met by the producers. Cheese is a product obtained from raw milk and artisanal rennets, whose quality is influenced by the geographical area of production and its traditions. The aim of this study was to describe the nutritional, physical and sensorial quality of fresh cheeses produced in Jujuy. Randomly chosen artisanal cheeses from three regions of the province were analysed. Proximal composition was determined by means of AOAC techniques whereas texture, by texture profile analysis (TPA) and sensory analysis. Cheeses were classified as lean, soft pulp ones according to the Argentine Food Code. Cheeses from Puna and Quebrada were the ones with the lowest humidity, the highest content of lipids and proteins, the highest hardness and the least cohesiveness, approaching commercial cheese quality. Regarding the sensory parameters, samples from the Valleys recorded the lowest scores.

General knowledge of the characteristics and properties of the artisanal cheese from Jujuy province is of great importance to guarantee its quality and to improve its acceptability, being a useful tool to differentiate the various types of artisanal cheeses.

Keywords: Fresh cheeses. Quality. Safety.

INTRODUCCIÓN

El queso es un alimento de amplio consumo en el mundo, en Argentina el consumo de este alimento aumentó de 8 kg a 12 kg por año por persona (APYMEL, 2018). Existen diferentes tipos de queso que difieren en sus características nutritivas, funcionales, texturales y sensoriales. Estas variedades de quesos se clasifican en maduros, semi-maduros y frescos (Ramirez Lopez y Velez Ruiz, 2012). En la provincia de Jujuy se elabora el queso criollo en forma artesanal y para la venta callejera y por lo tanto supone consumo habitual y constituye un recurso gastronómico importante en nuestra provincia.

Hay diversos factores que modifican la calidad del queso (como las propiedades fisicoquímicas, texturales, sensoriales), entre ellos la formulación, las condiciones de proceso y almacenamiento y las alteraciones provocadas por microorganismos (Romero Castillo y col., 2009; Maldonado y col., 2013; Johnson, 2017).

Según el Artículo 605 del Código Alimentario Argentino (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 33/2006 y N° 563/2006) "Se entiende por Queso el producto fresco o madurado que se obtiene por separación parcial del suero de la leche o leche reconstituida (entera, parcial o totalmente descremada) o de sueros lácteos, coagulados por la acción física, del cuajo, de enzimas específicas, de bacterias específicas, de ácidos orgánicos, solos o combinados, todos de calidad apta para uso alimentario; con o sin el agregado de sustancias alimenticias y/o especias y/o condimentos, aditivos específicamente indicados, sustancias aromatizantes y materiales colorantes. Se entiende por Queso Fresco el que está listo para el consumo poco

después de su fabricación. Se entiende por Queso Madurado el que ha experimentado los cambios bioquímicos y físicos necesarios y característicos de la variedad de queso.

Existen diversos criterios de clasificación con base en las condiciones de proceso o las características fisicoquímicas del tipo de queso:

- a) Por contenido de humedad, se clasifican en quesos de baja humedad o de pasta dura (<35,9%), de mediana humedad o semiduros (36,0-45,9%), de alta humedad pasta blanda o macíos (46,0-54,9%) y de muy alta humedad o pasta muy blanda (>55%).
- b) De acuerdo al tipo de coagulación de la caseína, se clasifican en quesos de coagulación enzimática, quesos de coagulación ácida y quesos de coagulación ácida/térmica,
- c) De acuerdo a su estado de maduración: frescos (6 días), semimadurados (40 días) y madurados (>70 días)

Además de brindar un excelente aporte de proteínas de alto valor biológico, el queso se destaca por ser una fuente importante de calcio y fósforo.

La textura tiene un rol importante en términos de inferir la calidad de un alimento. Particularmente en el queso, la textura es uno de los atributos más importantes que ayudan a determinar la identidad del mismo (Bourne, 2002).

La información textural y reológica es importante en el diseño de procesos de transformación en alimentos (mezclados, flujo de materiales, calentamiento, enfriamiento), en la determinación de la funcionalidad de los ingredientes para el desarrollo de productos, en el control de calidad de productos intermedios y finales, en estudios de tiempo de vida

útil y en evaluaciones de propiedades texturales correlacionadas con pruebas sensoriales, entre otros (Muthukumarappan y Swamy, 2016).

Dentro de las caracterizaciones reológicas del queso, las técnicas de compresión uniaxial a velocidad constante, la relajación ante el esfuerzo y el denominado análisis de perfil de textura (TPA), son las pruebas más ampliamente utilizadas (Ibáñez y col., 1998).

La compresión uniaxial a velocidad constante consiste en comprimir una muestra de queso de geometría y dimensiones conocidas mediante un plato descendente a velocidad constante, hasta un nivel de deformación superior al punto de fractura (generalmente a una distancia $> 75\%$ de su altura original). Los parámetros reológicos obtenidos son el módulo de deformabilidad (MD) estimado como la regresión lineal de la parte inicial de la curva, la tensión o esfuerzo (σ), la deformación (ϵ) y la energía (W_f) a la fractura (Castañeda, 2002).

El TPA consiste en una prueba de doble compresión en las cuales se someten muestras del producto a una compresión del 80 a 90% de su altura inicial, la cual resulta casi siempre en la ruptura del alimento. Bourne, (2002) cita los siguientes parámetros texturales obtenidos con el TPA: fractura, dureza, cohesión, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad.

Independientemente del origen de la leche, las propiedades físicas del queso se rigen por la interacción entre las moléculas de caseína (Tunick, 2000). Algunos de los factores que influyen en estas interacciones varían en función del tipo de queso, el grado de maduración, su composición química (en particular el contenido de caseína y la distribución de la humedad y la grasa), el contenido de sal, pH y acidez (Guo y col., 2012) así como determinadas condiciones medioambientales como la temperatura (Johnson y Law, 2011).

En cuanto a la firmeza del queso existen dos fenómenos que la controlan. El primero consiste en la acción de enzimas proteolíticas sobre la matriz proteica, que da como resultado la disminución de la firmeza y en consecuencia modificaciones en algunas propiedades como el color, la elasticidad y la textura del queso (Lucey y col., 2003). El segundo es el efecto de la pérdida de humedad, que al provocar

una disminución de la hidratación de las proteínas conduce a una mayor interacción de las mismas provocando el aumento de la firmeza de la matriz proteica (Walstra, 1990).

También uno de los cambios bioquímicos que ocurren en el queso e influyen en la Textura, es la lipólisis. Los lípidos se encuentran distribuidos como material de relleno en la matriz proteica, por lo tanto, si se incrementa su contenido en la formulación, el queso presentara menor firmeza y mayor elasticidad, mientras que cuando su contenido se reduzca (ya sea por acción lipolítica o intencional para fines de obtener un producto con bajo contenido en grasa) se obtendrán quesos más duros y rígidos (Brighenti y col., 2008).

Otro de los factores que afecta la textura es el pH, debido a su efecto sobre la red de proteínas. Un pH cercano al punto isoeléctrico provoca fuerzas iónicas e hidrófobas, que resultan en una red de caseínas compacta típica de los quesos duros, mientras que en el caso de un pH más alto las caseínas presentan una carga negativa, lo que genera repulsión entre los agregados proteicos, generándose un queso con mayor humedad, más elástico y menos compacto (Lu y col., 2008). En quesos la elevada humedad y el bajo pH, son condiciones que afectan notoriamente la textura y sabor durante la conservación, de forma que una excesiva proteólisis podría ocasionar defectos como una textura excesivamente blanda y un sabor amargo (Maldonado y col., 2013).

En cuanto a la sal además de tener un papel en el sabor y conservación del queso, en altas concentraciones disminuye la actividad proteolítica, aumentando la salida de agua presente en la red proteica de la cuajada (sinéresis) ocasionando con ello, menor humedad y por lo tanto mayor dureza en el queso (Ramirez Navas y col., 2017). Por último la acidez, no solo tiene incidencia sobre el sabor, sino también en los cambios que experimenta la red proteica (cuajada) del queso, teniendo esta una correlación directa en los fenómenos de sinéresis (es decir; a mayor acidez, mayor sinéresis) y textura final (Pinho y col., 2004). Además de la acidez, la sinéresis está afectada también por circunstancias propias del proceso de elaboración y por la presencia de calcio libre, el cual provoca la unión de la caseína en la red de la cuajada (Walstra, 1990). El objetivo de este estudio fue describir la calidad nutricional, física y sensorial de quesos frescos producidos en la

provincia de Jujuy.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de quesos fueron seleccionadas de cuatro localidades, Humahuaca, Puesto del Marqués, Tilcara, San Antonio, correspondientes a tres regiones de la provincia de Jujuy, Quebrada, Puna y Valle, respectivamente. La toma de muestra se realizó durante el período de diciembre 2017 a mayo de 2018. Se seleccionaron puestos de ventas callejeras al azar, el peso de las mismas fue de 500 g. aproximadamente. Fueron envasadas en bolsas de polietileno cerradas herméticamente y se transportaron hacia el laboratorio, se mantuvo en refrigerador hasta su análisis.

Composición de los quesos y propiedades físicas

La humedad de las muestras se determinó por el método AOAC N°926.08, cenizas por AOAC N°935.32, Proteínas AOAC N°2001.14, Grasas AOAC N°933.05, Acidez AOAC N°920.124 y pH N°981.12

Análisis de perfil de textura

El análisis de perfil de textura se realizó en un texturómetro TA-XT plus (Stable Microsystems Ltd., Godalming, UK) con "Software Texture Expert". Las muestras se cortaron en cilindros de 2 cm de alto y 2 cm de diámetro a temperatura ambiente. Se utilizó una probeta cilíndrica de aluminio de 50 mm de diámetro. La prueba análisis de perfil de textura (TPA) fue realizada por compresión doble con una deformación hasta el 25% y una velocidad de

ensayo de 2 mm/s y 30s de reposo entre la primera y segunda compresión. Los parámetros de textura se determinaron a partir de la curva fuerza-distancia. Se obtuvieron dureza, cohesividad y elasticidad.

Análisis sensorial

Se llevó a cabo con 72 voluntarios, de entre 18-55 años de edad. Los quesos fueron evaluados utilizando una escala hedónica de nueve puntos, los parámetros evaluados fueron aspecto, olor, persistencia del sabor, textura y aceptabilidad general. Los valores de las evaluaciones oscilaron entre "me gusta extremadamente" a "no me gusta extremadamente" correspondiendo las puntuaciones máximas y mínimas "9" y "1", respectivamente.

Análisis estadístico

Todas las mediciones se efectuaron por triplicado, se expresaron como $x \pm DS$. Se realizó análisis de varianza (ANOVA); las medias se compararon con la prueba LSD Fisher a un nivel de significancia de 0,05. Se realizó análisis de componente principal (ACP) con 7 variables medidas para agrupar de acuerdo a diferencias y similitudes entre las muestras. El análisis de los datos se realizó con usando el Software estadístico Infostat (UNC, Córdoba, Argentina) (Di Rienzo y col., 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición de los quesos

En la tabla 1 se muestra la composición, propiedad sensorial y física de los quesos analizados, queso comercial (fresco tipo criollo) y los artesanales.

| Localidad | Humedad | Lípidos | Proteína | Cenizas | Agrado General | pH | Acidez |
|--------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Comercial | 41,22±0,04 ^a | 17,10±0,47 ^b | 26,15±0,20 ^b | 6,90±0,03 ^{ab} | 6,97±0,57 ^b | 5,75±0,04 ^b | 0,065±0,04 ^b |
| Humahuaca | 54,64±0,13 ^d | 21,46±0,58 ^c | 19,39±0,03 ^a | 9,21±0,03 ^{cd} | 6,59±0,27 ^{ab} | 6,21±0,01 ^c | 0,026±0,02 ^a |
| Tilcara | 49,45±0,13 ^c | 20,91±0,38 ^c | 21,13±0,05 ^a | 7,46±0,01 ^{bc} | 6,82±0,48 ^b | 5,62±0,02 ^a | 0,030±0,02 ^a |
| Puesto del marqués | 47,11± 0,26 ^b | 18,33±0,40 ^b | 25,34±0,10 ^b | 5,16±0,02 ^a | 6,44±0,32 ^{ab} | 6,04±0,02 ^c | 0,036±0,03 ^a |
| San Antonio | 56,48±0,27 ^e | 13,47±0,67 ^a | 17,78±0,06 ^a | 9,61±0,02 ^d | 5,92±0,35 ^a | 6,30±0,03 ^d | 0,032±0,01 ^a |

Tabla 1. Composición, propiedades sensorial y física

Se observa que hay diferencias significativas en todas las muestras en el parámetro de humedad siendo mayor en la muestra procedente de la localidad de San Antonio (región Valle). La muestra de origen comercial tuvo el menor porcentaje. Según la legislación argentina se puede clasificar a los quesos artesanales estudiados como de alta humedad. Dicha variabilidad puede ser debida al proceso de elaboración, algunos de los factores que intervienen son el desuerado y la concentración de sal, al ser menor en los quesos artesanales ambos generarían mayor humedad (Ramírez Navas y col., 2017).

El contenido lipídico se diferenció claramente por región siendo mayor para los quesos de la Quebrada y el menor para los quesos de los Valles. Estas diferencias pueden ser atribuidas a la diferencia en la forma de elaboración, ya que los productores no estandarizan el contenido graso de su materia prima. Por lo tanto, estos quesos se clasificarían como magros según el C.A.A.

Mientras que en proteínas el mayor contenido fue para los quesos de la Puna y Comercial. Contrariamente las cenizas fueron mayores para Valles y menor para la Puna. Estas diferencias se encuentran relacionadas con la composición de la leche de partida en la que el principal factor de variación es la alimentación de los animales (Almenara y col., 2007). Y a la heterogeneidad del proceso ya que una falta de control de las variables como temperatura, pH y tiempo suelen provocar diferencias en la precipitación de las proteínas (Catillo y col., 2009).

Estas diferencias en lípidos y proteínas tendrán gran influencia en la textura y en los parámetros sensoriales ya que durante la maduración del queso implica una serie compleja de eventos bioquímicos, como la lipólisis (Vélez y col., 2017) y la proteólisis (Burgos y col., 2016) que conducen al sabor, aroma y textura característicos de cada variedad.

El pH y la acidez son factores que influyen en las propiedades de textura durante la obtención del queso. Los quesos muestran diferencias significativas en el pH, encontrándose en el rango permitido para este tipo de quesos el procedente de Tilcara y el queso comercial (Maldonado y col., 2013). Mientras que este último difiere significativamente de

los quesos artesanales mostrando mayor acidez. En los quesos frescos la elevada humedad y el bajo pH, afectan a la textura y el sabor generando la proteólisis y provocando defectos como quesos blandos y de sabor amargo (Ramírez López y col., 2012). La acidez además influye en la red de proteínas teniendo correlación directa con la sinéresis (mayor acidez, mayor sinéresis) y textura final.

En un proceso artesanal, la acidez se obtiene utilizando suero ácido de suero dulce incubado a temperatura ambiente durante al menos 24 h. En este caso, el suero fermentado es acidificado por la población natural de bacterias del ácido láctico propio de la leche, hasta alcanzar el pH deseado según el artesano.

Análisis de perfil de textura (TPA)

Los parámetros de Textura obtenidos para los quesos (comercial y artesanal) se muestran en las figuras 1, 2 y 3.

Los quesos artesanales mostraron menor dureza que la muestra comercial, 58 % menos duras las de Quebrada y 77% las de Valles y Puna. Esto puede relacionarse con el mayor contenido de humedad en los quesos artesanales. En estos últimos se observó que los quesos de la Quebrada poseen mayor dureza que las de los Valles y Puna. Vélez y col. (2017) reportaron que los quesos de mayor humedad poseen menor sinéresis en las cuajadas preparadas a partir de la leche homogeneizada, ya que los glóbulos de grasa interactúan con la matriz de para-caseína (Kelly y col., 2008).

En general, una estructura más compacta se debe a una menor humedad, debido a que favorece a la formación de un gel y reordenamiento de las partículas durante la proteólisis de las κ - y α -caseínas (Burgos y col., 2016).

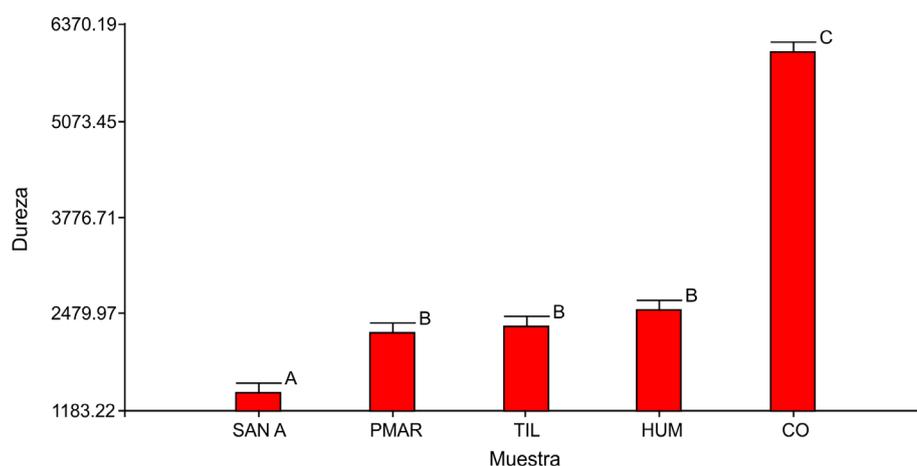


Figura 1. Dureza de quesos comercial y artesanales (PMAR: Puesto del Marqués (Puna); SAN A: San Antonio (Valles); TIL: Tilcara, HUM: Humahuaca (Quebrada))

En la Figura 2 se observa que los quesos de San Antonio, Puesto del Marques y Humahuaca fueron menos cohesivos que el queso comercial y de Tilcara. Este resultado permite observar que los quesos frescos con pH altos (ver Tabla 1) generarían una red de caseína débil provocando quesos con

características de mayor humedad más elásticos y menos compactos indicando una estructura menos cohesiva (Ramírez López y col., 2012).

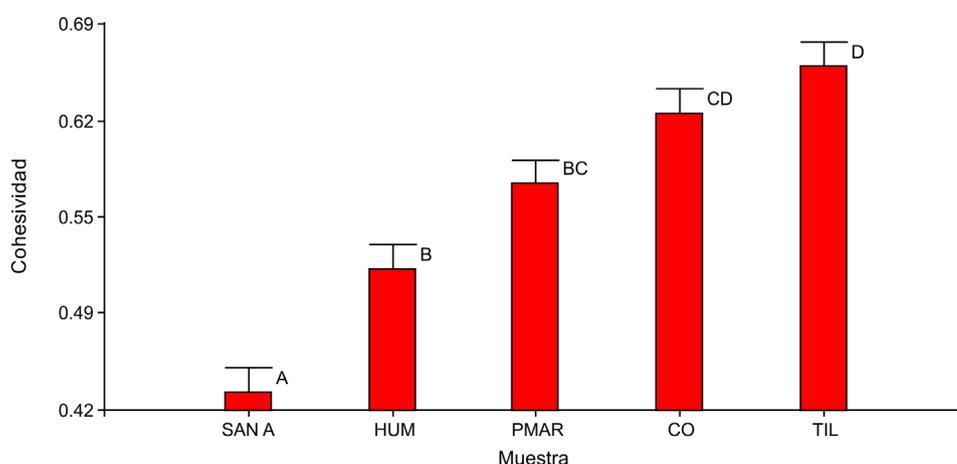


Figura 2. Cohesividad de quesos comercial (CO) y artesanales (PMAR: Puesto del Marqués (Puna); SAN A: San Antonio (Valles); TIL: Tilcara, HUM: Humahuaca (Quebrada))

En la Figura 3, se observa que la elasticidad de los quesos de San Antonio y Comercial son similares, mientras que las muestras de Humahuaca, Puesto del Marques y Tilcara fueron menos elásticos. La elasticidad observada en la muestra de San Antonio se debió a un mayor pH, mayor dureza y menor cohesividad, mientras que lo observado en el queso

comercial se debió a su mayor dureza, resultados similares fueron reportados por Maldonado y col. (2013). Mientras que la muestra de Tilcara tuvo menor elasticidad durante la prueba cuyo valor fue de 0,73 y un pH igual a 5,62 menor a los quesos de San Antonio.

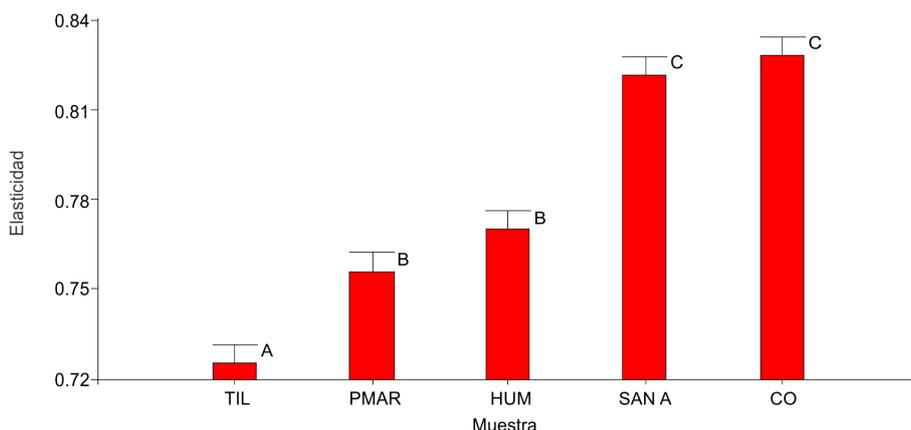


Figura 3. Elasticidad de quesos comercial (CO) y artesanales (PMAR: Puesto del Marqués (Puna); SAN A: San Antonio (Valles); TIL: Tilcara, HUM: Humahuaca (Quebrada))

ANÁLISIS SENSORIAL

La percepción de las características sensoriales del queso influye en las elecciones de los consumidores y por ello es importante estudiar los parámetros sensoriales para producir un queso con un adecuado perfil de sabor y textura.

El queso comercial junto a las muestras de Tilcara (Quebrada) fueron los de mayor agrado general y la muestra de San Antonio la de menor puntaje. Esto indica que los consumidores tuvieron una tendencia hacia los quesos con humedades entre 41 a 49% y medianamente ácidos (pH 5,75- 6,82).

En la tabla 1 se observa los resultados obtenidos para el atributo agrado general y en la figura 4 los parámetros sensoriales de todas las muestras estudiadas.

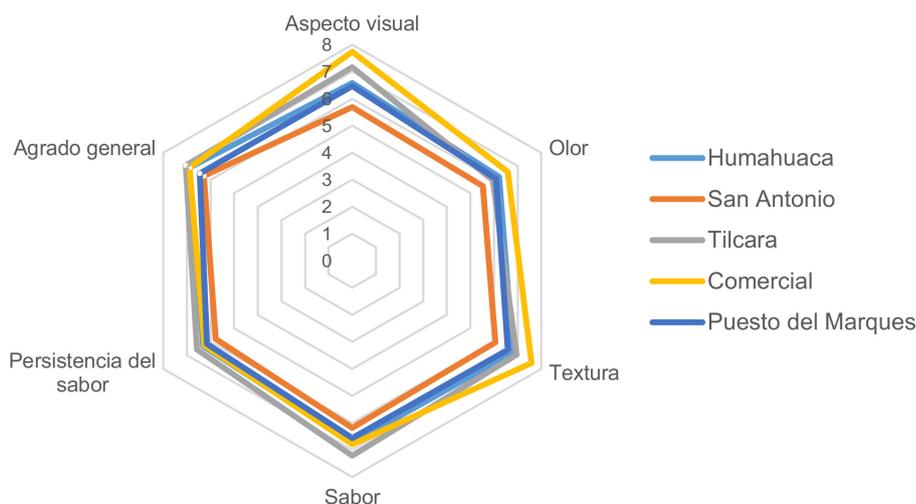


Figura 4. Parámetros sensoriales

Los quesos de la región Puna y Quebrada tuvieron puntajes en sabor de 6,74 a 7,21 y olor de 5,95-6,21. Esto probablemente se deba a que la materia prima utilizada en esas regiones tuvo mayor contenido de proteínas y grasas que la de los Valles (Tabla 1). Esto les confiere un mejor sabor y olor, resultado similar a lo observado por Melé y col. (2016). El aspecto visual y textura de estos quesos, fue mayor en comparación con las otras muestras artesanales. Además, una menor humedad, mayor dureza y menor cohesividad, convergen en una estructura más estable al corte y/o a la mordida. Esta correlación también fue observada por Cipolat-Gotet y col. (2018) para quesos frescos.

Estas diferencias en los parámetros sensoriales probablemente se deban a la zona de producción y a la alimentación de los animales (vaca o cabra). En estudio se pudo observar una tendencia de preferencia del consumidor respecto a la muestra de quebrada y puna sobre los Valles.

CONCLUSIONES

La composición de los quesos artesanales de las regiones seleccionadas mostró diferencias con el queso comercial, esto indica que el tipo de proceso y los métodos de formulación empleados influyen sobre la misma.

Las muestras artesanales presentaron características de mayor humedad, menor dureza y menor acidez, lo cual influyó en los parámetros sensoriales. Si bien los quesos de San Antonio mostraron una elasticidad similar al queso comercial, mayor pH, menor contenido de lípidos y proteínas, influyó de manera negativa en la aceptación general.

Este estudio permitió determinar que los consumidores prefieren los quesos artesanales provenientes de las regiones de Quebrada y Puna, sobre las provenientes de los Valles.

El conocimiento general de las características y propiedades de los quesos artesanales es una herramienta útil para diferenciar los diversos tipos de quesos artesanales existentes en la provincia de Jujuy, y de gran utilidad e importancia para garantizar su calidad y mejorar su aceptabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de la cátedra de Bioquímica de los Alimentos de la Facultad de Ingeniería/UNJu, por habernos facilitado los equipos para el análisis de las muestras.

BIBLIOGRAFÍA

Almenara, F. J., Álvarez, S., Darías, J., Rodríguez, E., Díaz, C., Fresno, M. (2007). Efecto de la maduración en la composición mineral de los quesos de cabra majorera. Archivos de Zootecnia, 56(Su1).

APYMEL. Asociación de Pequeñas y Medianas empresas Lácteas. (2018). <http://www.apymel.com.ar>

Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of AOAC. 20th ed. USA, Washington, (2016).

Bourne, M. (2002). Food texture and viscosity: Concept and measurement. 2° Ed. Academic Press. San Diego California, EE.UU. 427.

Brighenti, M., Govindasamy Lucey, S., Lim, K., Nelson, K., Lucey, J. (2008). Characterization of rheological, textural and sensory properties of samples of commercial US cream cheese with different fat contents. Journal of Dairy Science. 91: 4501-4517.

Burgos, L., Pece, N., Maldonado, S. (2016). Proteolysis, Texture and Microstructure of Goat Cheese. International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS). ISSN: 2394-3661.

Catañeda, R. (2002). La reología en la tipificación y la caracterización de quesos. Tecnología Láctea Latinoamericana. 20 (26): 48-53.

Cipolat-Gotet, C., Cecchinato, A., Drake, M. A., Marangon, A., Martin, B., Bittante, G. (2018). From cow to cheese: Novel phenotypes related to the sensory profile of model cheeses from individual cows. Journal of dairy science, 101(7), 5865-5877.

Di Rienzo J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C. Robledo. Grupo InfoStat,

FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
URL <http://www.infostat.com.ar>.

Gou, L., Van Hekken, D., Tomasula, P., Tunick, M., Hou, G. (2012). Effect of salt on microbiology and proteolysis of queso fresco cheese during storage. *Milchwissenschaft*. 67: 74-77.

Ibañez, F., Loygorri, S., Ordoñez, A., Torre, I. (1998). Evaluación instrumental y sensorial de la textura en quesos de oveja con denominación de origen. *Alimentaria*. 292:49-53.

Jhonshon, M., Law, B. (2011). The fundamentals of cheese technology. *Technology of cheesemaking*. 2°Ed. Reino Unido.

Johnson, M. E. (2017). A 100-Year Review: Cheese production and quality. *Journal of dairy science*, 100(12), 9952-9965.

Kelly, A. L., Huppertz, T., Sheehan, J. J. (2008). Pre-treatment of cheese milk: Principles and developments. [conference paper]. *Dairy Science and Technology*, 88(4-5), 549-572.

Lu, N., Shirashoji, N., Lucey, J. (2008). Effects of pH on the textural properties and melt ability of pasteurized process cheese made with different types of emulsifying salts. *Food Engineering and Physical Properties*. 73 (8): E363-E369.

Lucey, J., Johnson, M., Horne, D. (2003). Perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. *Journal Dairy Science*. 86. 2725-2743.

Maldonado, R., Melendez, B., Arispe, I., Boeneke, C., Torrico, D., Prinyawiwatkul, W. (2013). Effect of pH on technological parameters and physicochemical and texture characteristics of the pasta filata cheese Telita. *Journal of dairy science*, 96(12), 7414-7426.

Mele, M., N. P. P. Macciotta, A. Cecchinato, G. Conte, S. Schiavon, G. Bittante. (2016). Multivariate factor analysis of detailed milk fatty acid profile: Effects of dairy system, feeding, herd, parity, and stage of lactation. *J. Dairy Sci*. 99:9820-9833.

Muthukumarappan, K., Swamy, G. J. (2016). Rheology, Microstructure, and Functionality of Cheese. In *Advances in Food Rheology and Its*

Applications (pp. 245-276).

Pinho, O., Mendes, E., Alves, M. Ferreira, I. (2004). Chemical, physical and sensorial characteristics of "Terrincho" ewe cheese: Changes during ripening and intravarietal comparison. *Journal of Dairy Science*. 87(2):249-257.

Ramírez López, C., Vélez Ruiz, J. (2012). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas selectos de ingeniería de Alimentos*. 6- 2: 131-148.

Ramírez-Navas, J. S., Aguirre-Londoño, J., Aristizabal-Ferreira, V. A., Castro-Narváez, S. (2017). Salt in cheese: several interactions. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 303-316.

Romero-Castillo, P. A., Leyva-Ruelas, G., Cruz-Castillo, J. G., Santos-Moreno, A. (2009). Evaluación de la calidad sanitaria de quesos crema tropical mexicanos de la región de Tonalá, Chiapas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 8(1), 111-119.

Tunick, M. (2000). Rheology of dairy foods that gel, stretch, and fracture. *Journal of Dairy Science*. 83: 1892-1898.

Vélez, M. A., Hynes, E. R., Meinardi, C. A., Wolf, V. I., Perotti, M. C. (2017). Cheese milk low homogenization enhanced early lipolysis and volatiles compounds production in hard cooked cheeses. *Food Research International*, 96, 215-225.

Walstra, P. (1990). On the stability of casein micelles. *Journal of Dairy Science*. 73: 1965-1979.

ESTIMACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO MEDIANTE EL BALANCE HIDROLÓGICO OPERATIVO AGRÍCOLA, PARA LOS DEPARTAMENTOS SANTA CATALINA Y COCHINOCA, PROVINCIA DE JUJUY

WATER ESTIMATION IN SOIL FOR SANTA CATALINA AND COCHINOCA DEPARTMENTS IN JUJUY PROVINCE

Toconás, P. J. A.¹; Alabar, F. D.²; Arias, M. P.³; Hurtado, R. H.²

RESUMEN

En el informe climático de la Puna sobre la situación de la sequía, solicitada por el gobierno de la provincia para la declaración de la emergencia agropecuaria de la región, y realizado por la cátedra de Agroclimatología de la Universidad Nacional de Jujuy en el año 2016, se observa que las deficiencias de agua en el suelo presentan una tendencia negativa creciente. Un modo de estimar esta deficiencia es mediante el Balance Hidrológico Operativo Agropecuario (BHOA). En la Argentina, el INTA aplica esta herramienta utilizando datos de precipitación ofrecida por sensores remotos, pero sin considerar la región de Puna. El objetivo del trabajo es aplicar el BHOA para determinar la dinámica espacio-temporal de la disponibilidad hídrica del suelo en los departamentos Santa Catalina y Rinconada en la Puna jujeña. Para la aplicación de este modelo se utilizaron: la precipitación diaria estimada mediante la técnica IMERG (Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM), con posterior interpolación (kriging) de los datos, empleando los modelos exponencial, gaussiano y esférico; las constantes hídricas del suelo determinadas en laboratorio y con el software SPAW, y la evapotranspiración ajustada diaria estimada mediante una función lineal de tercer orden. Los resultados obtenidos muestran un ajuste significativo, aunque sobreestimados por SPAW respecto, a los valores de constantes hídricas determinados en laboratorio. En el BHOA, el modelo exponencial es el que menor error presenta (error cuadrático medio, RMSE y error absoluto medio, MAE), siendo el adecuado para la interpolación de los datos de precipitación en los sitios de estudio.

Palabras clave: Balance hidrológico. Constantes hídricas. Disponibilidad hídrica en el suelo. Puna. Balance hidrológico operativo agropecuario.

SUMMARY

In the Puna climate report about the drought situation requested by the provincial government in order to declare the agricultural emergency in the region, which was carried out by the chair of Agroclimatology of the National University of Jujuy in 2016, deficiencies of water in the soil showing a growing negative trend are noticed. One way to estimate this deficiency is through the Agricultural Operational Hydrological Balance (BHOA). In Argentina, INTA applies this tool using precipitation data offered by remote sensors, but

1-Becario BEyRA. FCA-UNJu. Alberdi 47 (4600). San Salvador de Jujuy. Argentina. e-mail: paultoconas95@gmail.com

2-Cátedra de Agroclimatología; 3- Cátedra de Edafología. FCA-UNJu. Alberdi 47 (4600). San Salvador de Jujuy. Argentina.

without taking into account the Puna region. The objective of this study is to apply the BHOA to determine the spatio-temporal dynamics of soil water availability in Santa Catalina and Rinconada departments in the Puna Jujeña. To apply this model the daily precipitation estimated using the IMERG technique (Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM), with subsequent interpolation (kriging) of the data, using the exponential, gaussian and spherical models; the water constants of the soil determined in the laboratory and with the SPAW software, together with the adjusted daily evapotranspiration estimated by a linear third-order function were used. The results obtained show a significant adjustment, although overestimated by SPAW regarding the values of water constants determined in the laboratory. In the BHOA, the exponential model is the one with the least error (mean square error, RMSE and mean absolute error, MAE), being suitable for the interpolation of precipitation data in the study sites.

Keywords: BOA-hydrological operational balance of agriculture. Hydrological balance. Water constants. Puna. Water availability in the soil.

INTRODUCCIÓN

La variación en la cantidad de agua del suelo es un proceso natural que forma parte del dinamismo de los sistemas climáticos y meteorológicos de la tierra. Supone una cantidad de agua disponible, como así también una restricción de agua, pudiendo ocasionar adversidades en actividades que dependen de ella, tales como la agricultura y la ganadería, si no existe capacidad de gestión de los recursos hídricos (FAO, 2015). Las condiciones de aridez de la región de la Puna son un rasgo permanente, por lo que la deficiencia de agua del suelo suele ser negativa, es decir, es una característica climática normal (Hurtado y otros, 2016). Sin embargo, se dan períodos en los cuales, las precipitaciones se apartan significativamente de la normalidad. Esta característica es utilizada como una herramienta de predicción de sequía. En el "Informe Climático sobre la Sequía (2015- 2016) ocurrida en la Puna Jujeña" (Hurtado y otros, 2016), realizado por la cátedra de Agroclimatología de la Universidad Nacional de Jujuy frente a la solicitud del gobierno de la provincia de Jujuy para la declaración de la emergencia agropecuaria de la región, se menciona que las anomalías de las deficiencias de agua en el suelo presentan una tendencia negativa que va en aumento. En este contexto, contar con información de la disponibilidad hídrica en el suelo es crucial. Una manera de estimarla es mediante el Balance Hidrológico Operativo Agropecuario (BHOA) (Fernández Long y otros, 2012). Este balance utiliza valores diarios de precipitación, evapotranspiración (ET) y parámetros relacionados con las características físicas del suelo, como la

capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). En la provincia de Jujuy, la escasez y distribución heterogénea de estaciones meteorológicas dificulta la estimación de ET y precipitaciones, quedando regiones sin información.

Una alternativa para adquirir información espacio-temporal de la precipitación, es estimarla empleando sensores remotos de microondas pasivas (Joyce y otros, 2004) incorporados en varios satélites espaciales (Kidd y otros, 2003). La última misión espacial que emplea esta tecnología es Global Precipitation Measurement (GPM), misión iniciada por la NASA y la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA) quienes, junto a un consorcio de socios internacionales, constituyen la constelación de sensores de GPM a fin de unificar las mediciones espaciales de precipitación global (Kidd, 2003). El observatorio central de la misión (GPM Core Observatory, GPM-CO), lanzado en 2014, transporta sensores de precipitación de última tecnología, tales como el Dual-frequency Precipitation Radar (DPR), el cual es un radar de doble frecuencia (14 GHz para tasas de lluvias relativamente fuertes y 35 GHz para tasas de lluvias y nieve ligeras) y el Global Precipitation Measurement Microwave Imager (GMI), siendo este un radiómetro de microondas pasivo multifrecuencia (10-187 GHz) que mejora el grado de detalle de cada medición (Skofronick-Jackson y otros, 2017). Las mediciones realizadas por el GPM-CO brindan información detallada sobre la variabilidad de la precipitación en un área específica (Skofronick-Jackson y otros, 2017 citados por Méndez Rivas, 2016). Tanto GMI como

DPR son un estándar para calibrar los algoritmos de recuperación de precipitación, estableciendo una referencia para comparar datos aportados por los demás satélites de la constelación (Draper y otros, 2015). En comparación con misiones anteriores, la cobertura del GPM- CO (68°N/S) aumenta la precisión de la medición de precipitación para las latitudes medias y altas; además, proporciona observaciones frecuentes de precipitación, de las cuales, el 80% está a menos de 3 h de separación, excediendo el mínimo que se considera necesario para aplicaciones hidrometeorológicas (Nijssen y Lettenmaier, 2004). Las capacidades de GPM aportan datos que ayudarán a entender cómo los cambios en los patrones de precipitación a múltiples escalas se traducen en cambios en el ciclo hídrico (evapotranspiración, humedad del suelo, recarga de aguas subterráneas). El Programa de las Naciones Unidas sobre "Teleobservación para la gestión sustantiva del agua en zonas áridas y semiáridas" ha identificado a GPM como un excelente ejemplo de uso del espacio con fines pacíficos (Hou y otros, 2014). IMERG (Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM) es un algoritmo que combina datos del GMI/ DPR con los satélites del grupo del GPM para generar mejores estimaciones espaciales y temporales de precipitación (Skofronick-Jackson y otros, 2017). Ofrece datos con una resolución espacial de 0,1° y una resolución temporal de 30 minutos, diaria y mensual, en horario UTC. Los datos de precipitación de las misiones GPM están disponibles de forma gratuita para el público, accediendo al enlace web <https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/gpm>.

La ET se la obtiene por metodologías de base empírica o físico-matemática, tales como: Thornthwaite (TH) (1945, 1948), Hargreaves y Samani (H-S) (1985) y Penman-Monteith (P-M) (1948), entre otros. La ecuación de P-M presenta como limitante la elevada cantidad de parámetros para su estimación; no obstante, es reconocida como un estándar de comparación para datos obtenidos mediante otros métodos. En Jujuy, la escasez de registros meteorológicos dificulta su aplicación. Ante esta situación, Moreno y otros (2014) determinaron una función general para ajustar el cálculo de ET por H-S a P-M, aplicada para todos los meses del año.

Los datos de precipitación obtenidos vía satélite, son presentados en forma de puntos de grillas, los cuales generalmente no coinciden con el sitio específico en estudio. Una de las técnicas para

obtener la información de la precipitación de un punto específico es la interpolación, de la cual el método Kriging resulta ser uno de los más certeros. El kriging es una técnica de interpolación que analiza, mediante cálculos geoestadísticos, el comportamiento de la variable en el espacio. La herramienta básica es el análisis de semivarianza y el producto fundamental de este análisis es el semivariograma (Gallardo, 2006). Para interpretar el semivariograma se parte del siguiente criterio: a menor distancia entre los sitios, mayor similitud o correlación espacial entre las observaciones (Henao, 2009). El semivariograma requiere ajustar una función para cuantificar el grado y la escala de la variación espacial. Las funciones que ofrece para su ejecución, son la esférica, la exponencial, la gaussiana, entre otras. El resultado final del kriging es un mapa con los valores interpolados de la variable, y otro con el grado de incertidumbre de cada interpolación. Zucarelli y otros (2014), consideran a mencionada metodología como la adecuada para el cálculo de precipitación mensual en Argentina. En España, Botey y Moreno García (2015) aplicaron este método para estimar el contenido hídrico del suelo mediante el balance hídrico exponencial diario.

Los parámetros relacionados con la retención de agua en el suelo se obtienen por medición in situ, en laboratorio o su estimación a partir de sus propiedades físicas. Las mediciones in situ resultan costosas en tiempo y recursos y se complementa con procedimientos desarrollados en laboratorio. Para ello, se han desarrollado funciones que relacionan las variables del suelo con el contenido de agua volumétrico a potenciales hídricos seleccionados, las cuales se denominan ecuaciones de pedotransferencia (EPT) (Damiano y Taboada, 2000), sin embargo, la determinación en laboratorio de las constantes hídricas resulta más precisa, la cual sirve como testigo para las ecuaciones de ETP. Como una alternativa válida para estimar la retención de humedad del suelo, Pineda y Vilorio (1997) en Venezuela, desarrollaron EPTs que estiman la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) a partir de regresiones lineales. Saxton (2009), basándose en relaciones estadísticas entre la textura y el potencial hídrico del suelo, obtuvo una EPT que incluye más variables para su obtención. El sistema predictivo fue programado en un modelo gráfico computarizado denominado SPAW (Suelo-planta-atmósfera-agua, Versión 6.02). Alabar y otros (2014) en base a la información disponible

de los suelos del NOA (Osinaga y otros, 2009), determinaron las constantes hidrológicas para más de 300 asociaciones de suelos de las provincias de Jujuy y Salta, aplicando el software SPAW. A nivel local, Sandoval y otros (2016) obtuvieron una EPT para lotes con diferente historia de manejo en el Dpto. El Carmen, (Jujuy).

Para la determinación del agua en el suelo, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) aplican el modelo BHOA (Balance Hidrológico Operativo con Fines Agrícolas), basado en la metodología de Thornthwaite-Mather y desarrollado por Fernández Long y otros (2012). Este balance utiliza constantes hidrológicas representativas de los suelos agrícolas de la Argentina y actualmente se encuentra a prueba con datos de precipitación provenientes de satélites. Sin embargo, como en nuestra región los mapas de salida no muestran información, es posible utilizar este modelo para determinar la variación espacio-temporal del agua en el suelo, determinando las constantes hídricas para la región de la Puna con datos de precipitación provenientes de sensores remotos, utilizando la técnica de interpolación descripta para sitios sin información de esta variable.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en sitios que se corresponden con lotes de productores agrícolas - ganaderos ubicados en los departamentos Santa Catalina y Cochinoca. En Santa Catalina se localizaron cinco sitios (1: 22°4'44.85"S, 66°15'27.28"O; 2: 21°54'20.70"S 66° 3'1.44"O; 3: 21°57'4.75"S 66° 1'29.07"O; 4: 22° 5'51.10"S 66° 7'47.13"O; 5: 22°13' 33.17"S 66°14'46.03"O) y en Cochinoca dos sitios (6: 22°37'6.69"S 65°30'27.57"O; 7: 22°45'59.41"S 65°54'37.18"O).

Constantes Hídricas

Se emplearon las constantes hídricas obtenidas por Toconás (2017) para los sitios en estudio, los cuales fueron determinadas mediante el método del Terrón Húmedo, y a su vez, estimadas con el software SPAW.

Precipitación

Los valores estimados de precipitación diaria se

obtuvieron de los datos procesados mediante el algoritmo I-MERG, empleado por la misión satelital GPM. Se filtraron los datos para el área delimitada por las coordenadas geográficas 21°36'00'S-23°6'00'S y Longitud 66°36'00'O-65°12'00'O. La información filtrada se presenta en forma de puntos de grilla, con una resolución espacial de 0.1° y con una frecuencia temporal diaria (Figura 1).

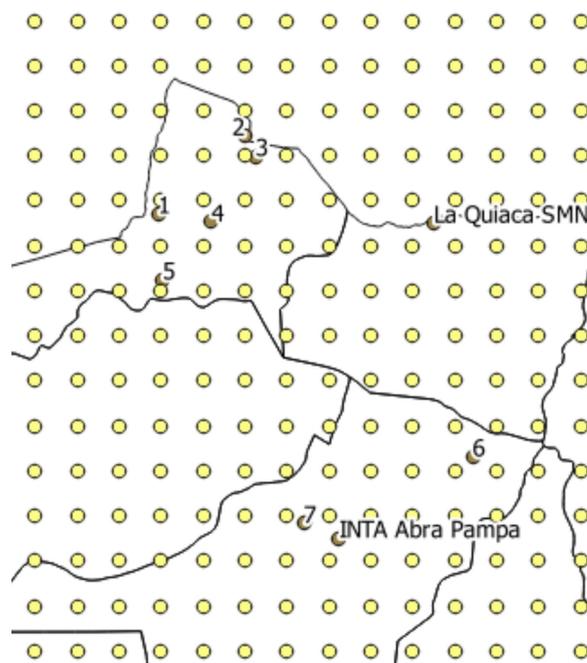


Figura 1. Puntos de grillas de la precipitación diaria estimada por el algoritmo IMERG y filtrada para la zona de estudio. (Fuente: elaboración propia en base a datos de la NASA, 2018).

Al no coincidir los valores de precipitación de los puntos de grilla con los sitios de estudio, se ha elaborado la interpolación de los mismos mediante la técnica kriging.

$$PP_{(La\ Quiaca)} = \lambda_1 * PP_{(punto\ de\ grilla\ 1)} + \dots + \lambda_n * PP_{(punto\ de\ grilla\ n)}$$

Donde:

PP_(La Quiaca): es el valor interpolado de precipitación diaria, utilizando el modelo en cuestión

PP_(punto de grilla n): es el valor de precipitación diario obtenido del IMERG en el punto de grilla n.

λ_i : representan los pesos o ponderaciones correspondientes a cada punto de grilla.

El procedimiento para el cálculo de los valores λ_i , es común para todos los modelos de ajuste del semivariograma. Tanto el valor de meseta como el de rango, se obtienen del semivariograma experimental diario omnidireccional (Figura 2).

$$\gamma_{(h)} = 0.5 N_{(h)} \sum [Punto\ de\ grilla_{(x)} - Punto\ de\ grilla_{(x+h)}]^2$$

Donde:

$\gamma(h)$: es la semivarianza para todos los puntos de grillas localizadas en el espacio separado por el intervalo de distancia h (Figura 2).

$N(h)$: es el número total de pares de puntos de grillas separados por un intervalo de distancia h.

Punto de grilla (x): es el valor de precipitación obtenida por la técnica IMERG en el punto de grilla, en una localización x.

Punto de grilla (x+h): valor de precipitación obtenida por la técnica IMERG en el punto de grilla a la distancia de intervalo h desde x.

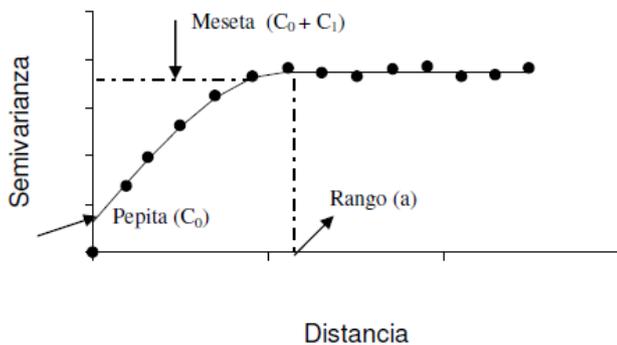


Figura 2. Semivariograma experimental.

lo que se reemplaza únicamente, es el algoritmo de cada modelo, al realizar el ajuste del semivariograma diario (Fig.3).

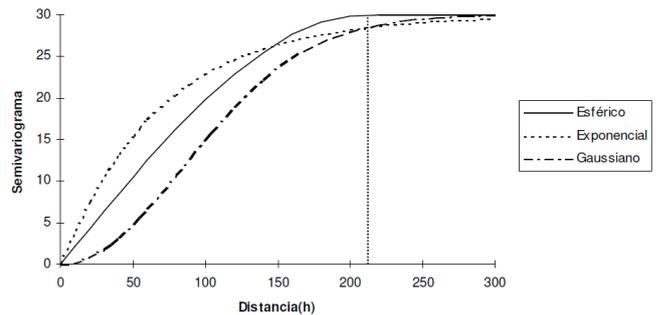


Figura 3. Diferentes modelos para el ajuste del semivariograma.

Para la ejecución de la interpolación, se aplicó el programa Surfer versión 14 (Golden Software, Inc), el cual posee diferentes metodologías de interpolación, y los tres modelos de ajuste del método kriging.

Validación de los modelos de interpolación

Se realizó la bondad de ajuste entre los valores observados y los estimados a través del coeficiente de correlación (R) (Serio y otros, 2007) y los estadísticos sugeridos por Willmot (1982) (figura con una t en la bibliografía corregir): raíz del error cuadrático medio (RMSE), error absoluto medio (MAE) y el sesgo (MBE).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}}; \quad MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |P_i - O_i|}{N}; \quad MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N}$$

Donde:

O_i : valores de precipitaciones medidas en superficie.

\hat{P}_i : valores de precipitaciones interpoladas por el método Kriging, para los diferentes modelos.

N : números totales de datos.

Menores valores de MAE indican un método con pocos errores (Villatoro y otros, 2008); el RMSE evalúa el error global de la precipitación interpolada diaria, y el MBE determina la desviación de los datos estimados con respecto a los datos observados, siendo valores negativos una subestimación y positivos una sobreestimación (Abad Encalada, 2014). Los valores de precipitación diaria medidas

en superficie, necesarios para la validación de las estimaciones, fueron adquiridos de la base de datos de la Estación Meteorológica INTA Abra Pampa.

Evapotranspiración

Dada la inexistencia de datos meteorológicos de los sitios en estudio, se procedió a estimar la ET de las localidades más cercanas a los sitios en las que exista datos climáticos (Tabla 1, Fig. 4).

| Departamento | Sitio | Localidad más cercana | Distancia (en km) |
|----------------|-------|-----------------------|-------------------|
| Santa Catalina | 1 | Oratorio | 14,4 |
| | 2 | Santa Catalina | 5,75 |
| | 3 | Santa Catalina | 5,13 |
| | 4 | Oratorio | 0,29 |
| | 5 | Oratorio | 20,05 |
| Cochinoca | 6 | Lulluchayoc | 17,84 |
| | 7 | INTA | 10,23 |
| | | Abra Pampa | |

Tabla 1. Localidades con datos climáticos más cercanas a los sitios de estudio.

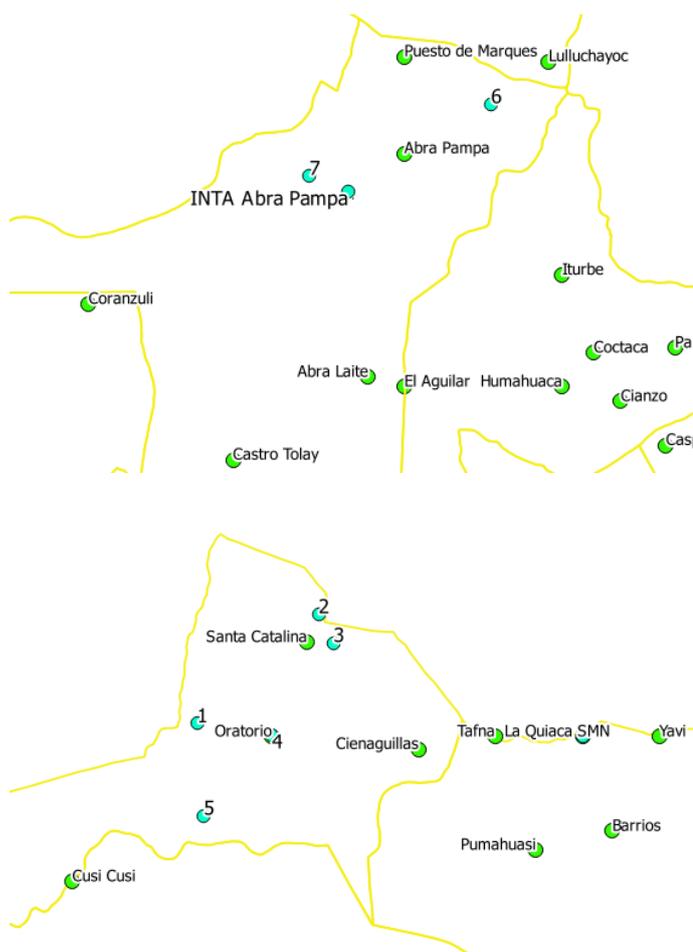


Figura 4. Ubicación geográfica de las localidades más cercanas a los sitios de estudio.

El cálculo de la ET fue empleando la ecuación de Hargreaves y Samani (1985), cuya expresión de estimación es:

$$ET = 0.0023 \cdot RA \cdot (T_{max} - T_{min}) \cdot 0.5 \cdot (T + 17,78)$$

Donde:

ET: evapotranspiración diaria (mm/día)

T: temperatura media diaria del aire (°C)

RA: radiación astronómica diaria, convertida en mm/día

(Tmax-Tmin): diferencia entre temperatura máxima y mínima diaria del aire (°C)

La expresión de la fórmula de la Radiación astronómica diaria es:

$$RA = \frac{24 - 60}{\pi} C_s d_r [\omega_s \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s]$$

Donde:

- RA: radiación solar en el tope de la atmósfera [MJ m⁻² día⁻¹]

- C_s: constante solar = 0,082 MJ m⁻² min⁻¹

- d_r: distancia relativa inversa Tierra-Sol

- ω_s: ángulo horario a la puesta del Sol [rad]

- φ: latitud [rad]

- δ: declinación solar [rad]

La distancia relativa inversa Tierra-Sol, el ángulo horario a la puesta del sol y la declinación solar se calculan como:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{2 \pi}{365} J \right)$$

$$\delta = 0,409 \sin \left(\frac{2 \pi}{365} J - 1,39 \right)$$

$$\omega_s = \arcsin [-\tan \phi \tan (\delta)]$$

Donde J es el número del día en el año entre el 1 (1 enero) y el 365 o 366 (31 diciembre).

Para ajustar los valores de ET mensual (H-S) a la de (P-M) se aplica el modelo propuesto por Moreno y otros (2014), el cual posee un coeficiente de determinación $R^2 = 0,88$.

$$ET_{aj} = 0,8129 * (ET_{H-S}) + 3,9665$$

Donde:

ET_{aj}: Es el valor de ET H-S ajustado a P-M.

ET H-S: Es el valor de ET por la ecuación de H-S (1985).

Para estimar valores a escala diaria, se transforman los valores mensuales medios de ET_{aj} a valores medio diarios, con una función lineal de tercer orden.

Balance de agua en el suelo

Con los valores interpolados y validados de precipitación diaria, la ET ajustada diaria y las constantes hídricas obtenidas tanto por SPAW como en laboratorio, se estimó para cada una de los sitios en estudio la variación diaria del agua del suelo, empleando la metodología del BHOA. La misma, está representada por las variables Almacenajes y Excesos (Alm+Exc) (Murphy y Hurtado, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Constantes Hídricas

Las tablas 2 y 3, muestran los valores de CC y PMP, expresado en mm de lámina de agua, para los departamentos Santa Catalina y Cochinocha (Toconás, 2017). El software SPAW estima la CC y PMP. El método del Terrón Húmedo solo determina valores de CC, siendo su correspondiente valor de PMP estimado mediante la ecuación sugerida por Grassi (1988):

$$PMP_{estimado} = (CC/2) - 1$$

| SITIO | Profundidad (cm) | Constantes Hídricas (en mm de Lámina de Agua) | | | |
|-------|------------------|---|-------|-------|--------|
| | | Departamento Santa Catalina | | | |
| | | CC* | PMP** | CC*** | PMP*** |
| 1 | 0-20 | 31,37 | 13,68 | 68,6 | 37,6 |
| | 0-40 | 73,48 | 32,74 | 136,4 | 84,8 |
| 2 | 0-20 | 28,87 | 12,43 | 45,2 | 23 |
| | 0-40 | 71,24 | 31,62 | 84,6 | 44,6 |
| 3 | 0-20 | 34,41 | 15,2 | 33,4 | 16,6 |
| | 0-40 | 88,49 | 40,25 | 126,6 | 87,2 |
| 4 | 0-20 | 25,49 | 10,74 | 31,6 | 15,6 |
| | 0-40 | 52,46 | 22,23 | 67,8 | 31,8 |
| 5 | 0-20 | 23,55 | 9,77 | 50,8 | 30,8 |
| | 0-40 | 70,43 | 31,22 | 110,2 | 69 |

Tabla 2. Constantes hídricas, expresadas en lámina de agua, obtenida por determinaciones y estimaciones (*CC método terrón húmedo; ** PMP según Grassi 1988; * CC y PMP según SPAW).**

| SITIO | Profundidad (cm) | Constantes Hídricas (en mm de Lámina de Agua) | | | |
|-------|------------------|---|-------|-------|--------|
| | | Departamento Cochinocha | | | |
| | | CC* | PMP** | CC*** | PMP*** |
| 6 | 0-20 | 21,45 | 8,73 | 23,8 | 11,8 |
| | 0-40 | 59,28 | 25,64 | 78 | 47,4 |
| | 0-60 | 82,01 | 35 | 106 | 63,6 |
| 7 | 0-20 (Estimado) | 15,63 | 5,81 | 17 | 7,2 |
| | 0-40 | 31,25 | 11,63 | 34 | 14,4 |

Tabla 3. Constantes hídricas, expresadas en lámina de agua, obtenida por determinaciones y estimaciones. (*CC método terrón húmedo; ** PMP según Grassi 1988; * CC y PMP según SPAW)**

Precipitación

La tabla 4 muestra los valores de precipitación interpolada por los tres modelos (Exponencial, Gaussiano y Esférico) para el sitio en donde está ubicado la Estación INTA Abra Pampa. En ellas se presentan los valores mensuales, ya que su presentación en forma diaria implicaría una tabla con 731 filas para representar el periodo estudiado.

| Año | Mes | PP-Kriging Exponencial | PP-Kriging Gaussiano | PP-Kriging Esférico | PP-Superficie |
|------|------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| 2016 | Ene | 89 | 107 | 88 | 21 |
| | Feb | 96 | 110 | 94 | 52 |
| | Mar | 0 | 2 | 1 | 0 |
| | Abr | 0 | 8 | 4 | 2 |
| | May | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Jun | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Jul | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | Ago | 0 | 1 | 0 | 2 |
| | Sep | 4 | 7 | 4 | 1 |
| | Oct | 18 | 34 | 18 | 1 |
| | Nov | 64 | 132 | 143 | 4 |
| | Dic | 170 | 167 | 171 | 23 |
| Año | 441 | 568 | 523 | 108 | |
| 2017 | Ene | 368 | 388 | 380 | 42 |
| | Feb | 174 | 207 | 179 | 16 |
| | Mar | 396 | 398 | 406 | 100 |
| | Abr | 26 | 23 | 27 | 0 |
| | May | 1 | 1 | 1 | 0 |
| | Jun | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Jul | 7 | 5 | 6 | 0 |
| | Ago | 1 | 1 | 1 | 0 |
| | Sep | 14 | 20 | 14 | 0 |
| | Oct | 6 | 6 | 6 | 0 |
| | Nov | 72 | 56 | 72 | 1 |
| | Dic | 549 | 552 | 551 | 64 |
| Año | 1614 | 1657 | 1643 | 223 | |

Tabla 4. Valores de precipitación mensual, expresado en milímetros, (mm) interpolada por los tres modelos y los registrados en superficie, para la Estación INTA Abra Pampa.

Los valores en los diferentes modelos se asemejan al régimen tipo en la región; además, se observa un comportamiento irregular de los mismos, existiendo meses en los que se subestiman o sobrestiman a los valores registrados en superficie. En la tabla 5, se presentan un resumen de los estadísticos R, RMSE, MAE y MBE aplicados a los datos de precipitación, con su nivel de significancia estadística.

| Estadísticos | Modelos | INTA AP |
|--------------|----------------|-----------|
| R | M. Exponencial | 0.272*** |
| | M. Gaussiano | 0.273*** |
| | M. Esférico | 0.266*** |
| RMSE | M. Exponencial | 12.968*** |
| | M. Gaussiano | 13.228*** |
| | M. Esférico | 13.382*** |
| MAE | M. Exponencial | 2.717*** |
| | M. Gaussiano | 2.963*** |
| | M. Esférico | 2.864*** |
| MBE | M. Exponencial | 2.360*** |
| | M. Gaussiano | 2.593*** |
| | M. Esférico | 2.516*** |

Tabla 5. Valores de R y SE al 99 (*) por ciento, RMSE, MAE y MBE para la Estación INTA Abra Pampa.**

El modelo gaussiano presentó los mayores valores de correlación (R) entre la precipitación en superficie y la estimada con sensores remotos, seguida por el modelo exponencial. Los tres modelos presentaron un nivel de significancia al 99 por ciento. No obstante, el modelo exponencial, al presentar los menores valores de RMSE, MAE y MBE, posee el menor error global en las estimaciones. Aun cuando los tres modelos sobrestiman los valores de precipitación, el exponencial es el que lo hace en menor magnitud (MBE=2.36 mm); por consiguiente, fue elegido como el método para interpolar los valores diarios de precipitaciones en los sitios en estudio. La tabla 6 contiene los valores de precipitación diaria interpoladas mediante el modelo exponencial para los lugares de estudio. Se presentan los valores mensuales para el periodo 2016-2017, ya que en forma diaria implicaría una tabla con 731 filas para representar el periodo estudiado.

| Año | Mes | PP-Kriging Exponencial | | | | | | |
|------|-----|------------------------|-----|-----|-----|------|------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2016 | Ene | 51 | 61 | 60 | 94 | 72 | 111 | 104 |
| | Feb | 59 | 67 | 70 | 105 | 85 | 98 | 97 |
| | Mar | 61 | 67 | 70 | 92 | 87 | 7 | 1 |
| | Abr | 61 | 65 | 67 | 91 | 87 | 1 | 1 |
| | May | 61 | 67 | 70 | 90 | 87 | 1 | 0 |
| | Jun | 61 | 67 | 70 | 88 | 87 | 0 | 0 |
| | Jul | 61 | 66 | 67 | 87 | 87 | 0 | 0 |
| | Ago | 54 | 89 | 99 | 108 | 78 | 3 | 0 |
| | Sep | 53 | 96 | 103 | 113 | 63 | 10 | 3 |
| | Oct | 55 | 96 | 103 | 110 | 63 | 7 | 18 |
| | Nov | 55 | 97 | 105 | 110 | 63 | 123 | 41 |
| | Dic | 53 | 97 | 105 | 92 | 59 | 390 | 160 |
| Año | 51 | 73 | 88 | 85 | 59 | 751 | 425 | |
| 2017 | Ene | 48 | 70 | 80 | 82 | 49 | 418 | 300 |
| | Feb | 58 | 69 | 80 | 84 | 49 | 239 | 243 |
| | Mar | 58 | 68 | 78 | 84 | 49 | 7 | 1 |
| | Abr | 58 | 68 | 78 | 84 | 49 | 1 | 1 |
| | May | 58 | 59 | 73 | 84 | 42 | 1 | 0 |
| | Jun | 58 | 59 | 73 | 85 | 42 | 0 | 0 |
| | Jul | 58 | 59 | 73 | 87 | 42 | 0 | 0 |
| | Ago | 58 | 60 | 75 | 94 | 42 | 3 | 0 |
| | Sep | 58 | 60 | 75 | 95 | 43 | 10 | 3 |
| | Oct | 61 | 67 | 83 | 95 | 46 | 7 | 18 |
| | Nov | 61 | 68 | 83 | 95 | 46 | 123 | 41 |
| | Dic | 70 | 79 | 94 | 119 | 58 | 486 | 463 |
| Año | 100 | 120 | 118 | 119 | 125 | 1295 | 1070 | |

Tabla 6. Valores interpolados de precipitación mensual (método exponencial) de los sitios en estudio

Evapotranspiración

De igual manera que la precipitación, en la Tabla 7, se presenta la ET mensual según H-S Ajustada (ETaj) para las localidades más cercanas a los sitios en estudio.

| Mes | ET H-S Aj (mm) | | | |
|-----|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | Abra Pampa INTA (Sitio 7) | Lulluchayoc (Sitio 6) | Santa Catalina (Sitios 2-3) | Oratorio (Sitios 1-4-5) |
| Ene | 5,1 | 4 | 4,3 | 2,7 |
| Feb | 4,8 | 4 | 4,3 | 4,4 |
| Mar | 4,5 | 3,9 | 3,7 | 3,9 |
| Abr | 3,9 | 3,4 | 3,5 | 3,6 |
| May | 2,8 | 2,9 | 3 | 3,1 |
| Jun | 2,5 | 2,7 | 3 | 3 |
| Jul | 2,5 | 2,7 | 2,9 | 2,9 |
| Ago | 3,2 | 3,1 | 3,4 | 3,4 |
| Sep | 4,6 | 3,9 | 4,1 | 4,2 |
| Oct | 5,4 | 4,4 | 4,5 | 4,7 |
| Nov | 5,7 | 4,5 | 4,4 | 4,7 |
| Dic | 5,4 | 4,1 | 4,4 | 4,3 |

Tabla 7. Valores mensuales ET mensual según H-S Ajustada (ETaj) para los lugares más cercanos a los sitios en estudio.

Estimación de agua en el suelo

Las figuras 5 a 11, muestran la estimación diaria de agua en el suelo, utilizando la metodología del BHOA para los sitios 1 al 5 en el departamento Santa Catalina, y para los sitios 6 y 7 del departamento Cochinoaca, a las profundidades consideradas en la Tabla 3. El balance constituye una relación de lo que ingresa por precipitación y lo que sale por demanda atmosférica (ET) figuras 6 al 12, muestran la estimación diaria de agua en el suelo, utilizando la metodología del BHOA para los sitios del 1 al 5, departamento Santa Catalina, y para los sitios 6 y 7, departamento Cochinoaca. El

balance constituye una relación de lo que ingresa por precipitación y lo que sale por demanda atmosférica (ET),

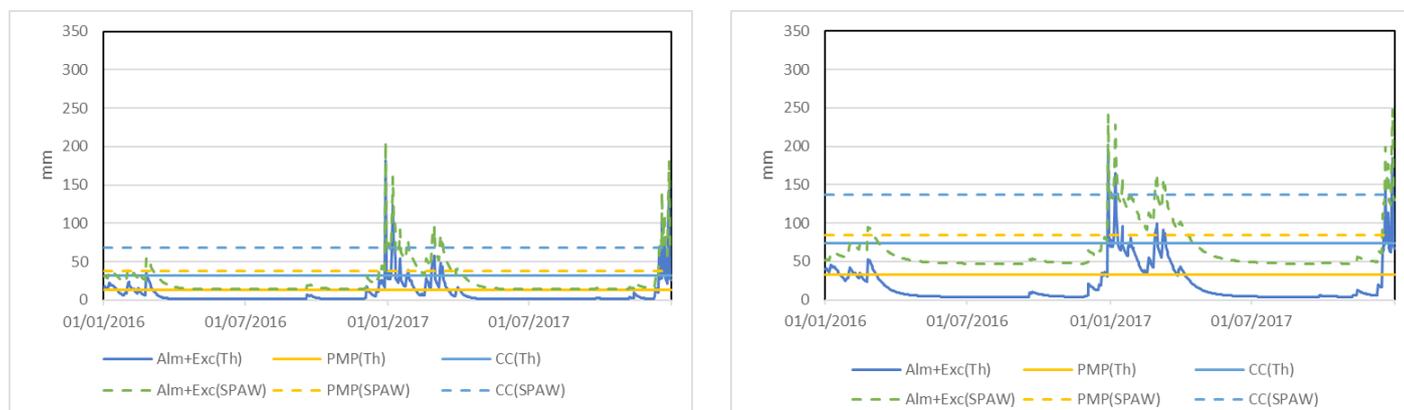


Figura 5. Estimación del agua del suelo, para la profundidad entre 0-20cm (izquierda) y 0-40cm (derecha), en el sitio 1. Departamento Santa Catalina

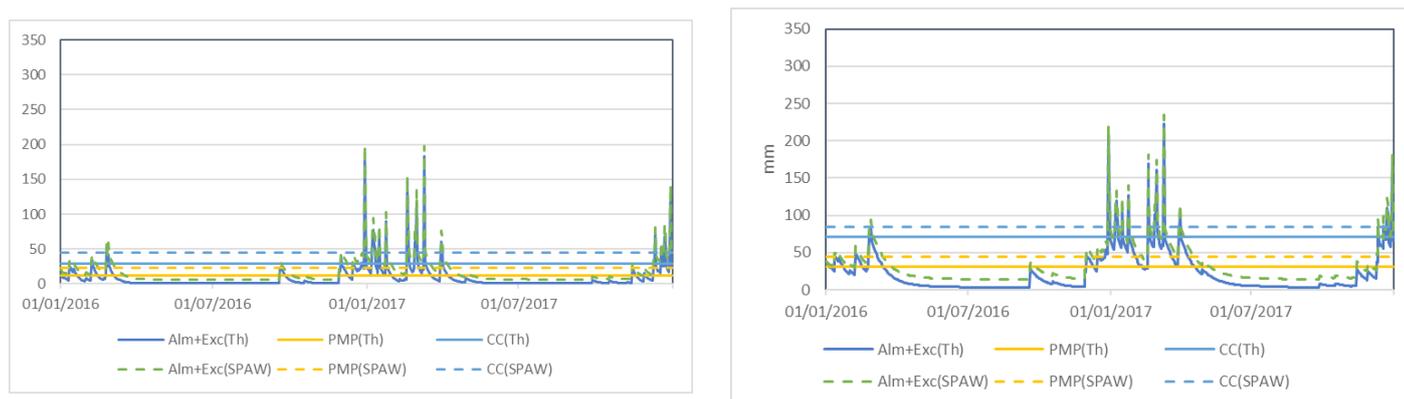


Figura 6. Estimación del agua del suelo, para la profundidad entre 0-20cm (izquierda) y 0-40cm (derecha), en el sitio 2. Departamento Santa Catalina

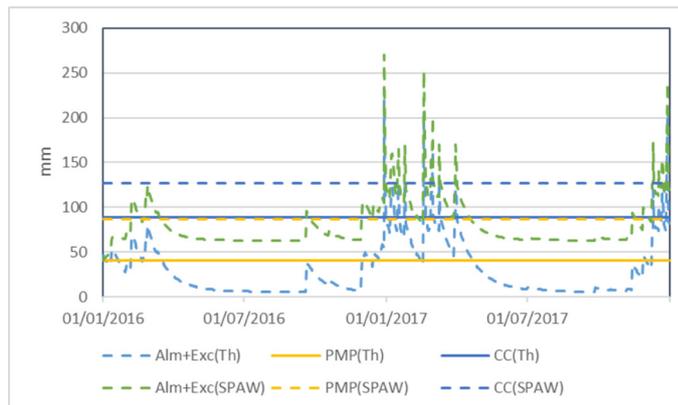
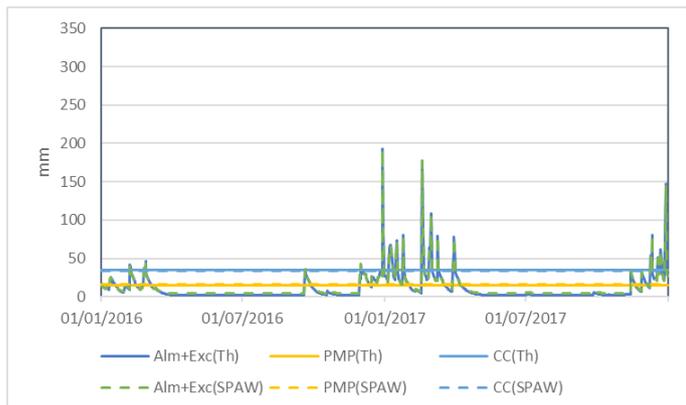


Figura 7. Estimación del agua del suelo, para la profundidad entre 0-20cm (izquierda) y 0-40cm (derecha), en el sitio 3. Departamento Santa Catalina

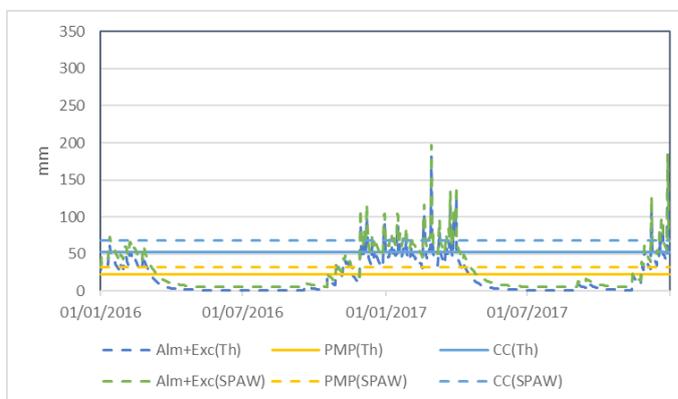
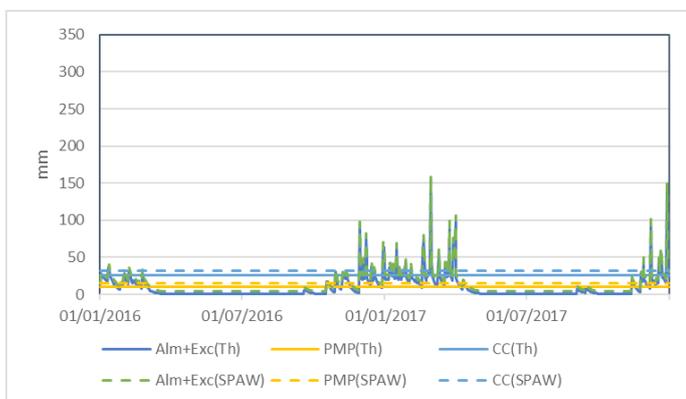


Figura 8. Estimación del agua del suelo, para la profundidad entre 0-20cm (izquierda) y 0-40cm (derecha), en el sitio 4. Departamento Santa Catalina

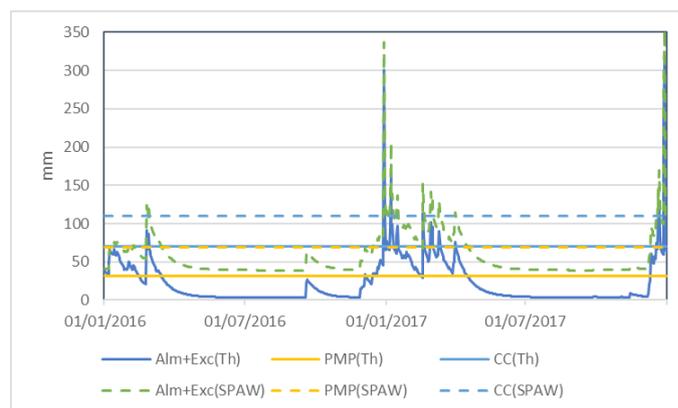
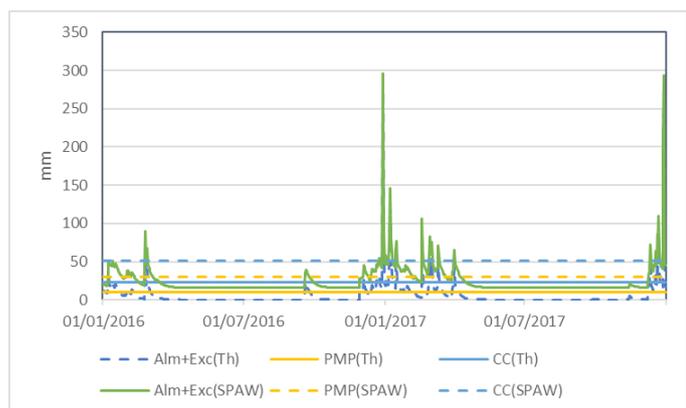


Figura 9. Estimación del agua del suelo, para la profundidad entre 0-20cm (izquierda) y 0-40cm (derecha), en el sitio 5. Departamento Santa Catalina

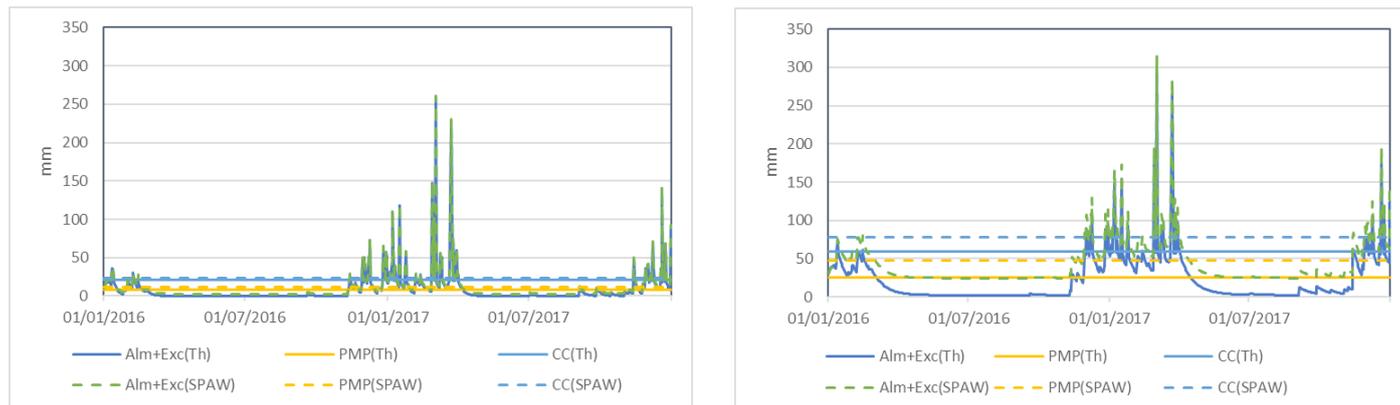


Figura 10. Estimación del agua del suelo, para la profundidad entre 0-20cm (izquierda) y 0-40cm (derecha), en el sitio 6. Departamento Cochinoca

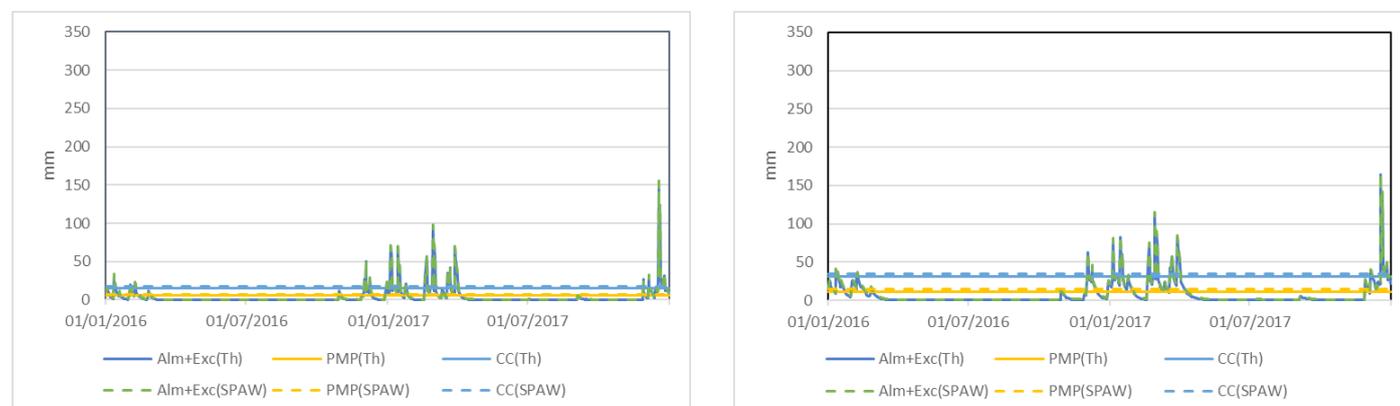


Figura 11. Estimación del agua del suelo, para la profundidad entre 0-20cm (izquierda) y 0-40cm (derecha), en el sitio 7. Departamento Cochinoca.

El agua en el suelo calculada con datos interpolados y ajustados para los sitios de estudio, sigue el mismo patrón de variación que la estimada con valores medidos en superficie. La capacidad de campo estimada por SPAW, tiende a ser mayor. Esto se debe a que los valores de las constantes hídricas estimadas con SPAW son superior a los valores obtenidos en laboratorio en aproximadamente un 40 por ciento.

En la tabla 8, se presentan los valores de R, considerando la relación entre la estimación de agua en el suelo calculada con las constantes hídricas de ambos métodos.

Tabla 8. Valores de R y SE al 99 (***) por ciento, para la estimación de agua en el suelo a partir de los valores de constantes hídricas calculadas mediante Terrón Húmedo y SPAW, para los sitios en estudio.

| Sitio | Prof (cm) | R |
|-------|-----------|----------|
| 1 | 0-20 | 0.963*** |
| | 0-40 | 0.968*** |
| 2 | 0-20 | 0.988*** |
| | 0-40 | 0.998*** |
| 3 | 0-20 | 0.998*** |
| | 0-40 | 0.956*** |
| 4 | 0-20 | 0.998*** |
| | 0-40 | 0.998*** |
| 5 | 0-20 | 0.998*** |
| | 0-40 | 0.998*** |
| 6 | 0-20 | 0.999*** |
| | 0-40 | 0.995*** |
| 7 | 0-60 | 0.991*** |
| | 0-20 | 0.999*** |
| | 0-40 | 0.999*** |

En todos los sitios, y para cada profundidad, la significancia es del 99 por ciento, lo que valida la estimación del contenido de agua del suelo empleando las constantes hídricas calculadas con el software SPAW.

CONCLUSIONES

Una alternativa para aquellas regiones que no posean datos de precipitación registradas en superficie, es la utilización de valores de precipitación estimadas por sensores remotos; resultando ser una aproximación adecuada para la estimación del agua en el suelo.

De los modelos de interpolación de la técnica Kriging, el exponencial constituyó en este trabajo una alternativa adecuada para estimar los valores de la precipitación en superficie, dado su menor error en los estadísticos RMSE y MAE.

El ajuste de la Evapotranspiración (Hargreaves-Samani) en los sitios de estudio es una herramienta útil cuando se carece de datos para efectuar el cálculo de la misma por Penman-Monteith (FAO 56).

La estimación del agua del suelo por el modelo BHOA, sigue adecuadamente el régimen de agua edáfica típico de la región, tornándose una herramienta de planificación agropecuaria.

Los resultados obtenidos son parciales y se debería efectuar el mismo análisis con mayor número de muestras de los sitios estudiados, a fin de obtener valores con mayor precisión agropecuaria.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Fabio David Alabar, a la Ing. Agr. Mg. Sc. Mónica Patricia Arias y al Ing. Agr. Mg. Sc. Rafael Horacio Hurtado. Agradezco la paciencia, tiempo y dedicación que tuvieron para que esto saliera de manera exitosa. Son parte de la columna vertebral de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Abad Encalada, I. O. 2014. Estimación de precipitación espacial mediante correlación con variables secundarias y la ayuda de tecnologías de información geográfica. Disponible en: <http://dspace>.

ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/19857/1/Tesis.pdf. Último acceso: 27 diciembre 2018

Alabar, F.; Hurtado, R.; Arias, P.; Valdiviezo Corte, M.; Moreno, C.; Mayo, H.; Portal, & M.; Riquelme A. 2014. Determinación de las constantes hídricas de los suelos de los valles templados y cálidos de Jujuy. Acta de la Reunión Binacional Uruguay - Argentina de Agrometeorología y XV Reunión Argentina de Agrometeorología. 103-104. ISBN 978-987-688-082-4.

Botey, R. & Moreno García, J. M. 2015. Metodología para estimar la humedad del suelo mediante un balance hídrico exponencial diario. Disponible en: www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/balance_hidrico/Metodologia.pdf. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Damiano F. & Taboada, M.A. 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedotransferencia en suelos Agrícolas de la Región Pampeana. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Vol. 18, 2: 77-88.

Draper, D. W.; Newell, D. A.; Wentz, F. J.; Krimchansky, S. & Skofronick-Jackson, G. M. 2015. The Global Precipitation Measurement (GPM) Microwave Imager (GMI): Instrument Overview and Early On-Orbit Performance. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. Vol. 8, 7:3452-3462. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7052302&isnumber=7192754>. Último acceso: 27 diciembre 2018.

FAO. 2015. Los suelos en el ciclo del agua. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/326296/>. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Fernández Long, M.E.; Spescha, L.; Barnatán, I. & Murphy, G. 2012. Modelo de balance hidrológico operativo para el agro (BHOA). Disponible en: <http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/agronomiayambiente/2012fernandezlong.pdf>. ISSN: 2344-9039. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Gallardo, A. 2006. Geoestadística aplicada. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. 15 (3): 48-58. Disponible en: <https://www>.

revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/161. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Grassi, C.J. 1988. Fundamentos del riego. Serie riego y Drenaje. RD – 38. CIDIAT. Mérida.

Hargreaves, G. H. & Samani, Z. A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agric., 1(2): 96-99.

Henao, R. G. 2009. Introducción a la Geoestadística. Disponible en: ftp://ftp.ciat.cgiar.org/DAPA/projects/Cursos_Talleres/Curso_R/DOCUMENTOS/LIBRO%20DE%20GEOESTADISTICA.pdf. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Hou, A.Y.; Kakar, R.K.; Neeck S.; Azarbarzin A.A.; Kummerow C.D.; Kojima M.; Oki R.; Nakamura K. & Iguchi T. 2014. The Global Precipitation Measurement Mission. The Global Precipitation Measurement Mission. Bull. Amer. Meteor. Soc. 95:701-722. Disponible en <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00164.1>. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Hurtado, R.; Valdiviezo Corte, M.; Moreno, C.; Mayo, H.; Alabar, F.; Portal, M. & Riquelme. 2016. Informe climático sobre la sequía (2015-2016) ocurrida en la Puna Jujeña. FCA-UNJu.

Joyce, R. J.; Janowiak, J.E.; Arkin, P.A. & Xie, P. 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. Journal Hydrometeorology 5: 487-503.

Kidd, C.K.; Kniveton, M.C.; Todd, M.C. & Bellerby, T.J. 2003. Satellite rainfall estimation using combined passive microwave and infrared algorithms. Journal Hydrometeor 4:1088- 1104.

Méndez Rivas, R.A. 2016. Productos de precipitación satelital de alta resolución espacial y temporal en zonas de topografía compleja. Consultado en: <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/21480/RUTH%20ARACELLY%20M%C3%89NDZ%20RIVAS%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Moreno, C.A.; Portal, M.R.; Alabar, F. & Mayo, H. 2014. Comparación de métodos de estimación de

la Evapotranspiración para ajustar a la metodología de Penman-Monteith (FAO, 56) en Localidades del Noroeste Argentino. Acta de Reunión Binacional Uruguay-Argentina de Agrometeorología y XV Reunión Argentina de Agrometeorología 71-72. Piriápolis. ISBN 978-987-688-08.

Murphy, G. & Hurtado, R. 2011. Agrometeorología. Eudeba. Buenos Aires.

Nijssen, B. & Lettenmaier D. 2004. Effect of precipitation sampling error on simulated hydrological fluxes and states: Anticipating the Global Precipitation Measurement satellites. Journal Geophysical Research 109 (2). Disponible en: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2003JD003497>. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Osinaga, R.; Paoli, H.; Volante, J.; Chafatinos, T.; Nadir, A.; Castrillo, S.; Vale, L.; Morales M.; Elena, H. & Noé, Y. 2009. Adecuación a un Sistema de Información Geográfica del estudio "Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy) Convenio INTA-UNSa. Disponible en: http://anterior.inta.gob.ar/prorenea/info/resultados/suelos/RESULTADOS_ASOCIACIONES_pdf.a sp. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Penman-Monteith, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Royal Society London Proceedings Series A 193:120-146.

Pineda, C. & Viloria, J. 1997. Funciones de pedotransferencia para estimar la retención de humedad en suelos de la cuenca del lago de Valencia. Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y del Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela 5 (1-2): 39-45.

Sandoval, L.R.; Arias, M.P. & Hormigo, D.F. 2016. Evaluación de la Capacidad de Retención Hídrica de un Argiustol Vértico. Informe Pasantía con trabajo final. Carrera Ingeniería Agronómica. FCA-UNJu.

Saxton, K. 2009. Soil-Plant-Atmosphere-Water Field & Pond hidrology. USDA Agricultural Research Service. Disponible en: <https://data.nal.usda.gov/dataset/soil-plant-atmosphere-water-field-pond-hydrology/resource/c3069c68-b1a7-4423-94a9-76e6ea137e19>. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Serio, L.; Spescha, L. & Murphy, G. 2007. Validación de las precipitaciones decádicas en la región pampeana estimadas por el modelo atmosférico del ECMWF. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/284030469_VALIDACION_DE_LAS_PRECIPITACIONES_DECADICAS_EN_LA_REGION_PAMPEANA_ESTIMADAS_POR_EL_MODELO_ATMOSFERICO_DEL_ECMWF_VALIDATION_OF_10-. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Skofronick-Jackson, G.; Petersen, W.; Berg, W.; Kidd, C.; Stocker, E.; Kirschbaum, D.; Kakar, R.; Braun, S.; Huffman, G.; Iguchi, T.; Kirstetter P.; Kummerow, C.; Meneghini, R.; Oki, R.; Olson, W.; Takayabu, Y.; Furukawa K. & Wilhelm, T. 2017: The Global Precipitation Measurement (GPM) Mission for Science and Society. Bulletin American Meteorology Society 98(8): 1679-1695. Disponible en: <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/BAMS-D-15-00306.1>. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Toconás, P.J.A. 2017. Determinación de las constantes hídricas del suelo en los departamentos de Santa Catalina y Cochinoca de la Provincia de Jujuy. V jornadas sobre ciencias del suelo del NOA para estudiantes y jóvenes profesionales. ISBN: 978-987-3926-27-3.

Villatoro, M.; Henríquez, C. & Sancho, F. 2008. Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, ca, cice y p del suelo. Agronomía Costarricense 32 (1): 95-105. Consultado en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/viewFile/6773/6460>. Último acceso: 27 diciembre 2018.

Willmot, C. J. 1982. Some commentas on the evaluation of model perfomance. Bulletin of the American Meteorological Society 63: 1309-1313.

Zucarelli, A.; Paris, M.; Macor, J. 2014. Utilización de kriging para la elaboración de curvas isohietas de precipitación mensual en la Provincia de Santa Fe, Argentina. 2° Encuentro de Investigadores en Recursos hídricos. Disponible en: <http://www.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje3/3.39.pdf>. Último acceso: 27 diciembre 2018.

ESTIMACIÓN DEL AGUA EN SUELO MEDIANTE UN MODELO DE BALANCE HIDROLÓGICO DIARIO

WATER ESTIMATION IN SOIL THROUGH A DAILY HYDROLOGICAL BALANCE MODEL

Alabar, F.¹; Hurtado, R.¹; Portal, M.¹; Arias, P.²; León Ruíz, S.³; Mayo, H.¹; Valdiviezo Corte, M.¹; Moreno, C.¹; Riquelme, A.¹

RESUMEN

La disponibilidad de agua en el suelo es una herramienta de planificación agropecuaria; una forma de conocer la reserva de agua, es estimarla a partir del balance hidrológico. El objetivo de este trabajo es implementar un modelo de balance diario para cuantificar la disponibilidad de agua en suelo, en seis localidades de las provincias de Jujuy y Salta. Para el cálculo, se considera la metodología del Balance Operativo hidrológico para el agro; utilizando precipitación satelital e interpolando los datos (Kriging) cuando no coinciden los valores de los puntos de grillas con los de las estaciones en superficie; para ello se recurre a tres modelos: exponencial, gaussiano y esférico, este último es el que menor error presenta y ha resultado más preciso en todas las localidades, alcanzando los mayores valores de coeficiente de correlación. Los otros parámetros de entrada como la evapotranspiración, y las constantes hídricas corresponden a las obtenidas por Moreno y otros (2014) y Alabar y otros (2016), respectivamente. El agua en el suelo calculada con los valores de precipitación interpolada y evapotranspiración ajustada, sigue el mismo patrón de variación interanual que la calculada con datos de superficie, por lo que la metodología de estimación resulta adecuada para la planificación agrícola.

Palabras clave: Agua en el suelo. Información Satelital. Interpolación.

SUMMARY

Water availability in the soil is an agricultural planning tool; a way to know the water reserve, is to estimate it from the hydrological balance. The objective of this study is to implement a daily balance model to quantify water availability in soil, in six localities in the provinces of Jujuy and Salta. For the calculation, the hydrological operational balance methodology for agriculture is considered; using satellite precipitation and interpolating the data (Kriging) when the values of the grid points do not coincide with those of the surface stations. For this, three models are used: exponential, Gaussian and spherical, the latter is the one with the lowest error and has been the most accurate in all localities, reaching the highest values of the coefficient correlation coefficient. The other input parameters such as evapotranspiration, and water constants correspond to those obtained by Moreno et al, (2014) and Alabar et al, (2016), respectively. The water in the soil, calculated with the values

of interpolated precipitation and adjusted evapotranspiration, follows the same interannual variation pattern as calculated with surface data, therefore the estimation methodology is suitable for agricultural planning.

Keywords: Interpolation. Satellite information. Water in the soil.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua en el suelo ha sido motivo de estudio desde los comienzos de la Agrometeorología, de interés de los agricultores y de los tomadores de decisión de la empresa agropecuaria; a una escala más amplia de los gobiernos, para asegurar la alimentación de sus respectivos estados, por ser la misma uno de los principales determinantes del rendimiento de los cultivos (Della Maggiora y otros, 2010; Fernández Long y otros, 2012). Una forma de conocer la reserva de agua en el suelo e implementar mejores prácticas para un uso más eficiente, es estimarla a través del balance hidrológico diario (BHD).

En el cálculo del BHD, la precipitación es la variable de mayor peso. En Jujuy y Salta, existen pocas estaciones que miden este parámetro, y se encuentran distribuidas en forma heterogénea, quedando grandes regiones agrícolas sin datos. Una alternativa para obtener información detallada de la variabilidad temporal y espacial de la lluvia, es a partir de sensores remotos (Joyce y otros, 2004; Gebremichael y otros, 2005; Huffman y otros, 2007). Entre los mayores avances en este campo, se destaca la incorporación de sensores de microondas pasivas en varios satélites, que permiten obtener mejores estimaciones de la precipitación (Kidd y otros, 2003). Una de las estimaciones que hace uso de esta nueva tecnología es la técnica CMORPH (Técnica MORPHing del Centro de Predicción del Clima) (Joyce y otros, 2004). Los datos así obtenidos han sido validados para el sudeste de Sudamérica, observándose que este procedimiento captura adecuadamente los eventos de precipitación, mostrando una buena relación en la intensidad relativa de los mismos.

CMORPH realiza un análisis de precipitación global con una muy elevada resolución espacial y temporal. Esta técnica estima la precipitación que proviene de observaciones de microondas satelitales de baja órbita y cuyas características se transmiten a través de información de propagación espacial obtenidas a partir de datos de IR (radiación infrarroja) mediante satélites geoestacionarios. En la actualidad se han incorporado estimaciones de precipitación derivadas de sensores en microondas pasivas como el DMSP 13, 14 y 15 (SSM / I), NOAA-15, 16, 17 y 18 (AMSU-B); AMSR-E y TMI a bordo de los satélites Aqua de la NASA y TRMM, respectivamente. Las mismas son generadas por algoritmos de Ferraro (1997) para SSM / I, Ferraro y otros (2000) para AMSU - B y Kummerow y otros (2001) para TMI, constituyendo un medio por el cual se pueden combinar las estimaciones de los algoritmos. Este método es extremadamente flexible, porque puede incorporar cualquier estimación de precipitación de satélite de microondas (Joyce y otros, 2004).

El método de CMORPH, al utilizar imágenes de radiación infrarroja de satélites geoestacionarios de microondas pasivas actualizadas cada media hora, continuamente está modificando la forma e intensidad de las precipitaciones mediante interpolaciones lineales ponderadas en el tiempo. Este proceso produce un análisis espacial y temporal de la precipitación derivada de microondas-completos, independientemente del campo de temperatura por infrarrojos. Esta técnica fue validada en varios países del mundo (Joyce y otros, 2004).

El segundo parámetro del BHD, es la evapotranspiración (ET), la misma puede ser medida u obtenida por métodos empíricos, entre ellos se incluye a: Thornthwaite (1945, 1948), Camargo (1971), Hargreaves y Samani (H-S) (1985), y además

con base físico matemático, Penman-Monteith (P-M) (FAO 56). La ecuación de P-M, presenta como limitante el número de parámetros necesarios para su estimación, sin embargo, es reconocida como un estándar para compararla con otras metodologías. En Jujuy y Salta, existe cierta dificultad a la hora de estimar la ET debido a la escasez de registros meteorológicos. Para superar esta situación, Moreno y otros (2014), han determinado una función general, para ajustar el cálculo de ET por H-S a P-M, aplicada para todos los meses del año.

Los últimos parámetros relacionados con la retención de agua en el suelo, son las constantes hídricas, las que se obtienen por medición in situ o a partir de sus propiedades físicas y químicas. Las mediciones in situ requieren de instrumental especializado, o procedimientos desarrollados en laboratorio, por lo que su determinación resulta ser costosa en tiempo y recursos. Por ello, se han desarrollado funciones que relacionan las variables del suelo con el contenido de agua, las cuales se denominan ecuaciones de pedotransferencia (EPT) (Damiano y Taboada, 2000). Pineda y Viloria (1997) en Venezuela, plantearon ecuaciones que estiman la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PM) a partir de regresiones lineales, la cual se considera una alternativa válida para estimar la retención de humedad del suelo. Damiano y Taboada (2000) en Argentina, realizaron estudios comparativos de EPT, demostrando que las mismas estiman aceptablemente los límites de retención de agua a partir de un mínimo de información disponible en la cartografía de suelo.

Correlaciones estadísticas entre la textura y el potencial hídrico del suelo pueden proporcionar estimaciones lo suficientemente precisas para gestionar el uso del agua. Este estudio fue desarrollado por Saxton (2009), y consiste en EPT similares a las reportadas previamente, pero que incluyen más variables para su obtención; este sistema predictivo fue programado en un modelo gráfico computarizado. Alabar y otros (2014) obtienen las primeras constantes hidrológicas de veinte asociaciones de suelos de los valles templados y cálidos de la provincia de Jujuy, utilizando el programa SPAW (Suelo-planta-atmósfera-agua, Versión 6.02) y la información provista por el Sistema de Información Geográfica del estudio de "Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy) Nadir y Chafatinos, 1990" (Osinaga y Paoli, 2009). Varios métodos

desarrollados en los últimos años han demostrado que las EPT, constituyen un sistema predictivo que integra el amplio conocimiento disponible de las variables físicas del suelo con la retención del agua edáfica.

Entre los modelos de BHD, se encuentran el "Bahicu" (Balance Hídrico de cultivos extensivos), desarrollado por Andriani (2012), que permite conocer diariamente la disponibilidad hídrica del cultivo mediante la capacidad de almacenaje de agua del perfil, la tasa de crecimiento de las raíces, la demanda atmosférica y el coeficiente de cultivo. Severina y otros (2012) consideran que el programa estima de manera precisa el contenido de agua en el suelo, y puede ser utilizado como una herramienta confiable para determinar los momentos de riego.

Botey y otros (2009) en España, determinaron el contenido de agua del suelo mediante el balance hídrico exponencial diario; la metodología incluye el cálculo de la evapotranspiración de referencia de P-M (FAO 56) y el balance de agua, con agotamiento exponencial de la reserva, considerando la precipitación como único aporte de agua al suelo. Los autores concluyen que es posible obtener buenos resultados con el balance hídrico, sólo cuando se utilizan valores apropiados de constantes hídricas. La metodología desarrollada por Botey y otros, (2009), es utilizada por el Área de Climatología y Aplicaciones Operativas (España); considera para su computo información fisiográfica para estimar las constantes hídricas, datos meteorológicos para la evapotranspiración y el método de interpolación "Kriging" para el cálculo de precipitación diaria (Botey y otros, 2015).

El Kriging es una técnica de interpolación que se basa en el análisis de la estructura geoestadística de variación de la variable, más que en una simple interpolación lineal. La función básica que describe la variabilidad espacial de la precipitación, se conoce como semivarianza y a su representación gráfica se la denomina semivariograma (Gallardo, 2006). Para interpretar el semivariograma se parte del criterio de que a menor distancia entre los sitios, mayor similitud o correlación espacial entre las observaciones (Heno, 2009).

El semivariograma proporciona información del comportamiento espacial de la variable; sin embargo, es necesario ajustar una función para

cuantificar el grado y escala de la variación espacial. Existen numerosos modelos que se utilizan en geoestadística, siendo los más usados: el modelo esférico, el exponencial, el gaussiano y el lineal. El ajuste a una función, permite extraer una serie de parámetros que son los que van a ser usados para la interpolación geoestadística (Kriging) y definen el grado y escala de variación espacial. Estos parámetros son el rango, el nugget (efecto pepita), el sill (o meseta), y la proporción de la varianza explicada por el espacio, la cual se expresa en porcentaje. El rango es la distancia a la que la semivarianza deja de aumentar; indica la distancia a partir de la cual las muestras son espacialmente independientes unas de otras y representa el tamaño de grano o mancha que corresponde a la variable. El nugget es la varianza no explicada por el modelo y se calcula analíticamente como la intercepción con el eje Y; también se la conoce como varianza error, puesto que la varianza de dos puntos separados por 0 metros (la intercepción con el eje Y) debería ser cero. Es por ello que esta varianza está normalmente indicando variabilidad a una escala inferior a la muestreada; además, los errores analíticos o de muestreo, también contribuyen a la aparición de la varianza error.

La máxima semivarianza encontrada entre pares de puntos se conoce como sill y debe coincidir con la varianza de la población. La proporción de la varianza explicada por el espacio proporciona el grado de variación espacial, y por tanto el grado de incertidumbre a la hora de interpolar puntos en el espacio. Un alto cociente indica una variable espacialmente muy predecible (Gallardo, 2006). Mediante esta metodología, Collado (1988) y Zucarelli y otros (2014), han estimado la precipitación mensual en México y en Argentina respectivamente, considerando a dicha metodología adecuada para el cálculo de precipitación.

El BHOA (balance hidrológico operativo para el agro), es un modelo de balance desarrollado por Fernández-Long y otros (2012), basado en la metodología de Thornthwaite-Mather con modificaciones, en el cual se calcula la evapotranspiración potencial por P-M y utilizan constantes hidrológicas representativas de los suelos agrícolas de la Argentina. El mismo proporciona una herramienta de decisión objetiva para los tomadores de decisión del sector agrícola y el político y a su vez constituye una base de datos de agua en el suelo,

para la comunidad científica y educativa.

El objetivo de ese trabajo es implementar un modelo de balance hídrico diario para cuantificar la disponibilidad de agua en suelo, en seis localidades de la provincia de Jujuy y Salta, utilizando ecuaciones de ajuste y técnicas de interpolación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se calculó el BHD para el periodo 2014-2016, mediante la metodología del BHOA, propuesta por Fernández Long y otros, (2012) para seis localidades de las provincias de Jujuy y Salta. Las estaciones con las que se trabajó fueron: Jujuy Aero (Lat., 24,38 S; Lon., 65,08 O; 905 m.s.n.m.; Localidad: Perico), Santo Domingo UNJu (Lat., 24,43 S; Lon., 65,12 O; 975 m.s.n.m.; Localidad: Santo Domingo), Jujuy UNJu (Lat., 24,02 S; Lon., 65,18 O; 1302 m.s.n.m.; Localidad: San Salvador de Jujuy) y La Quiaca (Lat., 22,10 S; Lon., 65,60 O; 3458 m.s.n.m.; Localidad: La Quiaca) ubicadas en Jujuy y Orán Aero (Lat., 23,15 S; Lon., 64,32 O; 357 m.s.n.m.; Localidad: Oran) y Tartagal Aero (Lat., 22,52 S; Lon 63,79 O; 500 m.s.n.m.; Localidad: Tartagal) ubicadas en Salta (Figura 1).



Figura 1. Estaciones de las Provincias de Jujuy y Salta

Estimación de la precipitación

Se utilizó la precipitación diaria obtenida de la técnica CMORPH, provista por el Servicio Meteorológico Nacional. Para acceder a la información se desarrolló una aplicación que realiza la tarea automática de descarga de los datos. La aplicación

utiliza un Protocolo de Transferencia de Archivos (FTP sigla en inglés de File Transfer Protocol), y realiza un filtrado de los datos para el área comprendida entre los límites geostacionarios (Lat., 21,375 S; Lon., 61,875 O) y (Lat., 26,625 S; Lon., 68,875 O), que incluye a las provincias de Jujuy y Salta. Esta información se presenta por medio de puntos de grilla con una resolución espacial de 0.1° y en forma diaria (Figura 2).

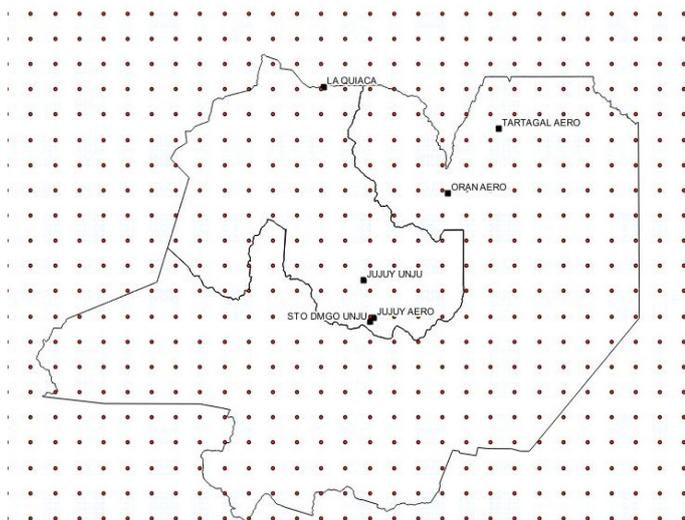


Figura 2. Puntos de grillas de la precipitación diaria por la técnica CMORPH.

Al no coincidir los valores de precipitación de los puntos de grillas con las estaciones en estudio, se recurrió a la interpolación de los mismos mediante la técnica de Kriging, con tres modelos de ajuste del semivariograma: exponencial, esférico y gaussiano. Esta técnica plantea que el valor de la variable puede producirse como una combinación lineal de todos los puntos de grillas intervinientes.

Validación de los modelos de interpolación

La bondad de ajuste de los tres modelos se realizó a través del coeficiente de correlación (R) entre los valores observados y los estimados (Serio y otros, 2007). Además, se calcularon otros estadísticos sugeridos por Willmott (1982): la raíz del error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio (MAE), y el sesgo (MBE).

Los menores valores de MAE, se asocian a un método con pocos errores (Villatoro, 2008). El valor RMSE evalúa el error global de la precipitación interpolada diaria. El MBE, determina la desviación

de los datos estimados con respecto a los datos observados, por lo que valores negativos subestimaron, y positivos sobreestimaron (Abad Encalada, 2014).

Evapotranspiración

Para el cálculo de la ET diaria, se utilizó la ecuación de Hargreaves y Samani (1985), la cual necesita datos de temperaturas y Radiación Astronómica. La expresión de estimación puede ser consultada en Murphy y Hurtado (2011).

Se aplicó la ecuación de ajuste propuesta por Moreno y otros, 2014, para los valores de ET mensual.

La ecuación general, permite ajustar los valores medios mensuales de la ET calculadas por H-S a P-M. Considera para el ajuste un coeficiente de correlación $r=0,94$ y un coeficiente de determinación $R^2 = 0,88$ (Moreno y otros, 2014).

Se convirtieron los valores mensuales de ETaj a escala diaria, con una función lineal de tercer orden, obteniéndose los valores climáticos diarios. Esta función permite obtener datos de evapotranspiración diarios en aquellas localidades que cuentan con información diaria (Moreno y otros, 2017).

Constantes Hídricas

Las constantes hídricas del suelo para las localidades en estudios corresponden al trabajo de Alabar y otros, 2016. El cual se basa en la estimación de la capacidad de campo, punto de marchitez y agua útil de 214 asociaciones de suelo a distintas profundidades, para las provincias de Jujuy y Salta, mediante ecuaciones de pedotransferencia. La profundidad de las constantes hídricas que se utilizó corresponde a su efectiva, la cual representa la profundidad hasta donde se pueden desarrollar las raíces de las plantas determinado en un análisis de suelo (Vilma y Arribillaga, 2013).

Balance de agua en el suelo

Con los valores de precipitación diaria, interpolados y validados, precipitación medida en superficie, la ET H-S (1985), ET ajustada diaria, y las constantes hídricas correspondientes a cada asociación que involucra a las localidades en estudio, se estimó la variación temporal del agua en el suelo, por medio de la metodología del BHOA. La misma, queda

representada por dos variables, Almacenes y Excesos (Alm+Exc) (Murphy y Hurtado, 2011).

acuerdo al régimen imperante en la región. En todos los modelos no existe un comportamiento regular de los valores, existiendo meses en los que se subestiman o sobrestiman

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación

Los valores de precipitación interpolados, en los diferentes modelos de ajuste, se distribuyen de

En la tabla 1, se presentan los valores de R, RMSE, MAE y MBE para los diferentes modelos en las localidades en estudio, y la significancia estadística (SE) para 90 (*), 95 (**) y 99 (***) por ciento.

| Estadísticos | Modelos | San Salvador de Jujuy | Santo Domingo | Jujuy Aero | La Quiaca | Oran | Tartagal |
|--------------|----------------|-----------------------|---------------|------------|-----------|----------|----------|
| R | M. Exponencial | 0.30 *** | 0.48 *** | 0.39 *** | 0.21 *** | 0.32 *** | 0.19 *** |
| | M. Gaussiano | 0.11 *** | 0.06 ** | -0,02 | -0,02 | 0.09 *** | 0.05 ** |
| | M. Esferico | 0.34 *** | 0.55 *** | 0.49 *** | 0.24 *** | 0.46 *** | 0.41 *** |
| RMSE | M. Exponencial | 11,98 | 10,98 | 11,79 | 9,45 | 15,65 | 24,19 |
| | M. Gaussiano | 11,71 | 11,27 | 13,92 | 11,86 | 17,32 | 19,86 |
| | M. Esferico | 9,83 | 9,61 | 11,10 | 5,83 | 10,93 | 10,33 |
| MAE | M. Exponencial | 3,45 | 3,18 | 3,43 | 1,68 | 4,41 | 5,31 |
| | M. Gaussiano | 3,91 | 3,50 | 4,01 | 2,75 | 4,94 | 5,32 |
| | M. Esferico | 2,95 | 2,75 | 3,07 | 1,21 | 3,45 | 3,48 |
| MBE | M. Exponencial | -0,31 | 0,32 | 0,37 | 0,92 | 0,68 | 1,87 |
| | M. Gaussiano | -0,72 | -0,28 | 0,09 | 1,56 | -0,21 | 0,87 |
| | M. Esferico | -0,93 | -0,12 | 0,39 | 0,44 | -0,35 | 0,08 |

Tabla 1. Valores de R y SE al 90 (*), 95 (**) y 99 (***) por ciento, RMSE, MAE y MBE para los diferentes modelos en las localidades en estudios.

El modelo esférico, es el más preciso para la interpolación de precipitación en todas las localidades en estudios (Abad Encalada, 2014; Villatoro, 2008). Los mayores valores de R están presentes en el modelo esférico, siendo éste y el exponencial los que presentan un nivel de significancia al 99 por ciento, en todas las localidades. El modelo gaussiano, presenta una correlación estadística con un nivel de significancia del 99 por ciento, en las localidades de San Salvador de Jujuy y Orán, mientras que en Tartagal y Santo Domingo la SE ocurre a un nivel del 95 por ciento. No existe SE a los niveles estudiados en las localidades de Perico y La Quiaca, para el modelo gaussiano. Las localidades de Santo Domingo y La Quiaca, presentan los valores extremos de R, 0.55 y 0.24, respectivamente, en el modelo esférico.

Los menores valores de MAE y RMSE, se observan utilizando el modelo esférico. La localidad que presenta el mayor error de interpolación es Tartagal (MAE=3.48 mm), y La Quiaca el menor (MAE=1.21 mm). Además, en La Quiaca se presenta

el menor error global de precipitación interpolada diaria (RMSE=5.83 mm), y en Perico el mayor (RMSE=11.10 mm).

Para la localidad de San Salvador de Jujuy, los tres modelos subestiman los valores precipitación, siendo el modelo exponencial en menor magnitud (MBE=-0.31 mm).

En las localidades de Perico, La Quiaca y Tartagal, los modelos sobrestiman los valores interpolados. Los menores valores MBE corresponden al modelo esférico para la localidad de La Quiaca (MBE=0.44 mm) y Tartagal (MBE=0.08 mm), mientras que el gaussiano para Perico (MBE=0.08 mm).

En Santo Domingo y Orán, los modelos esféricos y gaussianos subestiman la precipitación, mientras el exponencial la sobrestima. Ambas localidades presentan menores valores de subestimación que sobrestimación, para Santo Domingo se presenta en el modelo esférico (MBE=-0.12 mm) y en el modelo

gaussiano en Oran (MBE=-0.21 mm).

Evapotranspiración

Se considera que el modelo esférico, es el que mejor realiza la interpolación de la precipitación, ya que posee los mayores valores de asociación (R) entre los datos observados y estimados, y además el RMSE y MAE son los menores, más allá que el MBE no presente los menores valores relativos, en las localidades de San Salvador de Jujuy, Perico y Orán.

En la tabla 2, se muestran los valores de ET estimada por la ecuación de H-S (1985), y los ajustados. La tabla presenta los valores mensuales, ya que en forma diaria implicaría 1095 filas del periodo estudiado para las seis localidades.

| Año | Meses | ET H-S (mm/mes) | | | | | | ET aj (mm/mes) | | | | | |
|------|-------|-----------------------|---------------|--------|-----------|------|----------|-----------------------|---------------|--------|-----------|------|----------|
| | | San Salvador de Jujuy | Santo Domingo | Perico | La Quiaca | Oran | Tartagal | San Salvador de Jujuy | Santo Domingo | Perico | La Quiaca | Oran | Tartagal |
| 2014 | Ene | 168 | 181 | 189 | 145 | 196 | 191 | 141 | 151 | 158 | 121 | 163 | 159 |
| | Feb | 127 | 127 | 135 | 125 | 148 | 148 | 107 | 108 | 114 | 106 | 124 | 124 |
| | Mar | 120 | 124 | 129 | 137 | 131 | 133 | 102 | 105 | 109 | 115 | 110 | 112 |
| | Abr | 94 | 93 | 95 | 111 | 100 | 102 | 80 | 79 | 81 | 94 | 85 | 87 |
| | May | 80 | 76 | 82 | 90 | 81 | 75 | 69 | 66 | 70 | 77 | 70 | 65 |
| | Jun | 60 | 60 | 64 | 76 | 66 | 66 | 53 | 53 | 56 | 65 | 57 | 57 |
| | Jul | 80 | 80 | 84 | 80 | 92 | 88 | 69 | 69 | 72 | 69 | 79 | 76 |
| | Ago | 114 | 111 | 118 | 100 | 127 | 124 | 97 | 94 | 100 | 85 | 107 | 105 |
| | Sep | 133 | 131 | 139 | 127 | 142 | 142 | 112 | 111 | 117 | 107 | 119 | 120 |
| | Oct | 168 | 161 | 144 | 146 | 195 | 197 | 141 | 135 | 121 | 122 | 162 | 164 |
| | Nov | 162 | 161 | 173 | 158 | 174 | 163 | 135 | 135 | 145 | 133 | 145 | 136 |
| | Dic | 160 | 162 | 177 | 170 | 187 | 182 | 134 | 136 | 148 | 142 | 156 | 152 |
| 2015 | Ene | 163 | 170 | 178 | 139 | 180 | 188 | 136 | 142 | 149 | 117 | 150 | 157 |
| | Feb | 127 | 132 | 137 | 123 | 149 | 153 | 107 | 111 | 115 | 104 | 125 | 128 |
| | Mar | 115 | 121 | 127 | 127 | 141 | 146 | 98 | 103 | 107 | 108 | 118 | 122 |
| | Abr | 91 | 82 | 98 | 105 | 100 | 106 | 78 | 70 | 83 | 89 | 85 | 90 |
| | May | 74 | 79 | 78 | 89 | 76 | 75 | 64 | 68 | 67 | 77 | 66 | 65 |
| | Jun | 72 | 67 | 73 | 82 | 68 | 68 | 63 | 58 | 64 | 71 | 60 | 59 |
| | Jul | 78 | 74 | 80 | 80 | 85 | 86 | 67 | 64 | 69 | 69 | 73 | 74 |
| | Ago | 103 | 99 | 108 | 105 | 111 | 116 | 87 | 85 | 92 | 89 | 94 | 98 |
| | Sep | 121 | 121 | 128 | 127 | 140 | 134 | 102 | 102 | 108 | 108 | 118 | 113 |
| | Oct | 138 | 138 | 147 | 154 | 162 | 164 | 116 | 116 | 123 | 129 | 135 | 137 |
| | Nov | 142 | 144 | 153 | 169 | 162 | 164 | 119 | 121 | 128 | 141 | 136 | 138 |
| | Dic | 180 | 171 | 190 | 173 | 194 | 189 | 150 | 143 | 158 | 145 | 161 | 157 |
| 2016 | Ene | 160 | 167 | 177 | 157 | 188 | 190 | 134 | 140 | 148 | 131 | 157 | 158 |
| | Feb | 138 | 140 | 149 | 135 | 157 | 158 | 116 | 118 | 125 | 114 | 131 | 132 |
| | Mar | 113 | 114 | 120 | 146 | 127 | 131 | 96 | 96 | 101 | 123 | 107 | 110 |
| | Abr | 89 | 90 | 95 | 119 | 97 | 106 | 76 | 77 | 81 | 100 | 83 | 90 |
| | May | 52 | 57 | 62 | 96 | 67 | 72 | 47 | 50 | 55 | 82 | 58 | 62 |
| | Jun | 47 | 51 | 55 | 77 | 59 | 63 | 42 | 45 | 49 | 66 | 52 | 55 |
| | Jul | 69 | 71 | 75 | 87 | 78 | 83 | 60 | 62 | 65 | 74 | 67 | 71 |
| | Ago | 105 | 107 | 113 | 102 | 126 | 128 | 89 | 91 | 96 | 87 | 106 | 108 |
| | Sep | 124 | 126 | 134 | 125 | 150 | 151 | 104 | 106 | 113 | 106 | 126 | 126 |
| | Oct | 152 | 152 | 157 | 151 | 167 | 166 | 127 | 127 | 131 | 126 | 140 | 139 |
| | Nov | 157 | 160 | 164 | 153 | 170 | 171 | 132 | 134 | 137 | 128 | 142 | 143 |
| | Dic | 164 | 170 | 179 | 159 | 187 | 191 | 137 | 142 | 150 | 133 | 156 | 159 |

Tabla 2. Valores mensuales de ET H-S y ET aj.

Al realizarse el ajuste, se observa una disminución de los valores de ET. La ecuación involucra una

función lineal, la cual produce una reducción que se generaliza al aplicarla en cada localidad.

Constantes Hídricas

La tabla 3, muestra los valores de constantes hídricas, a profundidad efectiva, utilizadas para la estimación de agua en suelo.

| Asociación | Localidad | Nomenclatura | Prof. Efectiva (cm) | Constantes Hídricas (mm) | |
|------------|-----------------------|--------------|---------------------|--------------------------|-----|
| | | | | CC | PM |
| Palpalá | San Salvador de Jujuy | (Pp) | 100 | 350 | 190 |
| Perico | Santo Domingo | (Pe) | 100 | 254 | 106 |
| | Jujuy Aero | | | | |
| Abra Pampa | La Quiaca | (Ap) | 100 | 256 | 165 |
| Orán | Oran | (Or) | 50 | 87 | 32 |
| Vespucio | Tartagal | (Vp) | 84 | 194 | 88 |

Tabla 3. Constantes hídricas consideradas para la estimación de agua en el suelo.

La asociación Palpalá, con una profundidad de 100 cm, presentó los valores máximos de CC (350) y PM (190). En la asociación Orán, se encontraron los menores valores de CC (87) y PM (32), a una profundidad efectiva de 50 cm.

Estimación de agua en el suelo

Las figuras 3 a 8, muestran la estimación de agua en el suelo diaria, utilizando la metodología del BHOA. El balance, en general, constituye una relación de lo que ingresa por precipitación y lo que egresa por demanda atmosférica (ET), por ello se realizaron cuatro combinaciones de datos ingresados para la

estimación de agua en el suelo que corresponden a:

- Precipitación medida en superficie y Evapotranspiración por H-S (1985) (PP sup_ET H-S).
- Precipitación medida en superficie y Evapotranspiración ajustada (PP sup_ET aj).
- Precipitación interpolada por el modelo esférico y Evapotranspiración por H-S (1985) (PP inter_ET H-S).
- Precipitación interpolada por el modelo esférico y Evapotranspiración ajustada (PP inter_ET aj).

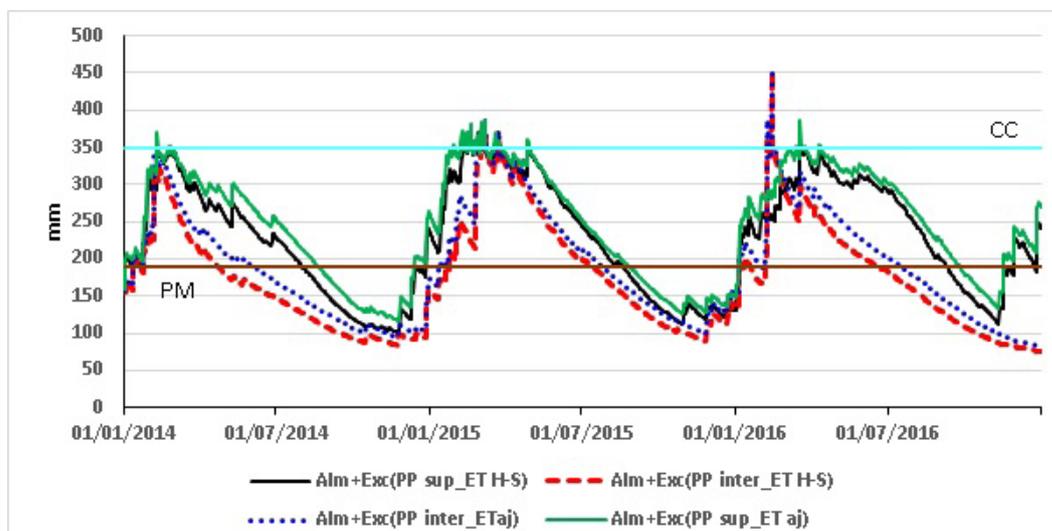


Figura 3. Estimación de agua en el suelo, para San Salvador de Jujuy.

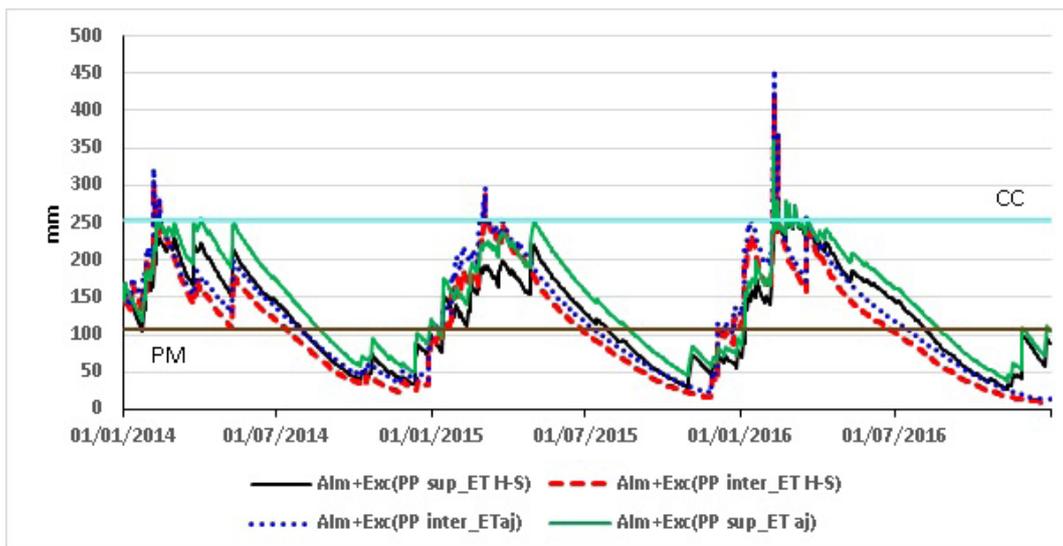


Figura 4. Estimación de agua en el suelo, para Santo Domingo.

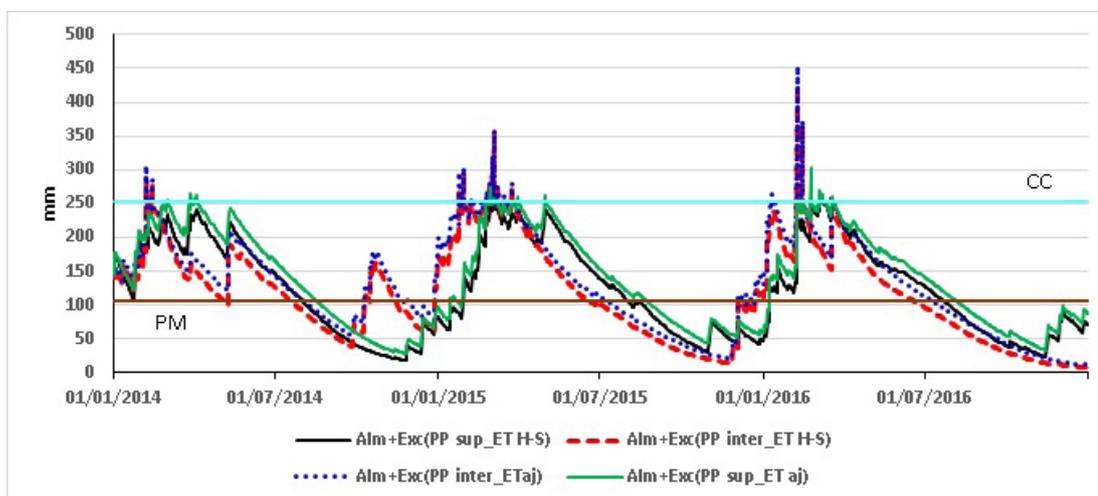


Figura 5. Estimación de agua en el suelo, para Perico.

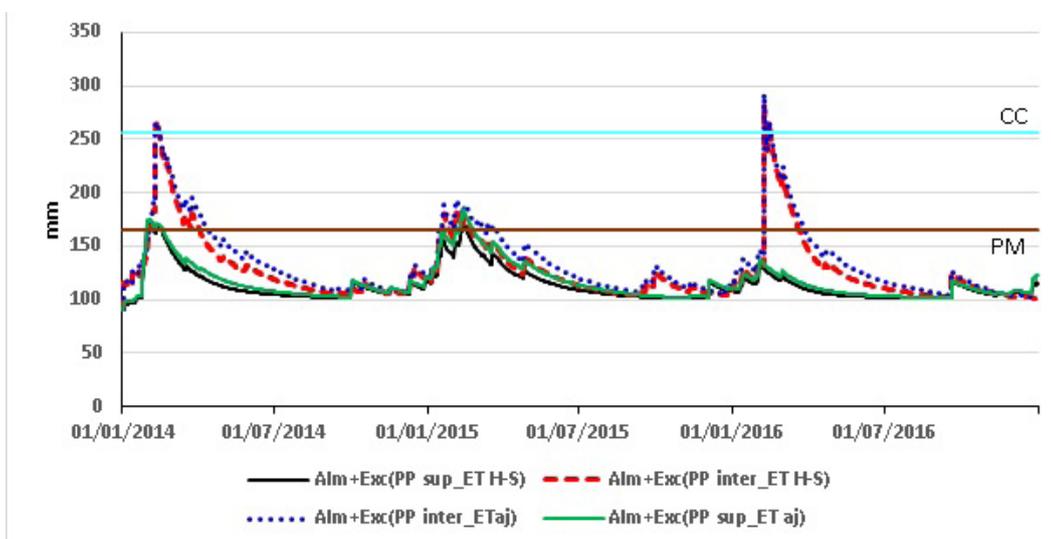


Figura 6. Estimación de agua en el suelo, para La Quiaca.

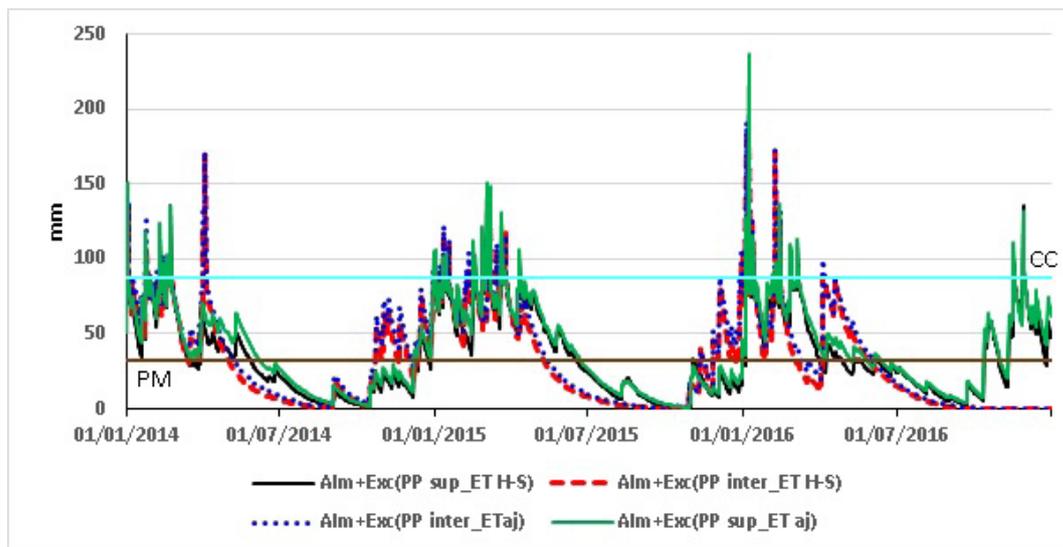


Figura 7. Estimación de agua en el suelo, para Orán.

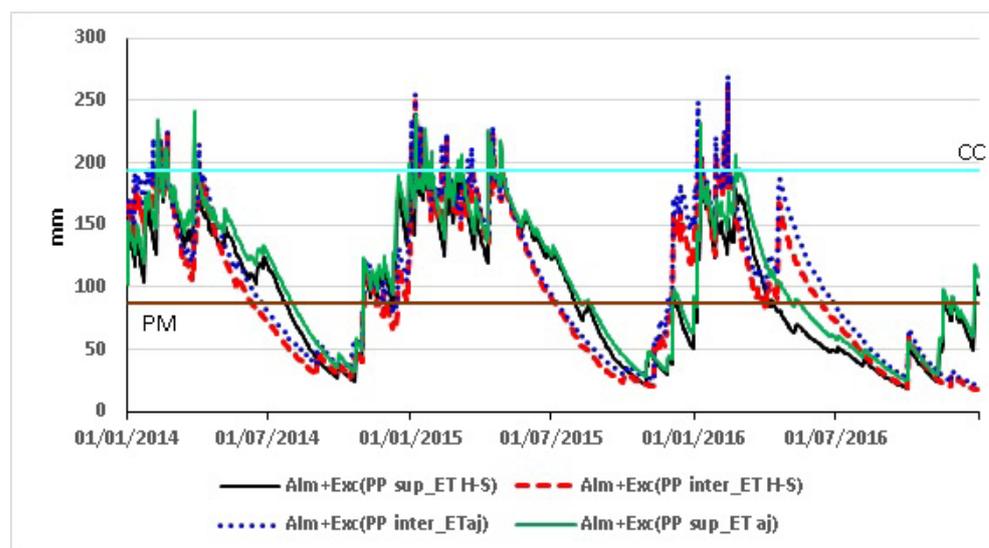


Figura 8. Estimación de agua en el suelo, para Tartagal.

El agua en el suelo, calculado con datos interpolados y ajustados, sigue el mismo patrón de variación que la estimada con valores medidos en superficie, con una SE del 99 por ciento en todas las localidades (tabla 4), por lo que el agua en el suelo resulta una herramienta útil para las planificaciones agrícolas (Severina y otros, 2012; Andriani, 2012; Botey y otros, 2009; Fernández Long y otros, 2012). Las estimaciones de agua en el suelo, calculada con ETaj, tienden a ser mayor o igual independientemente del valor de precipitación considerado en todas las localidades.

En la tabla 4, se presentan los valores de R, considerando la relación entre la estimación de agua en el suelo calculada con la PP sup y la ET H-S “Alm+Exc(PP sup_ET H-S)” y las demás combinaciones de agua en el suelo (Alm+Exc(PP inter_ET H-S), Alm+Exc (PP inter_ET aj), Alm+Exc (PP sup_ET aj)) para la estimación de agua en suelo, y la significancia estadísticas (SE) para 90 (*), 95 (**) y 99 (***) por ciento.

| Localidad | Alm+Exc(PP sup_ET H-S)-Alm+Exc (PP inter_ET H-S) | Alm+Exc(PP sup_ET H-S)-Alm+Exc (PP inter_ETaj) | Alm+Exc(PP sup_ET H-S)-Alm+Exc (PP sup_ET aj) |
|-----------------------|--|--|---|
| San Salvador de Jujuy | 0.868*** | 0.886*** | 0.993*** |
| Santo Domingo | 0.893*** | 0.887*** | 0.992*** |
| Perico | 0.755*** | 0.745*** | 0.997*** |
| La Quiaca | 0.732*** | 0.740*** | 0.992*** |
| Oran | 0.665*** | 0.655*** | 0.991*** |
| Tartagal | 0.839*** | 0.811*** | 0.994*** |

Tabla 4. Valores de R y SE al 90 (*), 95 (**) y 99 (***) por ciento, para la estimación de agua en el suelo calculada con la PP sup y la ET H-S “Alm+Exc (PP sup_ET H-S)” y las demás combinaciones (Alm+Exc (PP inter_ET H-S), Alm+Exc (PP inter_ET aj), Alm+Exc (PP sup_ET aj)).

Se observa que en todas las localidades se obtiene un valor de significancia del 99 por ciento. Los mayores valores de asociación corresponden a la calculada con PP sup y ET aj, y de cada una de ellas la localidad de Perico, la mayor (R=0.997), probablemente debido a que la variación del agua en el suelo está más relacionada con la precipitación en superficie.

La combinación de agua en el suelo calculada con PP inter y ET H-S, presenta valores de correlación mayores en cuatro de las seis localidades que utilizando la PP inter y ETaj.

Debido a que se observan diferencias en las distintas épocas de año, se realizó el mismo tipo de relación que en el caso anterior, pero por estación

del año considerando a ellas como, Verano: Enero a Marzo, Otoño: Abril a Junio, Invierno: Julio a Septiembre y Primavera: Octubre a Diciembre, la cual nos ayuda a identificar las épocas donde existe una mayor o menor asociación, y los ajustes a realizar en el futuro.

La tabla 5, muestra los coeficientes de correlación por época del año considerando la relación entre la estimación de agua en el suelo calculada con la PP sup y la ET H-S “Alm+Exc(PP sup_ET H-S)” y las demás combinaciones de agua en el suelo (Alm+Exc(PP inter_ET H-S), Alm+Exc (PP inter_ET aj), Alm+Exc (PP sup_ET aj)) con significancia estadística (SE) de 90 (*), 95 (**) y 99 (***) por ciento.

| Localidad | Estaciones | Alm+Exc(PP sup_ET H-S)-Alm+Exc (PP inter_ET H-S) | Alm+Exc(PP sup_ET H-S)-Alm+Exc (PP sup_ET aj) | Alm+Exc(PP sup_ET H-S)-Alm+Exc (PP inter_ETaj) |
|-----------------------|------------|--|---|--|
| San Salvador de Jujuy | Verano | 0.74*** | 0.97*** | 0.79*** |
| | Otoño | 0.84*** | 0.98*** | 0.87*** |
| | Invierno | 0.84*** | 0.99*** | 0.88*** |
| | Primavera | -0.37*** | 0.99*** | -0.44*** |
| Santo Domingo | Verano | 0.68*** | 0.97*** | 0.58*** |
| | Otoño | 0.61*** | 0.95*** | 0.67*** |
| | Invierno | 0.97*** | 0.99*** | 0.96*** |
| | Primavera | 0.21*** | 0.97*** | 0.16*** |
| Perico | Verano | 0.28*** | 0.99*** | 0.13*** |
| | Otoño | 0.66*** | 0.99*** | 0.64*** |
| | Invierno | 0.94*** | 1.00*** | 0.90*** |
| | Primavera | -0.47*** | 0.99*** | -0.48*** |
| La Quiaca | Verano | 0.32*** | 0.99*** | 0.36*** |
| | Otoño | 0.52*** | 1.00*** | 0.54*** |
| | Invierno | 0.65*** | 0.98*** | 0.60*** |
| | Primavera | 0.32*** | 0.99*** | 0.26*** |

| | | | | |
|----------|-----------|----------|---------|----------|
| Oran | Verano | 0.64*** | 0.99*** | 0.65*** |
| | Otoño | 0.44*** | 0.97*** | 0.47*** |
| | Invierno | 0.54*** | 0.98*** | 0.52*** |
| | Primavera | -0.31*** | 0.99*** | -0.32*** |
| Tartagal | Verano | 0.54*** | 0.95*** | 0.48*** |
| | Otoño | 0.73*** | 0.99*** | 0.59*** |
| | Invierno | 0.82*** | 1.00*** | 0.77*** |
| | Primavera | 0.56*** | 1.00*** | 0.54*** |

Tabla 5. Valores de R y SE al 90 (*), 95 () y 99 (***) por ciento estacional, para la estimación de agua en el suelo calculada con la PP sup y la ET H-S “Alm+Exc (PP sup_ET H-S)” y las demás combinaciones (Alm+Exc (PP inter_ET H-S), Alm+Exc (PP inter_ET aj), Alm+Exc (PP sup_ET aj)).**

En todas las localidades, se observa SE al 99 por ciento. El R estacional calculado con la PP sup y ET aj, presenta los mayores valores en todas las localidades. En la localidad Santo Domingo en otoño, y Tartagal en verano presenta los menores con 0.95, y los mayores en Tartagal en invierno y primavera, La Quiaca en otoño y Perico en invierno con 1.

Con respecto a las otras dos combinaciones, las relaciones de acuerdo a la época del año no presentan una homogeneidad en el comportamiento de las asociaciones. En el verano los mayores valores de R se dan en San Salvador de Jujuy con la combinación de PP inter y ET aj y el menor en Perico. En otoño los valores de R aumentan considerablemente entre 0.87 (PP inter y ET aj) y 0.44 (PP inter y ET H-S), en la localidades de San Salvador de Jujuy y Orán, respectivamente.

Para el invierno se dan los mayores coeficientes de correlación correspondiendo un valor de 0.97 (PP inter y ET H-S) para Santo Domingo y el menor, de 0.52 (PP inter y ET aj) en Orán.

Los menores valores de asociación se dan en primavera y sus valores oscilan entre 0.56 (PP inter y ET H-S) y 0.16 (PP inter y ET aj), para Tartagal y Santo Domingo, respectivamente. Sin embargo, se observan correlaciones inversas.

CONCLUSIONES

El BHOA, con valores de ET aj, constantes hídricas estimadas por ecuaciones de pedotransferencia y precipitación interpolada con un modelo validado, permite cuantificar la disponibilidad espacial y temporal de agua en suelo. La estimación de agua edáfica

calculada por esta metodología, sigue el patrón de variación imperante de la región, lo que la convierte en una herramienta de planificación agropecuaria.

La validación de los modelos de interpolación Kriging, aplicado a las precipitaciones estimadas por la técnica CMORPH, es una alternativa para conocer la veracidad de la interpolación y de los datos satelitales. En la selección del modelo de interpolación, es necesario contar con más de un estadístico al momento de establecer el algoritmo que mejor se adapte.

El ajuste de la ET posibilita conocer la pérdida de agua por evaporación y transpiración de las plantas, si en la localidad no existieran datos para el cálculo de la ET con base físico matemático, como la estimación por Penman-Monteith (FAO 56).

El metodo del BHOA, permite realizar un seguimiento diario del agua edáfica en aquellos lugares que no dispongan de toda la información agroclimática para su cálculo. A nivel provincial, las constantes hídricas se encuentran determinadas en el trabajo de Alabar y otros, 2016, para la profundidad de 30, 70 y 100 cm y profundidad efectiva. Los valores climáticos diarios de ET se hallan disponibles en una base de dato del trabajo de Moreno y otros, 2017. La resolución espacial de la precipitación estimada por la técnica CMORPH cubre toda el área de la provincia de Jujuy y Salta. Por ello, el trabajo analiza los modelos de interpolación Kriging, que mejor se adapte a la región, para que el mismo pueda ser utilizado en otras localidades que dispongan datos de la demanda atmosférica, de manera que al utilizar el BHOA, o cualquier modelo de estimación de agua en el suelo, y las constantes hídricas permitan realizar el seguimiento diario del agua en el suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado dentro del marco de la Beca Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) 2015/2017.

BIBLIOGRAFÍA

Abad Encaladas, I. O. 2014. Estimación de precipitación espacial mediante correlación con variables secundarias y la ayuda de tecnologías de información geográfica. Tesina para obtener el título Magister en Geomática. Consultado en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/19857/1/Tesis.pdf>

Alabar, F.; Hurtado, R. Arias, P.; Mayo, H.; Hormigo, D.; Moreno, C.; Portal, M.; Valdiviezo Corte, M.; Spescha L.; Riquelme, A. 2016. Determinación de las constantes Hídricas de Jujuy y Salta a nivel de Asociación, para el monitoreo del agua en el suelo. Proceso de publicación: http://www.siaj.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones/CC-Jujuy_y_Salta_8.pdf

Alabar, F.; Hurtado, R.; Arias, P.; Valdiviezo Corte, M.; Moreno, C.; Mayo, H.; Portal, M.; Riquelme A. 2014. Determinación de las constantes hídricas de los suelos de los valles templados y cálidos de Jujuy. Acta de la Reunión Binacional Uruguay - Argentina de Agrometeorología y XV Reunión Argentina de Agrometeorología". En la ciudad de Piriápolis. Uruguay. Pág: 103-104. ISBN 978-987-688-082-4.

Andriani, J. 2012. "Bahicu" (Balance Hídrico de cultivos extensivos). Consultado en: <http://inta.gob.ar/documentos/software-balance-hidrico-de-cultivos-extensivos>

Botey, R.; Pérez-Arias, J.; Moreno, J.V. 2009. Estimación del contenido de agua del suelo mediante el balance hídrico exponencial diario y comparación con medidas in situ en un suelo "Typic Haploxeralf" en la zona centro (Madrid-España). Consultado en: <http://www.zonanosaturada.com/zns11/publications/p303.pdf>

Botey, R.; Moreno García, J. M. 2015. Metodología para estimar la humedad del suelo mediante un balance hídrico exponencial diario. Consultado en: www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/balance_hidrico/Metodologia.pdf

Camargo, A. P. 1971. Balanço hídrico no estado de São Paulo. 3. ed. Campinas: IAC. Boletim n.116. 24 pág.

Collado, J. 1988. Estimación óptima de la precipitación media con el método Kriging. Consultado en: http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/bitstream/123456789/1222/1/RIH_023.pdf

Damiano, F.; Taboada, M.A. 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedotransferencia en suelos Agrícolas de la Región Pampeana. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Vol. 18, Nº 2: Págs. 77-88.

Della Maggiora, A.; Irigoyen, A.; Gardiol, J. 2010. Programa de balance de agua del suelo aplicado a cultivos. XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de Agrometeorología. Bahía Blanca – Argentina. Págs 356-357.

Fernández-Long, M.E.; Spescha, L.; Barnatán, I.; Murphy, G. 2012. Modelo de balance hidrológico operativo para el agro (BHOA). Consultado en: <http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/agronomiayambiente/2012fernandezlong.pdf>

Ferraro, R. R. 1997. SSM/I derived global rainfall estimates for climatological applications. J. Geophys. Res., 102, 16 715–16. Pág. 735.

Ferraro, R. R.; Weng, F.; Grody, N. C.; Zhao, L. 2000: Precipitation characteristics over land from the NOAA-15 AMSU sensor. Geophys. Res. Lett., 27, Págs. 2669–2672.

Gallardo, A. 2006. Geoestadística aplicada. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Consultado en: www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=431&Id_Categoria=1&tipo=portada.

Gebremichael, M.; Krajewski, W. F.; Morrissey, M.L.; Huffman, G.J.; Adler, R.F. 2005. A Detailed Evaluation of GPCP 1° Daily Rainfall Estimates over the Mississippi River Basin. J. App. Meteor. 44: Pág. 665-681.

Hargreaves, G. H.; Samani, Z. A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agric., 1(2): Págs. 96-99.

Henao, R. G. 2009. Introducción a la Geoestadística. Cap.4: Predicciones espaciales. Pág. 32-61. Consultado en: ftp://ftp.ciat.cgiar.org/DAPA/projects/Cursos_Talleres/Curso_R/DOCUMENTOS/LIBRO%20DE%20GEOESTADISTICA.pdf

Huffman, G. J.; Adler, R.F; Bolvin, D.T.; Gu, G.; Nelkin, E.J.; Bowman, K.P.; Yang, H.; Stoker, E. F.; Wolff, D.B. 2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *J. Hydrometeor.*, 8: Págs. 38-55.

Joyce, R. J.; J.E. Janowiak; P.A. Arkin and P. Xie. 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrometeor.*, 5: Pág. 487-503.

Kidd, C.K.; Kniveton, M.C.; Todd, M.C.; Bellerby, T.J. 2003. Satellite rainfall estimation using combined passive microwave and infrared algorithms. *J. Hydrometeor.*, 4: Págs. 1088-1104.

Kummerow, C.; Y. Hong, WS Olson, S.; Yang, RF Adler, J.; McCollum, R.; Ferraro, G.; Petty, DB.; Wilheit, T.T. 2001: La evolución del algoritmo de perfiles de Goddard (GPROF) para la estimación de precipitaciones a partir de sensores de microondas pasivos. *J. Appl. Meteorol.*, 40, Págs. 1801-1820.

Moreno, C.A.; Portal, M.R.; Alabar, F.; Mayo, H. 2014. Comparación de métodos de estimación de la Evapotranspiración para ajustar a la metodología de Penman-Monteith (FAO, 56) en Localidades del Noroeste Argentino. Pág: 71-72. Acta de Reunión Binacional Uruguay - Argentina de Agrometeorología y XV Reunión Argentina de Agrometeorología. Piriápolis, Uruguay. ISBN 978-987-688-082-4

Moreno, C.; Hurtado, R. H.; Portal, M. R.; Valdiviezo Corte, M.; Riquelme, A.; Alabar, F.; Mayo, H. 2017. Comparación de métodos de Evapotranspiración para ajustar a la metodología de Penman-Monteith (FAO 56), para las localidades del Noroeste Argentinos. En proceso de publicación.

Murphy, G.; Hurtado, R. 2011. Agrometeorología. Parte 1. Fundamentos de meteorología y climatología. Sección VII. El ciclo del agua. VII.3 Evaporación y Evapotranspiración. Pag: 85-102. ISBN: 978-950-29-1324-7.

Osinaga, R; Paoli, H. 2009. Adecuación a un Sistema de Información Geográfica del estudio de "Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy) Nadir y Chafatinos, 1990". Consultado en: <http://inta.gov.ar/documentos/adecuacion-a-un-sistema-de-informacion-geografica-del-estudio-los-suelos-del-noa-salta-y-jujuy-nadir-a-chafatinos-t.-1990/>.

Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open wáter, bare soil and grass. *Royal Soc. London Proc. Ser. A.* 193: Págs. 120-146.

Pineda, C.; Vilorio, J. 1997. Funciones de pedotransferencia para estimar la retención de humedad en suelos de la cuenca del lago de Valencia. *Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y del Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela.* Vol. 5, Nº 1 y 2: 39-45. ISSN: 1315-0359.

Saxton, K. 2009. Soil-Plant-Atmosphere-Water Field & Pond hidrology. USDA. Agricultural Research Service. Consultado en: <http://ars.usda.gov/ba/anri/hrs/ksaxton>.

Serio, L.; Spescha, L.; Murphy, G. 2007. Validación de las precipitaciones decádicas en la región pampeana estimadas por el modelo atmosférico del ECMWF. Consultado en: https://www.researchgate.net/publication/284030469_VALIDACION_DE_LAS_PRECIPITACIONES_DECADICAS_EN_LA_REGION_PAMPEANA_ESTIMADAS_POR_EL_MODELO_ATMOSFERICO_DEL_ECMWF_VALIDATION_OF_10-

Severina, I.; Giubergia, J.P.; Salinas, A.; Martellotto, E.; Arce, A.; Boccardo, M.; y Andriani, J. 2012. Validación de dos métodos de balance hídrico en el cultivo de trigo bajo riego suplementario, en la región central de Córdoba. 1era ed. Manfredi. Córdoba (AR). Ediciones INTA. Estación Experimental Agropecuaria Manfredi. ISSN 1851 -4081. Pág. 16.

Thorntwaite C.W. 1945. El agua en la agricultura. Comisión Nacional de Irrigación, México. Pág. 14.

Thorntwaite, C.W. 1948. Una Aproximación a una Clasificación Racional del Clima. *Geogr. Rev.* 38: Págs. 55-94.

Villatoro, M.; Henríquez, C.; Sancho, F. 2008. COMPARACIÓN de los interpoladores idw y Kriging en la variación espacial de ph, ca, cice y p del suelo.

Consultado en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/viewFile/6773/6460>

Vilma, R. C.; Arribillaga, D. G. 2013. Potencial Productivo en Base a la Profundidad de los Suelos del Valle de Chile Chico. Consultado en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR39013.pdf>

Willmot, C. J. 1982. Some commentas on the evaluation of model perfomance. Bulletin of the American Meteorological Society 63. Pags. 1309-1313.

Zucarelli, A.; Paris, M.; Macor J. 2014. Utilización de kriging para la elaboración de curvas isohietas de precipitación mensual en la Provincia de Santa Fe, Argentina. Consultado en: <http://www.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje3/3.39.pdf>

PRUEBAS DE INHIBICIÓN DE *Bacillus subtilis* SOBRE HONGOS TRANSPORTADOS POR HORMIGAS INVASORAS DE COLMENAS APÍCOLAS

BACILLUS SUBTILIS INHIBITION TESTS ON FUNGUS TRANSPORTED BY INVASIVE ANTS FROM HONEY BEE HIVES

Ruiz, G. B.^{1,2*}; Retamoso R. M.^{1,2}; Benítez Ahrendts M.^{1,2}

RESUMEN

Las hormigas son visitantes comunes de las colmenas de abejas, suelen tener microorganismos adheridos a sus cutículas. La humedad y la estabilidad de la temperatura, las predisponen a infecciones, pudiendo diseminar los agentes patógenos en la colmena. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto antagónico de la bacteria *Bacillus subtilis* frente a los hongos *Aspergillus* sección *nigri* y *Penicillium* serie *chrysogenum* aislados de las cutículas de hormigas establecidas en colmenas de *Apis mellifera* L. Para ello se recolectaron hormigas del interior de colmenas de un apiario de la localidad de Rio Blanco, las cuales fueron suspendidas en solución de peptona al 10%. Se sembraron alícuotas de la solución sobre agar Malta e incubaron a 27°C durante 7 días, siendo luego enfrentadas con la bacteria. Se tomó la medición del diámetro de crecimiento de las colonias de los hongos en presencia del antagonista a los 5, 10 y 15 días de incubación. Se calculó el porcentaje de inhibición obteniendo para *Aspergillus* sección *nigri* menos del 50% y para *Penicillium* serie *chrysogenum* promedios mayores al 70%. Destacando que a partir del día 15 de incubación se observaron mayores porcentajes de inhibición de los hongos. El análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre las muestras testigos y la de los hongos enfrentados con la bacteria *Bacillus subtilis* presenta actividad antifúngica frente a los hongos en estudio, controlando efectos negativos en la producción de las abejas como en las propias hormigas.

Palabras clave: Apicultura. *Apis mellifera* L. *Aspergillus* sección *nigri*. *Penicillium* serie *chrysogenum*.

SUMMARY

Ants are common visitors to bee hives, often having microorganisms attached to their cuticles. Humidity and temperature stability predispose them to infections, being able to spread pathogens in the hive. The objective of this study was to evaluate the antagonistic effect of *Bacillus subtilis* bacteria against fungi *Aspergillus* section *nigri* and *Penicillium* series *chrysogenum* isolated from ants cuticles established in *Apis mellifera* L.hives. For this, ants species inside hives were collected from an apiary in Rio Blanco town, which were suspended in 10% peptone solution. Aliquots of the solution were sown in Malta agar and incubated at 27° C for 7 days, and then confronted with the bacteria. The measurement of the growth diameter of fungal colonies was taken in the presence of the antagonist at 5, 10 and 15 days of

1-INECOA-CONICET. Avenida Bolivia 1239. San Salvador de Jujuy, Jujuy-Argentina. C.P. 4400. 2-Laboratorio de Microbiología y Sanidad Apícola. Facultad de Ciencias Agrarias-UNJu. Alberdi 47. San Salvador de Jujuy, Jujuy-Argentina. C.P. 4400

*Autor de contacto e-mail: giselarui574@gmail.com

incubation. The inhibition percentage was calculated obtaining for *Aspergillus* section *nigri* less than 50% and for *Penicillium* series *chrysogenum* averages higher than 70%. Highlighting as of the 15th day of incubation, greater percentages of fungal inhibition were observed. Statistical analysis showed significant differences between the witnesses samples witnesses and fungi faced with the *Bacillus subtilis* bacteria has antifungal activity in the presence of fungi under study, controlling negative effects on bees production as well as on ants themselves.

Keywords: *Apis mellifera* L. Beekeeping. *Aspergillus* section *nigri*. *Penicillium chrysogenum* series.

INTRODUCCIÓN

Aunque la apicultura argentina es la más importante y desarrollada en Sudamérica, en nuestra región predomina la actividad artesanal, que tiene en cuenta el aspecto sanitario de los colmenares; que incide en la producción y la comercialización de la miel (Benítez Ahrendts et al., 2015). Las hormigas son los insectos sociales más diversos y exitosos (Ríos-Casanova 2014). Son organismos conspicuos de la mayoría de los ecosistemas terrestres, los cuales han alcanzado su mayor diversidad y biomasa en los trópicos, colonizan fácilmente ambientes humanos (Vásquez-Bolaños 2015). Suelen entrar en las colmenas para alimentarse de la miel o las crías (Dewey, 2000), o bien establecen sitios de anidación entre las cubiertas interior y exterior de las colmenas o en las trampas de polen, aunque en general no provoquen daños económicos importantes (Ruiz et al., 2018). Las hormigas suelen tener hongos y bacterias adheridos a sus cutículas, y las condiciones ambientales en el interior de sus nidos, como la humedad y la estabilidad de la temperatura, las predisponen a infecciones pudiendo diseminar los agentes patógenos que afectan a otros insectos (Oí y Pereira, 1993).

Las bacterias del género *Bacillus* ejercen una actividad antagonica frente a los hongos mediante la producción de lipopéptidos, excreción de enzimas líticas como quitinasas y competencia por el espacio y los nutrientes (Rodas-Junco y otros, 2009; Zhang et al., 2010). Es el grupo bacteriano más utilizado para el control de patógenos del suelo y de raíces (Killani et al., 2011).

Así mismo *Bacillus subtilis* es un biocontrolador con amplio espectro antibiótico; los metabolitos que producen son supresores efectivos de algunos

patógenos de plantas como *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, *Septoria*, y *Verticillium* (Ariza et al., 2012). Además, son productores de compuestos como la surfactina, fengicina, iturina A, B, y C, micosubtilinas, y bacilomicinas, biosurfactantes activos de membrana con potentes actividades antimicrobianas. La surfactina exhibe funciones antimicrobianas, anti-tumorales y anti-virales e inhibe la formación de biopelículas de otras bacterias (Ariza et al., 2012).

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el efecto antagonico de *Bacillus subtilis* frente a cepas de *Aspergillus* y *Penicillium* aislados de las cutículas de hormigas presentes dentro de colmenas de *Apis mellifera* L.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La localidad de Río Blanco pertenece a la región de los valles templados de la provincia de Jujuy. El clima es subtropical serrano; templado, con estación seca. El verano es moderadamente cálido y el invierno fresco. Las precipitaciones están concentradas en el verano (Buitrago, 1999). Esta región ocupa las zonas llanas y cerros bajos del sudeste de la provincia, formando amplios ecotonos o zonas de transición con las selvas de las yungas. La vegetación natural comprende un bosque transicional yungas-chaco (Cabrera, 1982).

Aislamiento de microorganismos

Se recolectaron hormigas del interior de cuatro colmenas (techos, entretapas, alzas, cámara de cría y piso) pertenecientes a la Cooperativa de Productores

Apícolas de Jujuy Ltda. El material fue transportado en frascos estériles para la identificación y posterior aislamiento de microorganismos. Se suspendieron los ejemplares de hormigas en una solución de peptona al 10%, la que fue agitada en vortex por algunos minutos antes de sembrar alcuotas sobre agar nutritivo y agar extracto de malta, los que fueron incubados a 30°C por 48 horas y a 27°C durante 7 días, respectivamente.

Bacillus subtilis se identificó a partir de diferentes pruebas bioquímicas realizadas y determinadas con el Manual Bergeys de Determinación bacteriológica, 9° Edición (Williams & Wilkins, 1994) y claves para la identificación de cepas de *Bacillus* (Slepecky & Heemphill, 2006).

Las colonias de *Aspergillus* y *Penicillium* fueron identificadas con el apoyo de claves específicas (Carrillo 2003, Pitt y Hocking 2009).

Evaluación de la actividad inhibitoria

Se colocó 1 mL de una suspensión de 10⁶ esporas fúngicas en 9 mL de agua destilada y se cultivaron sobre agar extracto de malta, enfrentándolos con un cultivo de *Bacillus subtilis* de la colección de la cátedra de Microbiología Agrícola, FCA, UNJu. El ensayo se realizó por triplicado. Las placas sembradas se incubaron a 28°C y posteriormente se compararon con los cultivos testigo. La actividad antagónica se determinó midiendo el diámetro de las colonias fúngicas en presencia de la cepa bacteriana a los 5, 10 y 15 días. Como control negativo se utilizó el cultivo de las cepas fúngicas puras. Con las mediciones obtenidas, se procedió al cálculo del porcentaje de inhibición, mediante la siguiente ecuación: $I = [(C-T) / C] * 100$

siendo: I la inhibición %, C el diámetro de las colonias testigo y T el de las colonias tratadas (Zamora Natera y otros, 2005).

Análisis estadístico

Se realizaron pruebas de comparación de media utilizando el test de Tukey para las variables en estudio utilizando el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2015).

RESULTADOS

Los ejemplares de las hormigas fueron identificados como *Camponotus mus* y *Linepithema humile*, de las cuales se obtuvieron colonias pertenecientes a *Bacillus subtilis*, *Penicillium* serie *chrysogenum* y *Aspergillus* sección *nigri*, de acuerdo a las características morfológicas y las pruebas fisiológicas.

Los porcentajes de inhibición obtenidos fueron menores al 50% en *Aspergillus* sección *nigri* y mayores al 70% en *Penicillium* serie *chrysogenum*, a partir de los 15 días de incubación se observaron mayores porcentajes de inhibición del crecimiento de los hongos empleados. De acuerdo al test de Tukey ambas pruebas presentaron diferencias significativas entre el testigo y el hongo enfrentado con la cepa de *Bacillus subtilis*.

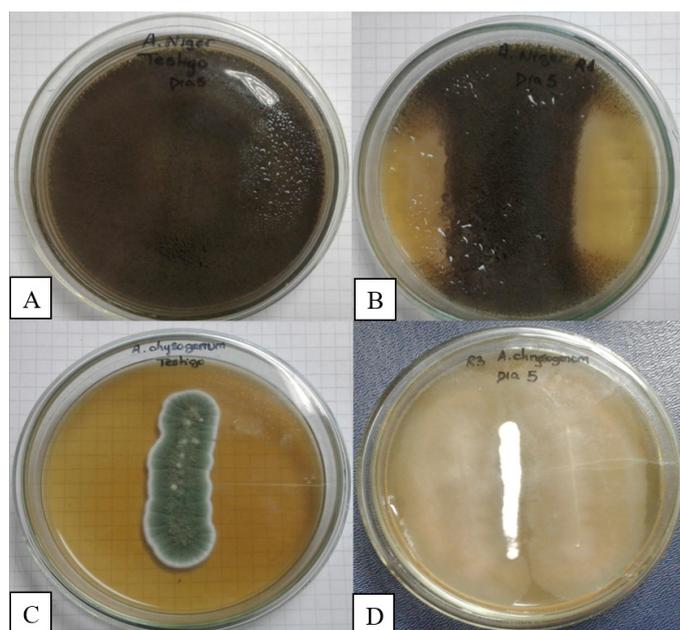


Figura 1.
(A) Testigo *Aspergillus* sección *nigri*;
(B) Inhibición de *Aspergillus* sección *nigri* frente a *Bacillus subtilis* a los 5 días de incubación;
(C) Testigo *Penicillium* serie *chrysogenum*;
(D) Inhibición de *Penicillium* serie *chrysogenum* frente a *Bacillus subtilis* a los 5 de incubación.

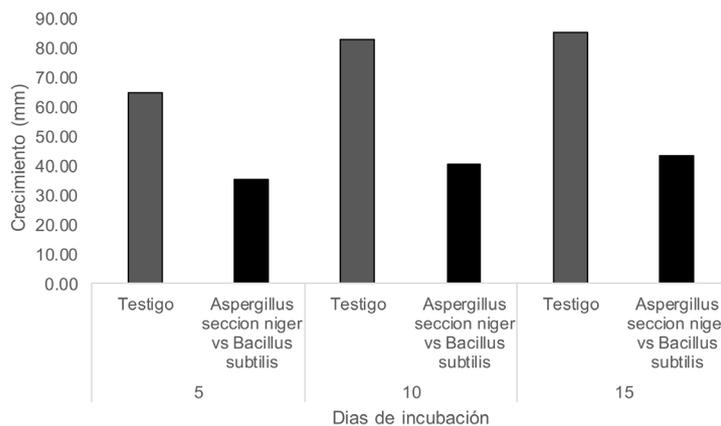


Figura 2. Inhibición del crecimiento (mm) de *Aspergillus* sección *niger* frente a *Bacillus subtilis* a los 5, 10 y 15 días de incubación.

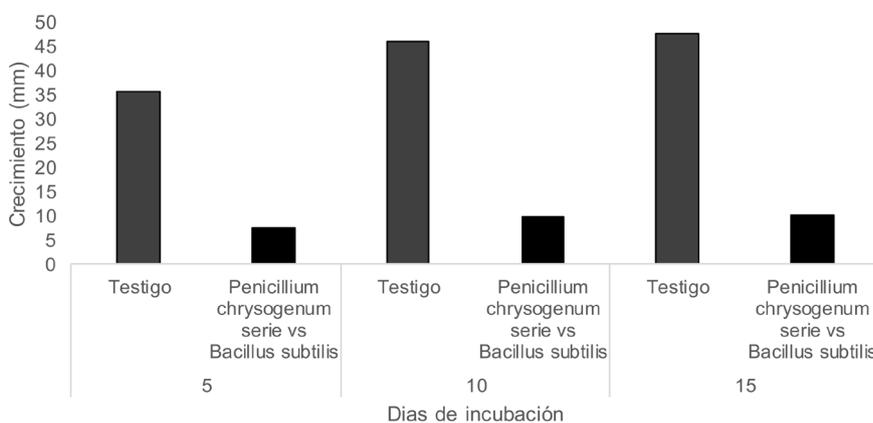


Figura 3. Inhibición del crecimiento (mm) de *Penicillium* serie *chrysogenum* frente a *Bacillus subtilis* a los 5, 10 y 15 días de incubación.

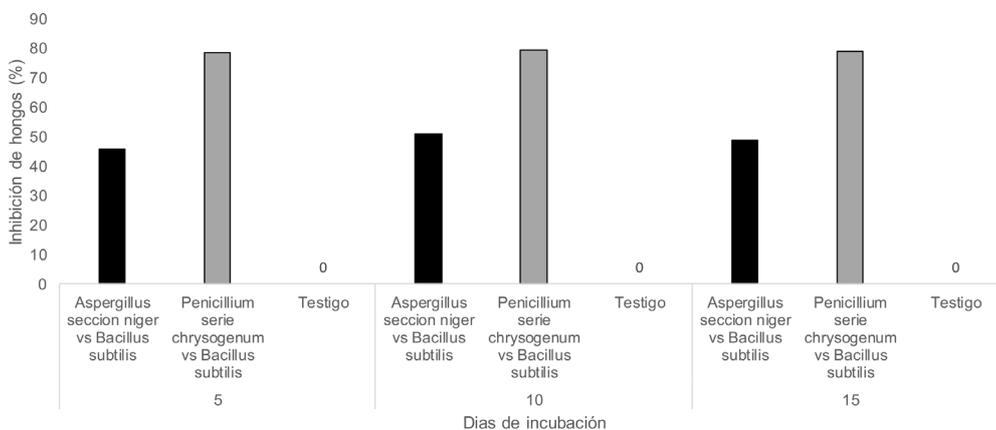


Figura 4. Porcentajes de inhibición del crecimiento de *Aspergillus* sección *niger* y *Penicillium* serie *chrysogenum* frente a *Bacillus subtilis* a los 5, 10 y 15 días de incubación.

DISCUSIÓN

La aspergilosis o “cría de piedra” es una enfermedad, que afecta a las abejas adultas y las crías, producida por varias especies del género *Aspergillus*, con mayor frecuencia *A. flavus*, *A. niger* y *A. fumigatus*. También es bastante común encontrar *Penicillium* en las colmenas (Lorenzo, 2010). *Bacillus subtilis* ejercen un efecto antagónico sobre estos hongos, lo que resulta de importancia en la prevención de enfermedades, pues presentan una alta velocidad de crecimiento que les permite alcanzar rápidamente el estado estacionario y comenzar a producir metabolitos secundarios con actividad antifúngica de algunos patógenos (Sosa Pech et al., 2012; Tejera et al., 2012). Principalmente la respuesta de antagonismo de la bacteria está asociada con la síntesis de lipopéptidos como iturina, surfactina, fengicina y bacilomina (Ariza et al., 2012).

CONCLUSIÓN

Se determinó el efecto antagónico de *Bacillus subtilis* frente a cepas de *Aspergillus* y *Penicillium*, transportados por las hormigas invasoras. *B. subtilis* actúa como supresor efectivo de patógenos de importancia en la sanidad de las colmenas. Dicha acción puede ser aprovechada como forma de control biológico de hongos patógenos potencialmente perjudiciales para la actividad apícola. Por lo que se sugiere continuar el estudio de los metabolitos producidos por *Bacillus subtilis* para su aplicación en la actividad apícola.

BIBLIOGRAFÍA

Ariza, Y., Sánchez, L. 2012. Determinación de metabolitos secundarios a partir de *Bacillus subtilis* efecto biocontrolador sobre *Fusarium* sp. Nova. vol.10(18), 149-155.

Benítez Ahrendts, M.R., Cabana, M.J., Cruz, M.S., Tejerina, M. y Verrastro E. 2015. Guía Teórico-Práctica Para Pequeños Productores Apícolas. ISBN 978-987-33-8418-9. Edición por autores pp. 24.

Bergey's Manual of systematic bacteriology. Ninth Edition. 1994. Williams and Wilkins, 787 pp.

Buitrago, L.G. 1999. El Clima de la Provincia de

Jujuy. Facultad de Ciencias Agrarias-UNJu. 2da Edición. ISBN: 950-721-114-4. pp. 23-28.

Cabrera, A. 1982. Vegetación de la Provincia de Jujuy. Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, tomo 36, pp. 21-26.

Carrillo, L. 2003. Los hongos de los alimentos y forrajes. Universidad Nacional de Salta, Argentina, 118.

Dewey, M.C. 2000. Pests of Honey Bees. MAAREC (Mid Atlantic Apicultural Research & Extension Consortium), University of Delaware. pp. 2.

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M., Robledo, C.W. 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Killani, A.S., Abaidoo, R.C., Akintokun, A.K., Abiala, M.A. 2011. Antagonistic effect of indigenous *Bacillus subtilis* on root-/soilborne fungal pathogens of cowpea. Researcher 3 (3): 11-18.

Lorenzo, J.D. 2010. Guía de Sanidad Apícola. Managua-Nicaragua. pp. 37.

Oi D, Pereira R. 1993. Ant behavior and microbial pathogens (Hymenoptera: Formicidae). Florida Entomologist. 76: 63-74.

Pitt, J., Hocking, A. 2009. Fungi and Food Spoilage. Blackie Academic and Professional, London. <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-92207-2>.

Ríos-Casanova, L. 2014. Biodiversidad de hormigas en México. Revista Mexicana de Biodiversidad. 85: 392-398. DOI: 10.7550/rmb.32519.

Rodas-Junco, B.A., Magaña-Sevilla HF, Tun-Suárez JM, Reyes-Ramírez A. 2009. Antifungal activity in vitro of native *Bacillus* sp. strains against *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. Research Journal of Biological Sciences. 4(9):985-989.

Ruiz, G.B., Benítez Ahrendts, M. 2018. Registro de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) presentes en apiarios de *Apis mellifera* de los valles templados de la provincia de Jujuy-Argentina. Journal of the

Selva Andina Research Society. 9 (2):113-119.

Slepecky, R.A., Hemphill, E. 2006. The genus *Bacillus*-non medical. *Prokaryotes* 4:530-562. DOI: 10.1007/0-387-30744-3_16.

Sosa Pech, M., Ruiz, E., Mejía, M., Reyes, A., Cristóbal, J., Valencia, A., Gutierrez, O. 2012. Actividad antagonista in vitro de aislados de la clase Bacilli de la península de Yucatán contra cuatro hongos fitopatógenos. *Universidad y Ciencia* 28(3):279-284.

Tejera, B., Heydrich, M., Rojas, M. 2012. Antagonismo de *Bacillus* spp. frente a hongos fitopatógenos del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) *Rev. Protección Vegetal* 2: 117-122.

Vásquez-Bolaños, M. 2015. Taxonomía de Formicidae (Hymenoptera) para México. *Métodos en Ecología y Sistemática*. 10 (1): 1-53.

Zamora Natera, J.F., Bernal Alcocer, A., Ruiz López, M., Soto Hernández, M., Escalante Estrada, A., Vibrans Lindemann, H. 2005. Perfil de Alcaloides de Semillas de *Lupinus exaltatus* Zucc. (Fabaceae) y la Evaluación Antifúngica del Extracto Alcaloideo y Lupanina contra Fitopatógenos. *Revista Mexicana de Fitopatología*; 23(2), 124-129.

Zhang, D.J., Liu, R.F., Li, Y.G., Tao, L.M., Tai, L. 2010. Two new antifungal lipopeptides from *Bacillus marinus* B-9987. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 58(12): 1630-1634.

INDICE

Páginas 5-13:

PESO DE RAÍCES, FUSTES Y RAMAS, Y PROPORCIÓN DE RAÍCES DE ÁLAMOS EN LA ESTACIÓN FORESTAL SAN PABLO (ex-IFONA), PROVINCIA DE JUJUY

Chocobar, A. N. E.

Páginas 14-23:

SELECCIÓN DE LEVADURAS ENOLÓGICAS NO-SACCHAROMYCES NATIVAS DE VIÑEDOS DE LA LOCALIDAD DE HUMAHUACA, JUJUY, ARGENTINA

Burgos, C. R.; Ortega, A. M. A.; Rodríguez, C. I.; Agüero, A. A.

Páginas 24-31:

PRIMEROS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE MIELES PRODUCIDAS EN LA QUEBRADA DE HUMAHUACA. JUJUY. ARGENTINA

Colqui, R. A.; Rozo, V. F.; Velásquez, D. L.; Sánchez, A. C.

Páginas 32-38:

EFFECTO INHIBITORIO DE LEVADURAS *Trichosporon* spp. FRENTE A DIFERENTES CEPAS DE *Ascosphaera apis*, PROVENIENTES DE ESPAÑA Y PROVINCIAS ARGENTINAS

Ramos A. C.; Tejerina M. R.; Benitez Ahrendts M. R.

Páginas 39-47:

COLEÓPTEROS ASOCIADOS A UN ECOTONO DE LA SELVA PEDEMONTANA DE LAS YUNGAS (JUJUY, ARGENTINA)

Baca V. A.; Muruaga de L'Argentier S.; Lujan Rudek, C. N.; Vilte, H.

Páginas 48-56:

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE QUESOS FRESCOS ARTESANALES DE TRES REGIONES DE LA PROVINCIA DE JUJUY

Calliope, S. R.; Segundo, C. N.; Molina, E.

Páginas 57-71:

ESTIMACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO MEDIANTE EL BALANCE HIDROLÓGICO OPERATIVO AGRÍCOLA, PARA LOS DEPARTAMENTOS SANTA CATALINA Y COCHINOCA, PROVINCIA DE JUJUY

Toconás, P. J. A.; Alabar, F. D.; Arias, M. P.; Hurtado, R. H.

Páginas 72-86

ESTIMACIÓN DEL AGUA EN SUELO MEDIANTE UN MODELO DE BALANCE HIDROLÓGICO DIARIO

Alabar, F.; Hurtado, R.; Portal, M.; Arias, P.; León Ruíz, S.; Mayo, H.; Valdiviezo Corte, M.; Moreno, C.; Riquelme, A.

Páginas 87-92

PRUEBAS DE INHIBICIÓN DE *Bacillus subtilis* SOBRE HONGOS TRANSPORTADOS POR HORMIGAS INVASORAS DE COLMENAS APÍCOLAS

Ruiz, G. B.; Retamoso R. M.; Benítez Ahrendts M.

INDEX

Páginas 5-13:

WEIGHT OF ROOTS, STEMS, AND BRANCHES, AND UNDERGROUND PROPORTION OF POPLARS AT THE SAN PABLO FOREST STATION (FORMER IFONA), PROVINCE OF JUJUY

Chocobar, A. N. E.

Páginas 14-23:

SELECTION OF NON-SACCHAROMYCES NATIVE OENOLOGICAL YEASTS OF VINEYARDS IN HUMAHUACA LOCALITY, JUJUY, ARGENTINA

Burgos, C. R.; Ortega, A. M. A.; Rodríguez, C. I.; Agüero, A. A.

Páginas 24-31:

FIRST RESULTS OF THE PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF HONEYS PRODUCED IN THE QUEBRADA DE HUMAHUACA, JUJUY ARGENTINA

Colqui, R. A.; Rozo, V. F.; Velásquez, D. L.; Sánchez, A. C.

Páginas 32-38:

INHIBITORY EFFECT OF *Trichosporon* spp. YEASTS IN THE PRESENCE OF DIFFERENT STRAINS *Ascosphaera apis*, FROM SPAIN AND ARGENTINIAN PROVINCES

Ramos A. C.; Tejerina M. R.; Benitez Ahrendts M. R.

Páginas 39-47:

COLEOPTERA ASSOCIATED WITH AN ECOTONE FROM THE PEDEMONTANA JUNGLE OF THE YUNGAS (JUJUY, ARGENTINA)

Baca V. A.; Muruaga de L'Argentier S.; Lujan Rudek, C. N.; Vilte, H.

Páginas 48-56:

QUALITY EVALUATION OF ARTISANAL FRESH CHEESES FROM THREE REGIONS IN JUJUY PROVINCE

Calliope, S. R.; Segundo, C. N.; Molina, E.

Páginas 57-71:

WATER ESTIMATION IN SOIL FOR SANTA CATALINA AND COCHINOCA DEPARTMENTS IN JUJUY PROVINCE

Toconás, P. J.A.; Alabar, F. D.; Arias, M. P.; Hurtado, R. H.

Páginas 72-86

WATER ESTIMATION IN SOIL THROUGH A DAILY HYDROLOGICAL BALANCE MODEL

Alabar, F.; Hurtado, R.; Portal, M.; Arias, P.; León Ruíz, S.; Mayo, H.; Valdiviezo Corte, M.; Moreno, C.; Riquelme, A.

Páginas 87-92

BACILLUS SUBTILIS INHIBITION TESTS ON FUNGUS TRANSPORTED BY INVASIVE ANTS FROM HONEY BEE HIVES

Ruiz, G. B.; Retamoso R. M.; Benítez Ahrendts M.