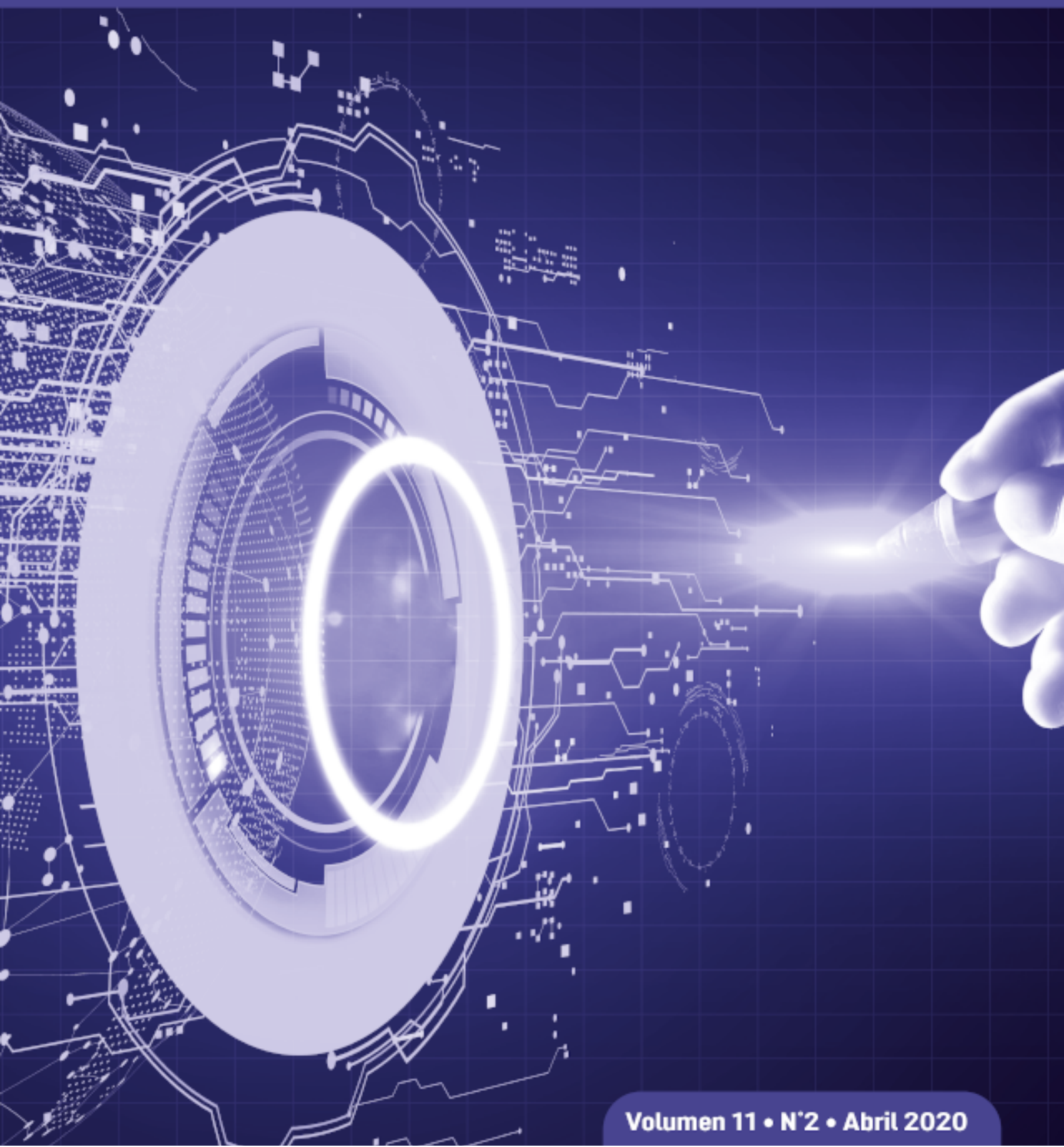


ENFOQUE

UTE
REVISTA



Facultad Ciencias de la Ingeniería e Industrias
eISSN:13906542



Volumen 11 • N°2 • Abril 2020

Sumario

EFFECT OF NEM ON <i>PHYLLOCNISTIS CITRELLA</i> STAINTON AND ITS PARASITOID <i>AGENIASPIS CITRICOLA</i> LOGVINOVSKAYA IN ECUADOR (Efecto del nim sobre <i>Phyllocnistis citrella</i> Stainton y su parasitoide <i>Ageniaspis citricola</i> Logvinovskaya en Ecuador) <i>Ernesto Cañarte-Bermúdez, Bernardo Navarrete-Cedeño, Silvia Montero-Cedeño, Hugo César Arredondo-Bernal, Onésimo Chávez-López, Néstor Bautista-Martínez</i>	1
ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL CONTROL DE <i>BOTRYTIS</i> SP. EN MORA DE CASTILLA (<i>RUBUS GLAUCUS</i>) (Technological alternatives for the control of <i>Botrytis</i> sp. In Andean blackberry (<i>Rubus glaucus</i>)) <i>Martin Acosta-Ruales, William Fernando-Viera, Trevor Jackson, Wilson Vásquez-Castillo</i>	11
EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRES EQUIPOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CON DIFERENTES GENOTIPOS DE PALMA ACEITERA (<i>ELAEIS</i> SP.) (Evaluation of the efficiency of three oil extraction equipments with different oil palm genotypes (<i>Elaeis</i> sp.)) <i>Mercedes Navarrete Parraga, Silvia Zambrano Marcillo, Walter Zambrano Sabando, Martha Romero Pizarro, Marcelo Racines Jaramillo, Ernesto Paredes Puga, Leonardo Quintero Román, Digner Ortega Cedillo</i>	21
REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE SISTEMAS DX-SAHP PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA (Review of the state of art of DX-SAHP systems to obtain domestic hot water) <i>William Quitiaquez, Isaac Simbaña, C. A. Isaza-Roldán, Patricio Quitiaquez, César Nieto-Londoño, Fernando Toapanta-Ramos</i>	29
DIFERENCIACIÓN MORFOLÓGICA, FENOLÓGICA Y POMOLÓGICA DE CULTIVARES COMERCIALES DE MORA (<i>RUBUS GLAUCUS</i> BENTH.) (Morphological, phenological and pomological differentiation of commercial cultivars of blackberry (<i>Rubus glaucus</i> Benth.)) <i>Mónica Iza, Pablo Viteri, Milton Hinojosa, Aníbal Martínez, Andrea Sotomayor, William Viera</i>	47
<i>IN SITU</i> MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF SOURSOP (<i>ANNONA MURICATA</i> L.) PLANTS IN MANABÍ, ECUADOR (Caracterización morfológica <i>in situ</i> de plantas de guanábana (<i>Annona muricata</i> L.) en Manabí, Ecuador) <i>Moreira-Macías Ricardo, Rodríguez Héctor, Héctor-Ardisana Eduardo, Feicán-Mejía Carlos, Mestanza Velasco Saúl Anibal, Viera Arroyo William</i>	58
THIRD-PARTY MANAGEMENT IN SOFTWARE DEVELOPMENT: PROPOSAL OF A METHODOLOGY (Gestión de terceros en el desarrollo de software: propuesta de una metodología) <i>Yeison Núñez-Sánchez and Antonio González-Torres</i>	71
DISEÑO, EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DEL PROCESO DE CURTIDO DE PIELS: CASO PIELS DEL SUR E.I.R.L. (Design, evaluation and validation of an effluent treatment system for the leather tanning process: case PielS del Sur E.I.R.L.) <i>Víctor Muñoz Paz, Víctor Longa Cuayla, Alejandra Carreño Arispe, José Aguilar Franco</i>	85
CFD ANALYSIS OF A SOLAR FLAT PLATE COLLECTOR WITH DIFFERENT CROSS SECTIONS (Análisis CFD de un colector de placa plana con distintas secciones transversales) <i>Anthony Xavier Andrade, William Quitiaquez Sarzosa, Luis Fernando Toapanta</i>	95

RED NEURONAL ARTIFICIAL PARA ESTIMAR UN ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA

(Artificial neural network to estimate an index of water quality)

Lenin Quiñones Huatangari, Luis Ochoa Toledo, Nicolás Kemper Valverde,

Oscar Gamarra Torres, José Bazán Correa, Jorge Delgado Soto

109

Effect of neem on *Phyllocnistis citrella* Stainton and its parasitoid *Ageniaspis citricola* Logvinovskaya in Ecuador

(Efecto del nim sobre *Phyllocnistis citrella* Stainton y su parasitoide *Ageniaspis citricola* Logvinovskaya en Ecuador)

Ernesto Cañarte-Bermúdez,¹ Bernardo Navarrete-Cedeño,¹ Silvia Montero-Cedeño,² Hugo César Arredondo-Bernal,³ Onésimo Chávez-López,⁴ Néstor Bautista-Martínez⁵

Abstract

Efficacy of neem on Citrus Leafminer (CLM) and effect on its parasitoid *Ageniaspis citricola* was evaluated, using field, cage and olfactometer tests. Treatments were: aqueous extract of neem (50 gL⁻¹), formulated oil of neem (10 mL L⁻¹) and control. Field study was done in a Citrus aurantifolia orchard, three applications were carried out, which were evaluated every 48 hours until ten days after the treatment. Cage and olfactometer tests were performed in a greenhouse and repeated twice each time. In the cage, it were used 50 infested Citrus reticulata plants per experimental unit, while for the olfactometer test, as experimental arena, transparent plastic jars with 20 adults of CLM inside were used. Variables evaluated were: CLM infestation, dead, live and predated larvae, pupae, emerged adults and parasitized pupal chambers. The highest mortality of the CLM was caused by the aqueous extract of neem with 77.17%, which began 48 hours after application, suggesting inhibition of feeding. The aqueous extract of neem showed in average 88.80 % of repellency of adults of CLM and neem oil 85.64%. The high mortality of CLM and the repellent effect of neem, seem to influence negatively in parasitism which fluctuated between 9.45 % and 20.16 % in treated trees.

Keywords

Biological control, Botanical control, Citrus leaf miner.

Resumen

Se evaluó la eficacia del nim sobre el Minador de la Hoja de los Cítricos (MHC) y el efecto sobre su parasitoide *Ageniaspis citricola* mediante pruebas de campo, jaula y olfatómetro, los tratamientos fueron: extracto acuoso de nim (50 gL⁻¹), aceite formulado de nim (10 mL L⁻¹), y un control. El experimento de campo se realizó en un huerto de limón *Citrus aurantifolia*, realizándose tres aplicaciones, que fueron evaluadas cada 48 horas hasta diez días después del tratamiento. Las pruebas en jaulas y olfatómetros se realizaron en invernadero, repitiéndose dos veces. En la jaula cada unidad experimental constó de 50 plantas de *Citrus reticulata* infestadas, en el olfatómetro, la arena experimental fue una botella de plástico transparente con 20 adultos de MHC en su interior. Las variables evaluadas fueron: infestación por MHC, larvas muertas, vivas y depredadas, pupas, adultos emergidos de MHC, y cámaras pupales parasitadas con *A. citricola*. La mayor mortalidad del MHC (77.17 %) se registró con el extracto acuoso de nim, efecto que comenzó 48 horas después de la aplicación, actuando como inhibidor de la alimentación. El extracto acuoso de nim tuvo un resultado de 88.80% de repelencia de adultos de MHC y el aceite de nim 85.64 %. La alta mortalidad de MHC y el efecto repelente del nim influyeron negativamente en el parasitismo, que fluctuó entre 9.45 % y 20.16 % en los árboles tratados.

Palabras clave

Control biológico, Control botánico, Minador de los cítricos.

1 Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Portoviejo-Ecuador (ernesto.canarte@iniap.gob.ec., jose.navarrete@iniap.gob.ec)

2 Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Carrera de Ingeniería Ambiental, Calceta-Ecuador (smontero@es-pam.edu.ec)

3 Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, Tecomán-México (senasicatec@prodigy.net)

4 Consultor privado, México DF-México (one.chavez.lopez@gmail.com)

5 Colegio de Postgraduados, Texcoco-México (nestor@colpos.mx)

1. Introduction

The Citrus Leafminer (CLM) *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae), is an important pest of citrus, native from southern Asia, but today widespread in several countries producers of citrus in America, Africa, Europe and Oceania (Beattie and Hardy, 2004, Sarada et al., 2014). Direct damage is caused by the feeding of larvae which build serpentine-like tunnels, called mines, in the young leaves of trees of the Rutaceae family; in high infestations it is possible to find mines in branch and fruits; infested young trees can slow down their development by two to three years (Grafton-Cardwell et al., 2008; Dubreuil et al., 2018). Also is reported a significant interference with the photosynthetic function in infested plants (Arshad et al., 2018). As an indirect damage the lesions caused by CLM can facilitate the infection of bacterial diseases as the citrus canker *Xanthomonas axonopodis* pv. citri (Gottwald et al., 2007).

The CLM was reported in Ecuador in 1995. Nowadays is present in the main citrus producer zones of the country, that means that close to 10 000 ha of citrus orchards are in potential risk due to the presence of the pest. Estimations of losses in *Citrus aurantifolia* reach the 45 % and the higher rate of infestation is close to 100 % (Valarezo and Cañarte 1998, Valarezo et al., 2004).

In order to satisfy the demand of products with high nutritious quality and low levels of pesticides, farmers should use good agricultural practices, which allow them to maximize productivity while protecting the environment (Green et al., 2016). In this context, the integrated use of botanical control and natural biological control becomes a good alternative for achieving this goal.

One of the most studied botanical insecticide is the neem (*Azadirachta indica*), a tree native of south Asia which has been used in ayurvedic medicine since the bronze age; this plant has many secondary metabolites with high biological activity like azadirachtin, meliacin, gedunin, salanin, nimbin and valassin (Ogbuewu et al., 2011). The research about the effect of neem compounds in pest control began in the firsts decades of the 20th century and in the 60's it was identified the azadirachtin which it is the most active metabolite (Valarezo et al, 2008). The mechanism of neem for control agricultural pest is mainly by phagodeterrency and reduction of fitness (Hummel et al., 2011). There are several studies that show the efficacy of neem derivates in CLM management (Borad et al., 2001, Faisal-Shareef et al., 2016, Arshad et al., 2019), these authors assign the success of neem compounds to their multiple mechanisms of action like the interference with insect molting and antifeedant effect.

Natural enemies play a key role in the regulation of CLM in Ecuador, in this country there are many predators and parasitoids that help to maintain the populations in subeconomic levels, the most important considering its efficacy is the encyrtid *Ageniaspis citricola*, an endoparasitoid widely used in many programs of classical biological control in several countries (Colmenarez et al., 2018), this parasitoid entered adventitiously in Ecuador when it was released in the north of Peru (Cañarte et al., 2004; Cañarte et al., 2005).

Taking into account the possibility of interference between biological and botanical control reported by Francesena and Schneiderab (2018) and Yanard (2019), this research was carried with the purpose of determinate the effectiveness of the neem on *P. citrella* and its compatibility with the activity of *A. citricola*, the main controller of this worldwide pest.

2. Methodology

Field test

This experiment was carried out in a *Citrus aurantifolia* orchard in the Lodana Parish of the Santa Ana town in Manabí, Ecuador (01°12' S and 80°23' W); each experimental plot consisted of nine six years old trees (separated seven meters between rows and seven meters between trees), being the central tree the useful one. The treatments were: aqueous extract of neem (50 gL⁻¹), formulated neem oil Inbio 75™ -CEMADEC- (10 mL⁻¹), and an absolute control (water). A randomized complete block design was used, with four blocks. Treatments applications were decided based on three parameters: a) CLM infestation around 30%, b) presence of instars I and II of CLM larvae c) Flushing greater than 60%. Treatments were applied with a motorized knapsack sprayer Solo™, using the flow restrictor in the position four, which generated the expense of one liter of insecticide solution per tree. Evaluations took place each 48 hours until 10 days after the application of treatments. The repellent effect of neem on adults of CLM was calculated using the percentage of infestation in 20 fresh previously tagged shoots per useful tree and applying the formula cited by González et al., (1995):

$$\% \text{ of infestation} = \frac{\text{Number of leaves with live CLM larvae per shoot}}{\text{Number of leaves per shoot}} \times 100$$

To establish CLM larvae mortality, prior to application of the treatments leaves without mines were eliminated in each tagged shoot, leaving only those with presence of live CLM larvae, of first instar, which is a stage suitable for *A. citricola* oviposition (Edwards and Hoy, 1998). A 10 x magnifying glass was used to recognize the CLM larvae. After the application of treatments, the selected shoots were protected with organdie bags, in order to avoid effect of predation and other parasitoids over CLM larvae. Larval mortality was determined visually in the field, using an OptiVisor™ magnifier glass (4x) and applying the formula cited by Tiertó (1994):

$$\% \text{ of mortality} = \frac{\text{Number of dead insects}}{\text{Total population of the insect}} \times 100$$

The effect of neem on parasitism was determined based on the following variables: live larvae, dead larvae, adults emerged from CLM and pupa with evidence of parasitism, obtaining the percentage of parasitism in each evaluation, by the formula cited by Castaño (1996):

$$\% \text{ of parasitism} = \frac{\text{Number of biological stages of parasitoids}}{\text{Total number of biological stages (parasitoid + pest)}} \times 100$$

This experiment was repeated three times during the dry season.

Cage test

This experiment was carried out at the "Portoviejo" Experimental Station of the National Institute of Agriculture Research (INIAP) (01°10' S and 80°26' W). 150 one year old plants of mandarin

"Cleopatra" (*C. reticulata*) were placed in a cage (2 x 2 x 2 m) covered with organdie cloth, and were distributed in three groups of 50 plants per treatment, that were pruned a height of 50 cm with the purpose of stimulating the uniform emission of new shoots, free of CLM, after 15 days in the cage the plants had shoots of 5 cm which are ideal for infestation (Bautista, 1998). The same three treatments of the field test were assigned in a randomized complete design in which each plant was considered as an experimental unit; the treatments were applied using a manual backpack sprayer CP3™ with a expense of 10 mL of the insecticide solution per plant, each group of plants was treated in different times to avoid contamination, after this process plants were immediately transported to an open field. They remained in a citrus orchard with historical records of high levels of CLM and parasitoids during eight days, in order to allow CLM infestation, larvae development until instar I and exposition to parasitoids. At the end of this period, the plants were moved back to the cage to suppress the risk of predation of CLM larvae. Neem repellency on CLM adults and parasitoids was determined, as well as CLM larval mortality by neem effect. The test was repeated twice (dry season and rainy season).

Olfactometer test

This trial was done in the laboratory of entomology in the "Portoviejo" Experimental Station (26 ± 2 °C and 75 ± 5% RH, 12-h photoperiod). Neem repellency was studied using CLM adults. The test was repeated twice. It was applied the methodology described by Schuster et al.,(2009), using plastic olfactometers which consisted in transparent jars of a size of 20 cm in height by 16 cm in diameter, in the upper part it was made a hole of 3 cm, which was covered later with a plug. Tests started every day at 6:00 h, using cutting discs (one per each olfactometer) of *C. aurantifolia* young leaves of 2.5 cm diameter, which were immersed in the same treatments of field test for 10 seconds, then placed in a mesh for 30 minutes for drying. Later they were collocated in the hole located at the top of each olfactometer (inside the plug) and supported with a mesh. Evaluations began at 7AM and from this first record, data was taken at 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 and 24 hours after. The only variable recorded was the number of adults perched on the leaf disc, one replicate per day, with a total of five biological replicates of the experiment, each one was considered as a repetition in a completely randomized design, the experimental unit was a olfactometer with 20 unsexed newborn (<24 h) adults of CLM. The percentage of repellency was calculated whit the formula used by Olivero et al., (2009):

$$\% \text{ of repellency} = \frac{\text{Number of moths in treated disk} - \text{Number of moths in untreated disk}}{\text{Number of moths in treated disk} + \text{Number of moths in untreated disk}} \times 100$$

Preparation and application of treatments

For the treatment with aqueous extract, the operation was controlled from the harvest to the processing of the mature neem seed, which was harvested and immediately processed (deshelled, washed with water and dried at room temperature for five days), under these conditions the seed was ready to be ground. In each application the necessary amount of seed was ground and mixed with water, 24 hours later this solution was strained twice (with the objective of avoid blocking of

the nozzles of the sprayer) and applied at the concentration of 50g L⁻¹. For the neem oil treatment it was used the commercial formulated oil INBIO 75™ at the concentration of 10 mL L⁻¹.

Statistical analysis

Data was analyzed with the Statistical Analysis program, Version 6.12 (SAS Institute, 1988), Tukey mean separation test was applied to variables that showed statistical differences ($p \leq 0.05$).

3. Results and Discussion

Field test

Neem repellency to adult CLM populations was determined based on the percentage of infestation (Figure 1A). Tukey test detected in all replicates that the aqueous extract and formulated neem oil treatments differ statistically from the control, which presents up to 47.96% infestation in replicate one. In replicate three, it is observed that statistically the aqueous extract differs from the other two treatments, presenting the lowest infestation (11.97%), followed by the neem oil formulated with 18.41%. This suggests that neem acts as a repellent for adults of CLM, by keeping it away from the plant by olfactory or gustatory ways, interfering with its oviposition (Botanical Agricultural Insecticide, 1996). This is also consistent with the work of Zhang et al., (1994) in China, who applying neem oil in concentration of 1.4 %, obtained infestations lower than 10 %, while the control reached 97 %.

Larval mortality in plots treated with neem differ statistically from the control in the three trials, presenting continuously a high value, which reaches 77.17 % in the aqueous extract and 68.96 % in the oil (Figure 1B), concordant with Bautista (1997), who states that the aqueous extract of neem (50 gL⁻¹) causes a mortality of 70.56 % between 48 and 72 hours after application, while Valarezo and Cañarte (1998) report a mortality of the formulated oil (Inbio 75™) higher than 80 % until 12 days after application. It was also determined in this study that larval mortality began 48 hours after application and reached its maximum effectiveness ten days after application. The onset of neem mortality 48 hours after application, suggest that either as an extract or formulated oil, neem acts as an anti-feedant on the larvae of this pest. The limonoids contained in the neem paralyze the muscles of the jaws, interfering with the feeding process and eventually causes the death of the insect (Botanical Agricultural Insecticide, 1996). The anti-feeding action is manifested in the gastro-intestinal tract of the insect, so the ingested azadirachtin, causes disorders in the process of digestion and assimilation, this effect was confirmed by Ghoneim and Hamadah (2017) in an experiment with *Spodoptera littoralis*, in which they found that larvae treated with neem, defecated a significative lower amount of pellets that control ones. Another favorable and complementary characteristic of neem is its translaminar action (Botanical Agricultural Insecticide, 1996). Action that allows it to reach the walls of the parenchyma where the larva feeds, causing disorders in the process of protein synthesis (Sponagel, 1997).

The biological effectiveness shown by neem on CLM larvae interferes with the parasitoid population (Figure 1C). Treatment means in the last evaluation for the parasitism variable show statistical differences between neem and control, which presented significantly higher parasitism percentages (66.04 %, 62.26 % and 53.30 %) for tests 3, 2 and 1 respectively. On the other hand, it was determined that being the treatments with neem statistically different to

the control, also between them there are statistical differences, presenting the treatment with aqueous extract the lowest percentage of parasitism (not greater than 12.42 %) in test 3; while neem oil reached a parasitism of 23.30 % in test 1. The variation of parasitism between neem treatments is related to the differential mortality of larvae that present, since the aqueous extract presented a higher mortality, reducing the possibilities of establishment and development of parasitoids due to the suppression of the host. The parasitoid *A. citricola* was found parasitizing more than 50 % of CLM larvae in the control treatment and knowing that neem is responsible for high mortality of larvae, it also interferes with *A. citricola*, eliminating it during its development on the larva of CLM, This is verifiable when observing the Figure 1D, the control treatment always presents a significant higher percentage of CLM pupae (38.11 %, 31.95 % and 25.11 %), and that corresponds to those larvae that escape the action of parasitoids.

Cage test

The significant differences between neem treatments and the control are showed in Figure 2A which had the highest average of infestation (42.58 % and 37.01 %) in the two tests. The neem treatments were statistically similar, with the lowest infestation in the aqueous extract (13.87 %) in test 1, and the oil 17.79 % in test 2.

According to Tukey's test, there are differences in larval mortality between neem treatments and the control that presented a mortality of 4.21 % in test 1; while between neem treatments there were no statistical differences, presenting the aqueous extract 16.91 %, and neem oil 13.43 % of mortality (Figure 2B). These low percentages of CLM mortality would be explained due to the ten days lasted between the application of treatments and the presence of first instar larvae (Valarezo and Cañarte, 1997), a period in which the persistence of nim in treated leaves is low and therefore their insecticidal action on the larvae is reduced.

Similarly, while it is true that there were not high percentages of mortality, the repellent effect of these substances on the adult population of the CLM was confirmed, repellency that may have spread to parasitoids, because when observing the mean parasitism of the two tests (figure 2C), it is clear that in test 1 the three treatments are different from each other, the control presenting the highest percentage of parasitism (75.50 %), which is very different from neem oil (18.48 %) and aqueous extract with 8.23 %. In test 2, the control had a higher parasitism (73.61 %), while neem treatments did not differ statistically among them, presenting both low percentages. This comparison of means suggest that the secondary compounds emitted by neem also have a repellent effect upon the parasitoid, considerably reducing the population of this beneficial organism. This assertion is supported by numerous studies on the mechanisms of action of neem in insects, which say that when a plant is sprayed with neem-based products, from the treated surface olfactory messages are emitted that prevent pests from colonizing it. Therefore, the rate of oviposition is reduced, either by the decrease in the population of ovipositing females, or by the anti-oviposition effect of neem in females that colonize and feed on a treated plant. This is consistent with Bezzar et al., (2016), who in their experiments found that larvae of *Drosophila melanogaster* exposed to neem, became adults with a significant lower amount of eggs that the unexposed ones.

Figure 2D shows the differences between the treatments for the emergency percentage variable of adults in CLM. In both tests the control had a significant lower percentage of emergency that fluctuated between 20.29 and 23.18 respectively. The neem treatments (extract and oil) had more than 68 % of adult emergency. These results suggest that neem treated plants repelled the

arrival of parasitoids, allowing the normal development of the pest, while in the control parasitoids did not have interference for attacking the CLM larvae. The greater adult emergence in larvae treated with neem is also favored by the low mortality that presents when it is applied before infestation.

Olfactometer test

Tukey test to average number of adults of CLM perched on treated leaf disc, established that neem treatments are statistically different from the control in all evaluations and tests (Figure 3). The neem treatments do not differ statistically between them, in test 1 the aqueous extract had a maximum average of adults (1.60) at 12 hours, followed by neem oil that at 8 hours presented 2 adults, and while in the control were presented at 12 and 24 hours an average of 15.60 adults (Figure 3A). These results were confirmed in test 2: the control reached up to 14.20 adults posed at 12 and 24 hours, a situation very contrasting with neem treatments, where the maximum number of adults posed was 1.80 in neem oil at 24 hours and 1.40 adults at 8 hours in the aqueous extract (Figure 3B). These results agree with those previously found in this research, regarding to the repellent action that neem exerts on the adult populations of CLM, either in aqueous extract or formulated oil. Once this repellent effect was statistically verified, the values were transformed to percentage in the two tests. It was determined that both the aqueous extract and the formulated neem oil have, on average, very similar repellency, this being 85.68 % and 85.64 % for the extract and oil formulated, respectively in test 1, a situation that is confirmed in test 2, where on average a repellency was obtained for the aqueous extract of 88.80 % and 83.46 % for the formulated oil of neem.

Figure 1. Field test, percentages of **A)** infestation of CLM, **B)** mortality of CLM, **C)** parasitism (*A. citricola*) and **D)** pupation of *P. citrella*

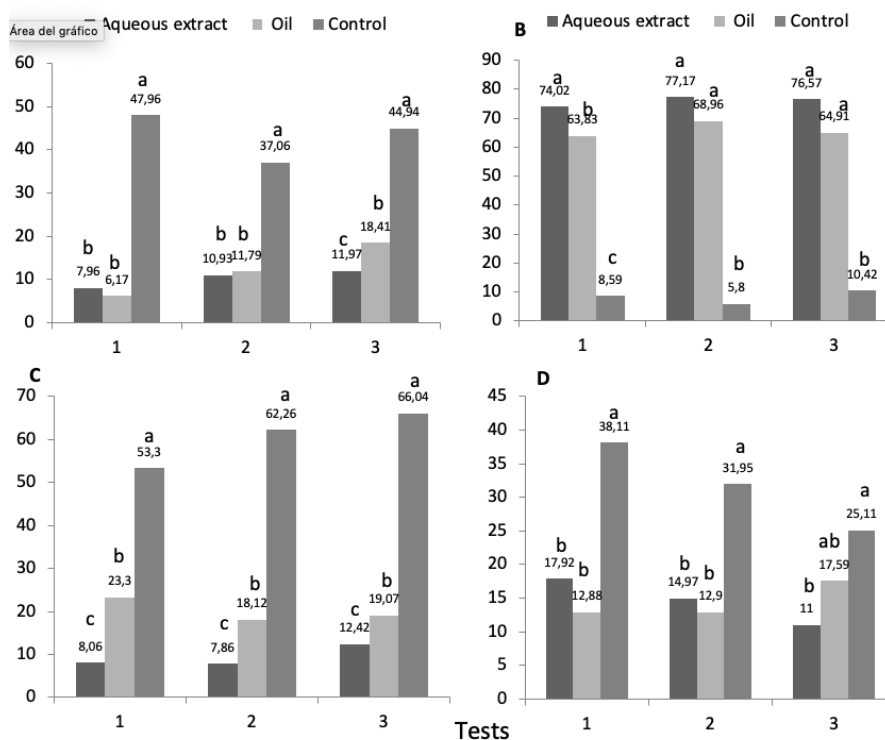


Figure 2. Cage test, percentage of **A)** infestation of CLM, **B)** mortality of CLM, **C)** parasitism (*A. citricola*), **D)** adult emergence of *P. citrella*

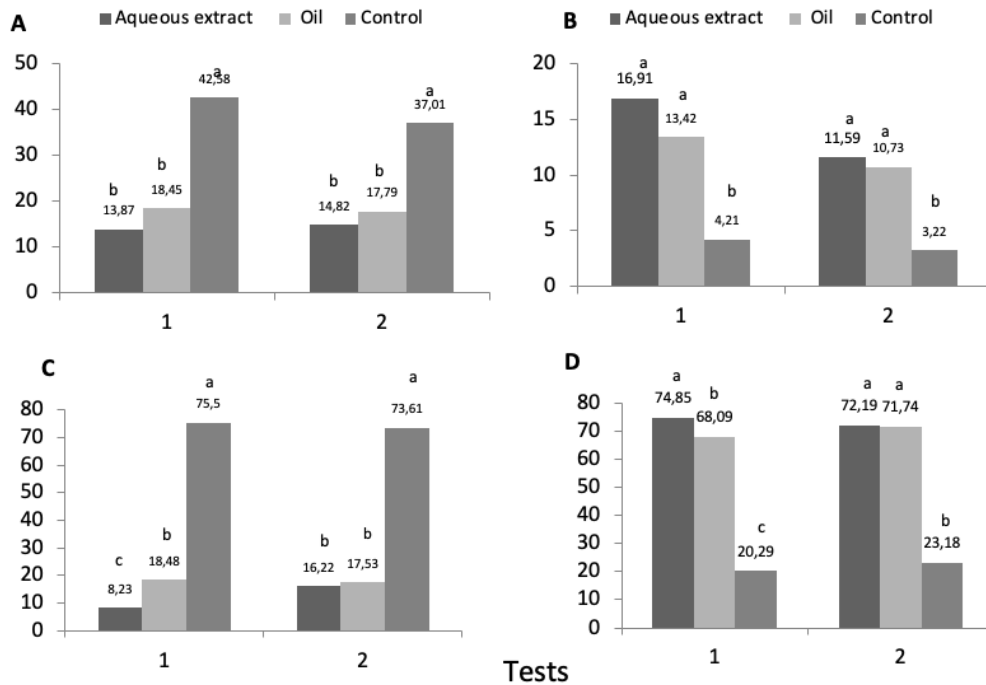
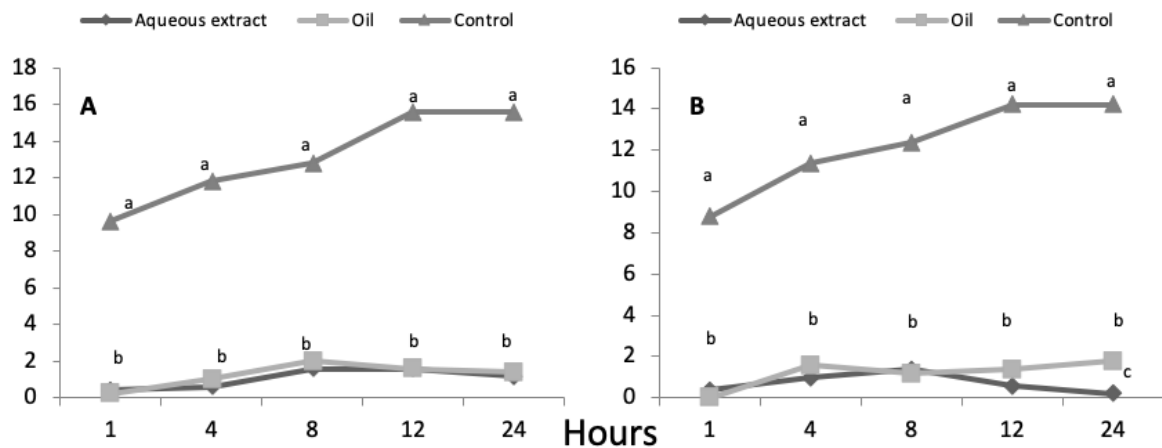


Figure 3. Olfactometer test, number of adults perched in leaf discs after the treatments. **A)** test 1, **B)** test 2



4. Conclusions and recommendations

The neem extract caused the highest larval mortality (77.71 %) and adult repellency of *P. citrella* (88.80 %), keeping this effect until ten days after the application of treatments. However, these effects interfered with the action of its main parasitoid *A. citricola*, repelling it and reducing its

possibilities of establishment and development due mainly to the suppression of its natural host. For this reason, it is recommendable to avoid the use of neem when *A. citricola* is present in high population in the citrus field.

Acknowledgements

We thank the organizers of the “II Simposio de Producción Integrada de Frutas 2019” for let us present this work in the meeting.

Bibliography

- Arshad, M., Ullah, M., Afzal, M., Iftikhar, Y., Khalid, S., Hussain, Z., Molina-Ochoa, Jaime. and Foster, J. (2019). Evaluation of Synthetic Insecticides and Essential Oils for the Management of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae). *Pakistan Journal of Zoology*, 51(3): 1053-1058.
- Arshad, M., Ullah, M., Qureshi, J. and Afzal, M. (2018). Physiological Effects of Citrus Leafminer *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) Larval Feeding on Photosynthetic and Gaseous Exchange Rates in Citrus. *Journal of Economic Entomology*, 111(5): 2264–2271. <https://doi.org/10.1093/jee/toy150>
- Bautista, N. (1997). Bioecología de *Phyllocnistis citrella* Stainton. Minador de la hoja de los cítricos (Lepidoptera: Gracillariidae). *Tesis Doctor en Ciencias. Especialidad de Entomología y Acarología. Instituto. Fitosanidad.*, México: Colegio de Postgraduados.
- Beattie, A. and Hardy, S. (2004). *Citrus leafminer Agfact H2.AE.4*. Sidney: Department of Primary Industries.
- Bezzar, R., Kilani, S. and Aribi, N. (2016) Larval exposure to azadirachtin affects fitness and oviposition site preference of *Drosophila melanogaster*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 133: 85–90.
- Borad, P., Patel, M., Vaghela N., Patel, B., Patel, M., and Patel, J. (2001). Evaluation of some botanicals against citrus leafminer (*Phyllocnistis citrella*) and psylla (*Diaphorina citri*) on kagzilime (*Citrus aurantifolia*), *Indian Journal of Agricultural Science*, 71: 177–179.
- Botanical Agricultural Insecticide. (1996). *Neem-X. A New Insect Control Weapon*. Port Charlotte: USA.
- Cañarte, E., Bautista, N., Vera, J., Arredondo, H., & Huerta, A. (2004). *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) and its parasitoids in citrus in Ecuador, *Florida Entomologist*, 87 (1): 10-17.
- Cañarte, E., Valarezo, O., Navarrete, B., and Bautista M., N. (2005). Control biológico del minador de la hoja de los cítricos *Phyllocnistis citrella*: Estudio del caso *Agéniaspis citricola* en Ecuador. Portoviejo: INIAP.
- Castaño, O. (1996). El minador de la hoja de los cítricos (*Phyllocnistis citrella*) In: *XXII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología*. Cartagena de Indias: Universidad de Caldas.
- Colmenarez, Y., Corniani, N., Mundstock, S., Sampaio, M. and Vásquez, C. (2018). Use of Parasitoids as a Biocontrol Agent in the Neotropical Region: Challenges and Potential. Retrieved from <https://www.intechopen.com/online-first/use-of-parasitoids-as-a-biocontrol-agent-in-the-neotropical-region-challenges-and-potential> (accessed 25/08/2019).
- Dubreuil, N., Ottomani, M., Gilles, T., Kreiter, P. (2018). Réduction des intrants phytosanitaires en vergers de kiwis et de clémentines en Corse. *Innovations Agronomiques*, 70: 87-104.
- Edwards, O. and Hoy, M. (1998) Biology of *Agéniaspis citricola* (Hymenoptera: Encyrtidae), a Parasitoid of the Leafminer *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 91(5), 654–660. doi:10.1093/aesa/91.5.654
- Faisal- Shareef, M., Raza, A., Majeed, M., Ahmed, K., Raza, W. and Hussain, H. (2016). Effect of botanicals on the infestation of citrus leaf miner *Phyllocnistis citrella* Stainton. *Journal of Entomology and Zoology Studie*, 4(4): 1335-1340.
- Francesena, N. and Schneiderab, M. (2018). Selectivity assessment of two biorational insecticides, azadirachtin and pyriproxyfen, in comparison to a neonicotinoid, acetamiprid, on pupae and adults of

- a Neotropical strain *Eretmocerus mundus*. *Mercet. Chemosphere*, 206: 349-358. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.010>
- Ghoneim, K., and Hamadah, K. (2017). Antifeedant activity and detrimental effect of Nimbecidine (0.03% Azadirachtin) on the nutritional performance of Egyptian cotton leafworm *Spodoptera littoralis* Boisd. (Noctuidae: Lepidoptera). *Bio Bulletin*, 3(1): 39-55.
- González, C., Borges, M., Castellaños, A., González, N., Vázquez, L., and García, M. (1995). *Phyllocnistis citrella*. Minador de la Hoja de los Cítricos In: *II Taller nacional sobre el minador de la hoja de los cítricos*. La Habana: Instituto de Investigaciones de Cítricos.
- Gottwald, T., Bassanezi, R., Amorim, L. and Bergamin-Filho, A. (2007). "Spatial pattern analysis of citrus canker-infected plantings in Sao Paulo, Brazil, and augmentation of infection elicited by the Asian leafminer". *Phytopathology*, 97(6): 674-83. doi: 10.1094/PHYTO-97-6-0674.
- Grafton-Cardwell, E., Godfrey, K., Headrick D., Mauk, P. and Peña, J. (2008). "Citrus Leafminer and Citrus Peelminer". Retrieved from <https://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/8321.pdf> (accessed 25/08/2019).
- Green, H., Broun, P., Cakmak, I., Condon, L., Fedoroff, N., Gonzalez-Valero, J., Graham, I., Lewis, J., Moloney, M., Oniang'o, R., Sanginga, N., Shewry, P. and Roulin, A. (2016). "Planting seeds for the future of food". *Journal of the science of food and agriculture*, 96(5): 1409-1414. doi: 10.1002/jsfa.7554
- Hummel, H., Hein, D., Ley, S., Morgan, E., Kraus, W. and Schmutterer, H. (2011). Twenty five years of azadirachtins (1986- 2011). *Pestycydy/Pesticides* 1(4): 49-56.
- Ogbuewu, I., Odoemenam, V., Obikaonu, H., Opara, M., Emenalom, O., Uchegbu, M. Okoli, B. (2011). "The Growing Importance of Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) In Agriculture, Industry, Medicine and Environment: A Review." *Research Journal of Medicinal Plants*, 5(3): 230-245. doi: 10.3923/rjmp.2011.230.245.
- Olivero, J., Caballero, K., Jaramillo, B. and Stashenko, E. (2009). Actividad repelente de los aceites esenciales de *Lippia organoides*, *Citrus sinensis* y *Cymbopogon nardus* cultivadas en Colombia frente a *Tribolium castaneum*, Herbst. *Revista Universidad Industrial de Santander. Salud*, (41) 3: 244-250.
- Sarada, G., Gopal, K., Gouri, T., Mukunda, L., Gopi, V., Nagalakshmi, T. and Ramana, K. (2014). Citrus Leaf Miner (*Phyllocnistis citrella* Stainton, Lepidoptera: Gracillariidae): Biology and Management: A Review. *Journal of Agriculture and Allied Sciences*, 3(3): 39-40.
- SAS Institute. (1998). Language Guide for Personal Computer release. 6.03 ed. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Schuster, S., Thompson, L., Ortega, D. and Polston, E. (2009). Laboratory evaluation of products to reduce settling of sweetpotato whitefly adults. *Journal of Economic Entomology*, 102 (4): 1482-1489.
- Sponagel, K. (1997). Propuesta de desarrollo para actividades agroecológicas de CEMADEC con énfasis en el uso del árbol nim. Quito, Corporación PROEXANT.
- Tierto, N. (1994). The ability of powders and slurries from ten plant-species to protect. Stored grain from attack by *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae) y *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, 30(4): 297-301.
- Valarezo, O. and Cañarte, E. (1998). El minador de la hoja de los cítricos *Phyllocnistis citrella* en el Litoral ecuatoriano. Portoviejo: INIAP-COSUDE.
- Valarezo, O., Cañarte, E. y Navarrete, B. (2004). Distribución, bioecología y manejo de *Phyllocnistis citrella* Stainton en Ecuador. Portoviejo: INIAP-PRORMSA.
- Valarezo, O., Cañarte, E. and Navarrete, B. (2008). El nim: Insecticida botánico para el manejo de plagas agrícolas. Portoviejo. INIAP.
- Yanard, D. (2019). "Side effects of different doses of azadirachtin on predatory mite *Metaseiulus occidentalis* (nesbitt) (Acari: Phytoseiidae) under laboratory conditions. *Applied ecology and environmental research*. 17(2): 3433-3440 http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1702_34333440
- Zhang, A., O'Leary, C. and Quarles, W. (1994). Chinese IPM for citrus leafminer. *Practioner*, 16(8): 10-13.

Alternativas tecnológicas para el control de *Botrytis* sp. en mora de castilla (*Rubus glaucus*)

(Technological alternatives for the control of *Botrytis* sp. In Andean blackberry (*Rubus glaucus*))

Martin Acosta-Ruales,¹ William Fernando-Viera,² Trevor Jackson,³ Wilson Vásquez-Castillo⁴

Resumen

El cultivo de mora de castilla (*Rubus glaucus*) es de mucha importancia para los agricultores ya que deben implementar prácticas culturales que permitan reducir el uso de pesticidas sintéticos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes alternativas tecnológicas para el control de *Botrytis* sp. en el cultivo de mora de castilla. Los tratamientos fueron 1: Testigo absoluto (silwet + agua), 2: Fungicida tradicional sintético (Carbendazim), 3: Extracto de mirtáceas (Iridium®), 4: Metabolitos bacterianos (Balus®) y 5: *Trichoderma* spp. (Tricomix®). Las aplicaciones se realizaron cada 15 días para el producto sintético y cada 8 días los biológicos, orgánicos y el testigo. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 3 repeticiones y un total de 10 unidades experimentales. Las variables estudiadas del fruto fueron: incidencia de *Botrytis* sp. (%), rendimiento (g/parcela), peso (g), diámetro polar y ecuatorial (mm), firmeza (N), sólidos solubles totales (Brix), acidez (% ácido cítrico) y pH (log H⁺). Se realizó un análisis de varianza y prueba de Tukey al 5 %. A partir de un análisis de incidencia semanal, se identificó que Carbendazim, *Trichoderma* spp. y extracto mirtáceas tuvieron un control en la incidencia de *Botrytis* sp. en el fruto de mora de castilla.

Palabras clave

Biocontroladores; *Botrytis* sp.; *Trichoderma* spp.; características fisicoquímicas; incidencia.

Abstract

The Andean blackberry crop (*Rubus glaucus*) is very important for the farmers, since they must implement cultural practices that allow reducing the use of synthetic pesticides. The objective of the study was to evaluate the effect of different technological alternatives for the control of *Botrytis* sp. in the blackberry crop. The treatments were: 1: Absolute control (silwet+water), 2: Traditional chemical treatment (Carbendazim), 3: Mirtaceae extract (Iridium®), 4: Bacterial metabolite (Balus®) and 5: *Trichoderma* spp. (Tricomix®). The applications were carried out every 15 days for the synthetic product and every 8 days for the biologicals, organic and the control. A randomized complete block design (RCBD) was used with 3 repetitions and Tukey test at 5 % were made. The studied variables were botrytis incidence (%), yield (g/plot), weight (g), polar and equatorial diameter (mm), firmness (N), total soluble solids (Brix), titratable acidity (% citric acid) and pH (log H⁺). Throughout a weekly incidence analysis, it was possibly to identify that the Carbendazim, *Trichoderma* spp. and mirtaceae extract had a better control in the incidence of *Botrytis* sp. in the blackberry fruit.

Keywords

Biocontrollers; *Botrytis* sp.; *Trichoderma* spp.; physicochemical characteristics; incidence.

1. Introducción

La mora de castilla (*Rubus glaucus*) es uno de los frutales andinos de importancia en el Ecuador. Dentro del país, se han reportado un total de 21 especies de *Rubus*, entre las más reconocidas están la mora de Castilla, debido a su importancia comercial (Delgado, 2012). Esta fruta se cultiva en todas las provincias de los Andes ecuatorianos, alcanza una superficie cultivada de 5247 ha (SI-

1 Investigador independiente, Quito-Ecuador (martin_acos21@hotmail.com).
2 INIAP, Quito-Ecuador (william.viera@iniap.gob.ec).
3 AgResearch, 1365 Springs Rd, Lincoln 7674, Nueva Zelanda
4 Universidad de las Américas, Quito-Ecuador (wilson.vasquez@udla.edu.ec).

NAGAP, 2016). La extensión cultivada está manejada por alrededor de 15 000 pequeños y medianos productores de la Sierra, los que poseen un nivel tecnológico bajo que requiere mejoramientos a través de programas integrales, manejo fitosanitario y mejoramiento genético (Vásquez, Pupiales, Viteri, Sotomayor, Feican, Campaña y Viera, 2019). La provincia de Tungurahua es la principal productora con un 42 % de superficie plantada, le sigue Chimborazo con el 25 % (MAGAP, 2012).

Una de las enfermedades que ocasiona grandes pérdidas económicas y es considerada como uno de los principales problemas fitosanitarios es la pudrición del fruto, moho gris o pudrición blanda, ocasionado por el hongo *Botrytis cinerea* (Quinatoa, 2015). Entre las afectaciones más importantes se encuentran la reducción del rendimiento, necrosis del fruto, momificación, quemaduras de las inflorescencias y pudrición del fruto (DANE, 2013).

La afectación por plagas y enfermedades en el cultivo de mora de castilla es la principal limitante. Por esta razón, la implementación del Manejo Integrado de Plagas (MIP) es una prioridad, cuyos componentes son el material de siembra, las labores culturales, plan de nutrición de la planta, uso adecuado de plaguicidas, que permitan el control preventivo de plagas y enfermedades (Jiménez, 2009).

El hongo *Botrytis cinerea* infecta al cultivo en cualquier estado del desarrollo del fruto y a cualquier parte de la planta, como a los tallos, flores, hojas y frutos (Viteri, et al., 2016). De acuerdo a los estudios que se realizaron en las provincias de Tungurahua, Cotopaxi y Bolívar el porcentaje de daño de esta enfermedad al cultivo puede alcanzar hasta el 91.8 % (Villares, Martínez, Viteri, Viera, Jácome, Ayala y Noboa, 2016).

Durante los últimos años se han desarrollado métodos de control de plagas en los cultivos. Entre los cuales está, el método cultural que consiste en la aplicación de buenas prácticas agrícolas, una adecuada densidad de siembra, podas y fertilización, considerando las necesidades del cultivo (Restrepo, Peñaranda, Jiménez, Galindo, Rivero, Jiménez y Guerrero, 2012). Otro método es el orgánico y consiste en el uso de productos a base de extractos vegetales, que estimulan las neuronas de insectos afectando adversamente al desarrollo de los mismos (Ramón y Rodas, 2007). El biológico que utiliza biocontroladores de plagas y enfermedades. Uno de ellos utiliza hongos como *Penicillium* spp., *Trichoderma* spp., *Gliocadium* spp. (Capelo y Roche, 2008). El control que utiliza moléculas de productos sintéticos, es la medida aplicada por la mayoría de los productores, entre los que encontramos el carbendazim (Cardona, García, Barrera, Quejada, Rodríguez y Arroyave, 2014). El genético, a través del uso de variedades resistentes a ciertas plagas y enfermedades y de alta productividad (Jiménez, 2009)

La producción convencional de los cultivos puede ocasionar diferentes efectos negativos como es el aumento de acidez de los suelos, disminución de la fertilidad y reducción de fauna nativa. A nivel del fruto se ha identificado alteraciones en las características fisicoquímicas, olor y sabor (Guevara, 2016). Debido a esto se diseñaron nuevas tecnologías para la implementación de la agricultura limpia y orgánica, basada en el uso de variedades mejoradas, controladores biológicos y fertilizantes de origen natural, esto, con la finalidad de reducir el uso de insumos de origen sintético, proteger la salud de las personas y del ambiente (Martínez, Bello y Castellanos, 2012; Marco Brown y Reyes Gil, 2003).

En los últimos años, la utilización de controladores biológicos ha ido creciendo debido a la efectividad para controlar a fitopatógenos y proteger el ambiente (Van Driesche, Hoddle, y Center, 2007). El uso de *Bacillus thuringiensis* y *Trichoderma harzanium* son varios ejemplos en el control de enfermedades (Naher, Yusuf, Ismail y Hossain, 2014). *Trichoderma* spp. es un hongo saprófito y anaerobio facultativo (realiza la respiración con o sin presencia de oxígeno), pertene-

ciente a la familia *Monilia* y género *Trichoderma*. Generalmente se lo encuentra en suelos con gran cantidad de materia orgánica (Martínez, Infante y Reyes, 2013). La eficacia de este hongo en el control de enfermedades se debe a que inhibe el crecimiento de ciertos fitopatógenos a través de la producción de metabolitos (Martínez, Infante y Reyes, 2013).

Con este antecedente, el estudio consistió en determinar el efecto de los productos de síntesis, biológicos y orgánicos en la incidencia de *Botrytis* sp., calidad físicoquímica y rendimiento del fruto de mora de castilla.

2. Metodología

El estudio se realizó desde el mes de junio hasta noviembre de 2018 en un total de tiempo de 24 semanas, en la granja experimental de la Universidad de las Américas-UDLA, ubicada a 78° 34' 22" O de longitud, 0° 4' 24" S de latitud y a una altura de 2720 msnm. La temperatura y humedad relativa promedio fue de 14 °C y 70 %, respectivamente, la precipitación anual de 1161.7 mm, el suelo es franco-arenoso y con un pH de 6.84. La evaluación físicoquímica del fruto se realizó en los laboratorios de la UDLA sede Queri, ubicados a una altura de 2831 msnm, 78° 28' 14" O de longitud y 0° 10' 10" S de latitud.

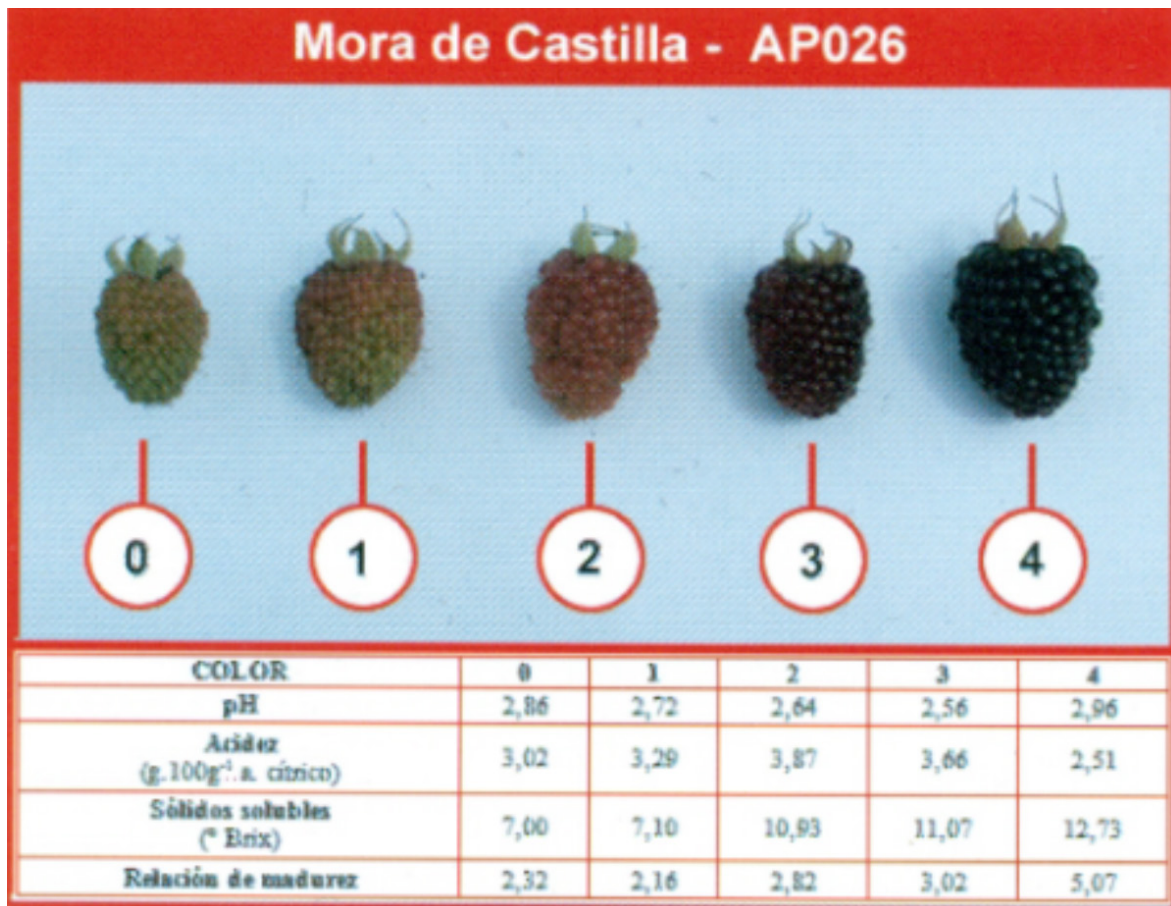
Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cinco tratamientos y tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza aplicando la prueba de Tukey al 5 %. Los tratamientos fueron T1: testigo (silwet+agua) con una dosis de 0.15 cc l⁻¹, T2: producto sintético (Carbendazim) en dosis de 1 cc l⁻¹, T3: producto orgánico (extracto de mirtáceas) con dosis de 3 cc l⁻¹, T4: microorganismo benéfico (metabolitos bacterianos) con dosis de 8 cc l⁻¹ y T5: microorganismo benéfico (*Trichoderma* spp.) con dosis de 0.37g 20 l⁻¹. La aplicación del testigo, producto orgánico y microorganismos benéficos fue cada 8 días, mientras que el producto comercial se aplicó cada 15 días.

Los datos meteorológicos desde el mes de junio hasta noviembre se obtuvieron de la estación meteorológica de Nono ubicada dentro de la granja experimental de la UDLA. Se recolectaron los datos diarios de precipitación a las 07, 13 y 19 horas. Se utilizó un data logger (Hobo Pro v2), colocado en las parcelas de mora, para recolectar los valores de temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa diaria por hora.

Las variables que se estudiaron fueron: incidencia de la enfermedad en el fruto (%), semanalmente se registró la presencia de la enfermedad en los frutos cosechados el porcentaje estuvo en relación con los frutos sanos. El rendimiento (g/parcela) se evaluó por 6 meses, para esto se consideró el rendimiento de las cosechas semanales de cada tratamiento (parcela neta). La cosecha se hizo en el grado de madurez 3, utilizando un colorímetro Lovibond LC100 (figura 1).

Las variables de calidad física y química del fruto se registraron cada mes y fueron peso del fruto (g), que se determinó tomando al azar de cada tratamiento 10 frutos y al final se calculó la media aritmética. El pH (log H⁺) que se obtuvo por la medición de un extracto producto de la maceración de 15 g de fruta, con el uso de un potenciómetro. Los SST (°Brix) se midieron a partir de 1 g de fruta colocado en un refractómetro. La acidez titulable (% ácido cítrico) se realizó con 30 g de jugo de mora mezclado con 200 ml de agua destilada, que luego fue titulado con NaOH 1N hasta llegar a un pH de 8-8.2. El diámetro polar y ecuatorial (mm) se midió con un calibrador para luego calcular la media aritmética. Para la firmeza (N) se tomaron 5 frutos representativos y al azar de cada tratamiento, se midió con un penetrómetro para obtener luego la media aritmética.

Figura 1. Color de la fruta a cosechar según especificaciones



Fuente: (Brito, Montalvo, Freire, Vásquez, Viteri, Martínez y Jácome, 2016)

3. Resultados y discusión

Al realizar la evaluación semanal (24) de la incidencia de *Botrytis* spp. en los frutos de mora, se determinó la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos en las semanas 28, 41 y 45. En la semana 28 (9-julio-2018) con un valor de p (0.0078), se evidenció que el testigo y las plantas tratadas con metabolitos bacterianos no presentaron la enfermedad, mientras que las plantas tratadas con *Trichoderma* spp. tienen la mayor incidencia con 10.53 %. Esto pudo deberse a que no sucedió la esporulación de *Trichoderma* spp. por las condiciones ambientales secas, ya que el hongo necesita humedades entre 70 % y 80 % para su crecimiento (Vásquez J., 2010).

Por otro lado, se evidencia que en las semanas 41 (08-octubre-18) con un valor de p (0.0349) y 45 (05-noviembre-18) con valor de p (0.0389), los productos metabolitos bacterianos, mirtáceas, carbendazim y *Trichoderma* spp. tuvieron un control similar sobre la enfermedad; siendo iguales estadísticamente entre ellos, pero diferentes al testigo. El comienzo de las precipitaciones en el mes de octubre (total 4.60 mm) y las temperaturas (promedio de 12.81 °C) pudieron haber favorecido en la incidencia de *Botrytis* sp.

Tabla 1. Incidencia de *Botrytis* sp. en los frutos de mora de castilla después de la aplicación de productos de diferentes orígenes en los Andes del Ecuador

Tratamientos	Incidencia (%) semanas			
	28 (09-07-18)	33 (13-08-18)	41 (08-10-18)	45 (05-11-18)
5. <i>Trichoderma</i> spp.	10.53±6 b	12.70±13.2	0.93 ± 0.8 ab	2.73±3.2 ab
3. Mirtáceas	3.93±3.3 ab	6.03±5.2	1.43 ± 1.2 ab	0±0 a
2. Carbendazim	4.57±3.1 ab	8.90±4.4	2.67 ± 2.5 ab	5.63±1.8 ab
1. Testigo	0±0 a	2.17±3.7	5.13 ± 1.2 b	8.80±5.4 b
4. Metabolitos bacterianos	0±0 a	17.50±13.7	0±0 a	3.27±2.9 ab

Promedios seguidos de la misma letra, son estadísticamente iguales (Tukey 5 %)

En general, el uso del producto de origen orgánico prácticamente fue muy similares al de origen sintético en el control de la enfermedad, sin embargo, fueron mejores en comparación con el controlador biológico como *Trichoderma* spp. Este resultado concuerda con lo reportado por Alencastro (2011), quien indica que los productos con mayor efectividad en el control del hongo *Botrytis cinerea* o moho gris son los benzimidazoles (Carbendazim) y dicarboximidazoles, esto se debe que tienen un mayor espectro de acción. De igual manera Tello, Oña, Jarrín y Viera (2018) afirman que existe una inhibición del 100 % en el crecimiento micelar con la aplicación de carbendazim.

Hincapié, Saldarría y Díaz (2016) indican que un monitoreo de las condiciones climáticas, severidad de las enfermedades y la aplicación de productos sintéticos en rotación con productos biológicos es uno de los mejores tratamientos en el control de *Botrytis cinerea*.

Además (Martínez, Villacís, Viera, Jacome, Espín, León y Rita, 2019) pascual determinan la necesidad de incluir *Trichoderma* spp. en el manejo limpio ya que las cepas colonizan las raíces protegiéndolas de cualquier patógeno. De esta forma las ramas en producción se verán sanas al igual que los frutos.

Para la variable peso del fruto, el efecto de los tratamientos no influyó por lo que no hubo diferencias estadísticas al 5 %, sin embargo, existieron fluctuaciones del peso ya que hubo variaciones entre 2.73 y 6.72 g (tabla 2).

Tabla 2. Peso del fruto de mora de castilla después de la aplicación de productos de diferentes orígenes en los Andes del Ecuador

Tratamientos	Peso fruto (g)					
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Metabolitos bacterianos	3.97±2.5	3.88±0.8	5.05±1.6	3.25 ±3.3	4.95 ±0.8	4.01 ±0.6
Carbendazim	4.75±2.4	4.38±0.5	5.73 ±1	5.58 ±1	3.60 ±0.9	4.43 ±0.9
Mirtáceas	4.80±0.7	4.56±0.8	5.63±0.6	5.55 ±0.5	4.44 ±1.4	4.57 ±1
Testigo	5.69±2.9	4.50±0.9	4.57±2.4	5.57 ±1.1	5.02 ±1.6	4.53 ±0.4
<i>Trichoderma</i> spp	6.72±0.4	3.66±1.8	5.05±3.1	4.51 ±0.6	4.72 ±1.1	2.73 ±2.5

Promedios seguidos de la misma letra, son estadísticamente iguales (Tukey 5 %)

De acuerdo con (Merchán, 2014) la fluctuación de peso se debió a la eficiencia de la cepa de *Trichoderma*, ya que este hongo influye directamente en la asimilación de nutrientes en la planta que a su vez pudo generar frutos de mayor o menor tamaño. Por otro lado, Sánchez, Vi-

llares, Niño y Ruilova (2018) indican que estas diferencias o fluctuaciones en el tamaño de los frutos pueden estar influenciadas por las temperaturas bajas. Otra de las posibilidades para las variaciones en peso del fruto puede ser el manejo agronómico del cultivo, especialmente el riego, ya que aporta con un mayor número de frutos y de mayor calibre (Rodríguez, 2018).

En las variables firmeza del fruto y sólidos solubles totales (tabla 3) existieron diferencias estadísticas al 5 % en el mes de septiembre (semana 39), siendo el testigo el que presentó frutos con mayor firmeza (1.59 N). Mientras que la mayor cantidad de SST alcanzó los tratamientos en los que se aplicó *Trichoderma*, el testigo y metabolitos bacterianos. Por otro lado, en las evaluaciones realizadas entre los meses de junio a noviembre, no existió efecto de los tratamientos en las variables antes indicadas. Las condiciones ambientales predominantes durante el período de evaluación fueron muy cambiantes en la zona de estudio, favoreciendo en unos casos el crecimiento del patógeno y/o inhibiendo el desarrollo del microorganismo benéfico para controlar la enfermedad. Esto se evidenció, puesto que las lluvias se presentaron en septiembre (1.21 mm) y temperaturas de 24.68 °C en promedio, condiciones ambientales diferentes a las de los meses secos (junio a agosto) que tuvieron una precipitación promedio de 0.15 mm.

Tabla 3. Firmeza del fruto (N) y sólidos solubles totales (°Brix) de mora de castilla después de la aplicación de productos de diferentes orígenes en los Andes del Ecuador

Tratamientos	Firmeza (N)	SST (°Brix)
	Septiembre	Septiembre
Metabolitos bacterianos	0.81±0.4 a	8.23±0.5 b
<i>Trichoderma</i> spp.	0.93±0.3 ab	9.17±0.7 b
Mirtáceas	1.30±0.4 ab	8.00±0.9 a
Carbendazim	1.39±0.5 ab	9.03±0.5 ab
Testigo	1.59±0.6 b	9.20±0.8 b

Promedios seguidos de la misma letra, son estadísticamente iguales (Tukey 5 %)

La disminución de la firmeza en los frutos con la aplicación de metabolitos bacterianos pudo implicar que, debido a la precipitación anteriormente mencionada en el mes de septiembre, generó una susceptibilidad en el ablandamiento del fruto causado por *Botrytis*. Esto pudo activar el proceso de degradación de la pared celular, dando como resultado esta disminución en la firmeza (Merchán, 2014).

Otra de las razones de este hecho es que a medida que aumenta el estado de madurez de los frutos, las paredes celulares se vuelven más débiles y empiezan a perder agua debido al comportamiento de la enzima hidrolasa. Es por esto que se debe realizar la cosecha con un grado de madurez óptimo del fruto, ya que la pared celular de un fruto con madurez alta tiende a degradarse más rápido que un fruto con madurez temprana (Deaquiz y Brigitte, 2015).

En cuanto a la variable de SST, existieron diferencias significativas al 5 % únicamente en el mes de septiembre (tabla 3), durante este mes alcanzaron un promedio de 8.72 °Brix. Durante la semana 39 y la semana 37, correspondiente al mes de septiembre, se registró una de las temperaturas más altas (26.77 °C) y una nubosidad de cinco octavos (fracción del cielo cubierta de nubes) correspondientemente. Las altas temperatura y la nubosidad que se presentaron posiblemente afectó a la formación de azúcares solubles en los frutos. De acuerdo a Deaquiz y Brigitte (2015), se mencionó que la variedad *Rubus glaucus* tiene una gran cantidad de SST en compa-

ración con el resto de las variedades existentes. Esta variedad puede registrar hasta 11.3°Brix de acuerdo al piso altitudinal que se encuentre y a las diferentes características climáticas. En otro estudio, se obtuvieron valores promedios de °Brix menores a los reportados anteriormente, lo que confirma que la alta luminosidad o insolaciones están directamente relacionadas con la formación de SST en las primeras etapas de fructificación (Grijalba, Calderón y Pérez, 2010).

En cuanto a la variable de acidez (ácido cítrico), los productos que se aplicaron no influenciaron en la acidez del fruto de mora de castilla, puesto que no existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Como se observa en la tabla 4. En general, la mayor acidez fue de 2.16 y la menor fue de 1.28.

Los valores de acidez obtenidos en este estudio están acordes con lo reportado por Iza, Rojas y Arguello (2016), quienes indican que la acidez titulable de la mora esta entre 2.20 a 2.47 %. De igual manera, identificaron que la disminución de la acidez se debe al grado de madurez de los frutos, ya que, a mayor grado de madurez, la tasa de respiración y el contenido de azúcares solubles aumentan.

Tabla 4. Acidez y pH del fruto de mora de castilla después de la aplicación de productos de diferentes orígenes en los Andes del Ecuador

Tratamientos	Acidez (% ácido cítrico)	pH
Metabolitos bacterianos	1.28±0.8	1.31±0.2
<i>Trichoderma</i> spp.	2.16±0.4	2.23±0.1
Mirtáceas	1.50±0.5	1.46±0.1
Carbendazim	1.79±0.4	1.66±0.2
Testigo	1.96±0.4	1.82±0.1
Promedio	1.73	1.70

Para la variable del pH del fruto no se presentaron diferencias significativas al 5 %, sin embargo, el mayor valor (2.23) se obtuvo al realizar el control de *Botrytis* sp. con el uso de *Trichoderma* spp. y el valor mínimo con los metabolitos Bacterianos (1.31). Ayala, Valenzuela y Bohórquez (2013) registraron ligeros cambios en el pH pero con un rango promedio de valores entre 2.64 y 2.88; estas variaciones en el pH están relacionadas con el grado de madurez del fruto. El incremento o disminución del pH en los frutos está directamente relacionado con las condiciones climáticas, ya que a mayor temperatura en los primeros días del manejo poscosecha puede existir variación en la composición química del fruto (Iza, Rojas y Arguello, 2016).

4. Conclusiones y recomendaciones

Al inicio del experimento los efectos para controlar *Botrytis* sp. no fueron tan significativos como al finalizar el estudio ya que durante los meses del período seco (junio-agosto) no existieron las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo del hongo. Sin embargo, en los meses en que inicio las lluvias (septiembre y noviembre), los productos con mejores resultados para controlar la enfermedad fueron *Trichoderma* spp., extracto de mirtáceas y Carbendazim.

Los diferentes tratamientos aplicados en el estudio no afectaron a la calidad física y química de los frutos de mora de castilla.

Es recomendable, repetir el estudio en el período lluvioso (óptimo para el desarrollo del patógeno) para confirmar los resultados de esta investigación.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a AgReserach por la asistencia técnica y al Gobierno de Nueva Zelanda (MFAT New Zealand) por el financiamiento brindado. Este artículo forma parte del II Simposio Internacional de Producción Integrada de Frutas 2019.

6. Bibliografía

- Alencastro, L. (2011). *Alternativas ecológicas para el control del moho gris (Botrytis cinerea) en mora de castilla (Rubus glaucus Benth)*. Salgolqui: Escuela Politécnica del Ejército. Recuperado el 12 de septiembre de 2018, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/4593/T-ESPE-IASA%20I-004570.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ayala, L., Valenzuela, C., y Bohórquez, Y. (2013). *Variables determinantes de la madurez comercial en la mora de castilla (Rubus glaucus Benth)*. Tolima: Scientia Agrolimentaria. Recuperado el 19 de Octubre de 2018, de <http://revistas.ut.edu.co/index.php/scientiaagro/article/view/29>
- Brito, B., Montalvo, D., Freire, V., Vásquez, W., Viteri, P., Martínez, A. y Jácome, R. (2016). Calidad en la cosecha, poscosecha y comercialización. En D. Galarza, S. Garcés, J. Velásquez, V. Sánchez, y J. Zambrano, *El cultivo de la mora en el Ecuador*, 137-163. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Capelo, G. y Roche, J. (2008). *Evaluación de 10 fungicidas en el control de Botrytis cinerea Pers.: Fr. en el cultivo de Fresa (Fragaria virginiana Var. Diamante) a nivel de laboratorio*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca. Recuperado el 25 de Agosto de 2018, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3035/1/tag281.pdf>
- Cardona, E., García, E., Barrera, E., Quejada, O., Rodríguez, H., y Arroyave, I. (2014). *Manual Técnico del Cultivo de Mora Bajo Buenas Prácticas Agrícolas*. Medellín: Gobernación de Antioquia. Recuperado el 18 de julio de 2018, de <https://conectarural.org/sitio/material/manual-te%CC%81cnico-del-cultivo-de-mora-bajo-buenas-pra%CC%81cticas-agri%CC%81colas>
- DANE. (2013). *El cultivo de la mora de Castilla (Rubus glaucus Benth) frutal de clima frío moderado, con propiedades curativas para la salud humana*. Bogotá: SIPSA. Recuperado el 15 de abril de 2018, de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_nov_2013.pdf
- Deaquiz, Y., y Brigitte, M. (2015). Parámetros Poscosecha en dos Materiales de Mora (Rubus Glaucus Benth Y Rubus Alpinus Macfad). *Revista Cultura Científica*, 16-25. Recuperado el 21 de octubre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/304999743_Parametros_Poscosecha_en_dos_Materiales_de_Mora_Rubus_Glaucus_Benth_Y_Rubus_Alpinus_Macfad
- Delgado, F. (2012). *Manejo orgánico del cultivo de mora (Rubus sp.)*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Grijalba, C., Calderón, L., y Pérez, M. (2010). Rendimiento y calidad de la fruta en mora de castilla (Rubus glaucus Benth), con y sin espinas, cultivada en campo abierto en Cajicá (Cundinamarca, Colombia). *Facultad de Ciencias Básicas*, 25-41. Recuperado el 17 de junio de 2018, de https://www.researchgate.net/profile/Maria_Perez-Trujillo/publication/277264501_Rendimiento_y_calidad_de_la_fruta_en_mora_de_castilla_rubus_glaucus_benth_con_y_sin_espinas_cultivada_en_campo_abierto_en_Cajica_Cundinamarca_Colombia/links/55c8926408aeca747d
- Guevara, J. (2016). *Evaluación del efecto antifúngico de quitosano para el control de podredumbres en mora de castilla (Rubus glaucus) durante el período de poscosecha*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 27 de Julio de 2018, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16516>
- Hincapié, O., Saldarriaga, A., y Díaz, C. (2016). Biological, botanical and chemical alternatives for the control of blackberry (Rubus glaucus Benth) diseases. *Revista Facultad Nacional de Agrono-*

- mía*, 70 (2): 8169-8176. Recuperado el 13 de Abril de 2018, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472017000208169
- Iza, F., Rojas, X., y Arguello, Y. (2016). *Línea base de la calidad de la mora de castilla (Rubus glaucus) en su cadena alimentaria. Enfoque UTE*. doi: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.107>
- Jiménez, E. (2009). *Métodos de control de plagas*. Managua: Universidad Nacional Agraria.
- MAGAP. (2012). *Reporte de Resultados del Censo Provincial Completo en excel (Todas las provincias)*. Recuperado el 03 de octubre de 2017, de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/resultados-provinciales>
<http://sinagap.agricultura.gob.ec/resultados-provinciales>
- Marco Brown, L., y Reyes Gil, E. (2003). Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura. *Interciencia*, 28 (5): 252-258. Recuperado el 01 de abril de 2018, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442003000500002&script=sci_abstract
- Martínez, A., Villacís, L., Viera, W., Jacome, R., Espín, M., León, O. y Santana, R. (2019). Evaluación de nuevas tecnologías de producción limpia de la mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth), en la zona Andina de Ecuador, para un buen vivir de los fruticultores. *Journal of the Selva Andina Biosphere* (7): 63-70. Recuperado el 30 de septiembre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/334083974_Evaluacion_de_nuevas_tecnologias_de_produccion_limpia_de_la_mora_de_castilla_Rubus_glaucus_Benth_en_la_zona_Andina_de_Ecuador_para_un_buen_vivir_de_los_fruticultores
- Martínez, B., Infante, D. y Reyes, Y. (2013). *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista de Protección Vegetal*, 28 (1), 1-11. Recuperado el 25 de septiembre de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522013000100001&lng=es&tlng=es
- Martínez, L., Bello, P. y Castellanos, O. (2012). *Sostenibilidad y desarrollo: el valor agregado de la agricultura orgánica*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 10 de Junio de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/306091337_Sostenibilidad_y_Desarrollo_el_valor_agregado_de_la_agricultura_organica
- Merchán, J., Ferrucho, R., y Álvarez, J. (2014). Efecto de dos cepas de *Trichoderma* en el control de *Botrytis cinerea* y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria* sp.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8 (1): 44-56.
- Naher, L., Yusuf, U., Ismail, A. y Hossain, K. (2014). TRICHODERMA SPP.: A BIOCONTROL AGENT FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT OF PLANT DISEASES. *Pakistani Journal of Botany*, 46 (4): 1489-1493. Recuperado el 16 de marzo de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/281736621_Trichoderma_spp_A_biocontrol_agent_for_sustainable_management_of_plant_diseases
- Quinatoa, N. (2015). *Evaluación del control de botrytis (Botrytis cinerea) en el cultivo de mora (Rubus glaucus Benth) mediante el uso de Trichoderma y EMAS en la comunidad de Misquillí de la parroquia Santa Rosa, provincia de Tungurahua*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Rabón, W. (2001). *Desarrollo de un manejo integrado de Botrytis cinerea en lechuga lisa (Lactuca sativa) bajo condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional.
- Ramón, V., y Rodas, F. (2007). *El control orgánico de plagas y enfermedades de los cultivos y la fertilización natural del suelo*. Lima: GROEM HART. Recuperado el 23 de junio de 2018, de http://caminosostenible.org/wp-content/uploads/BIBLIOTECA/guia_contol_organico_plagas.pdf
- Restrepo, J., Peñaranda, E., Jimenez, A., Galindo, J., Rivero, M., Jimenez, Y., y Guerrero, M. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de hortalizas*. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario. Recuperado el 10 de abril de 2018, de <https://www.ica.gov.co/getattachment/bb883b42-80da-4ae5-851f-4db05edf581b/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-hortalizas.aspx>
- Rodríguez, I. (2018). *Aplicación de nutrientes foliares en los estados fenológicos del cultivo de mora (Rubus glaucus Benth) en la granja experimental Pillaro*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Recuperado el 19 de Mayo de 2018, de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27128>
- Sánchez, J., Villares, M., Niño, Z. y Ruilova, M. (2018). Effect of the altitudinal floor on the quality of mora (*Rubus glaucus* benth) in the interand region of Ecuador. *Idesia (Arica)*, 209-215. Recuperado el

- 17 de Octubre de 2018, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-34292018000200209&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- SINAGAP. (04 de Enero de 2016). *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*. Recuperado el 28 de Mayo de 2018, de Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/resultados-censo-nacional/file/591-reporte-de-resultados-censo-nacional-completo>
- Tello, C., Oña, C., Jarrín, M. y Viera, W. (2018). *Eficacia de fungicidas para el manejo de marchitez en mora de Castilla*. Quito: INIAP. Recuperado el 30 de Septiembre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/327252067_Eficacia_de_fungicidas_para_el_manejo_de_marchitez_en_mora_de_Castilla
- Van Driesche, R., Hoddle, M. y Center, T. (2007). *Control de plagas y malezas por enemigos naturales*. Washington DC, EE. UU.: USDA. Recuperado el 18 de Abril de 2018, de https://www.fs.fed.us/foresthealth/technology/pdfs/VANDRIESCHE_CONTROL_Y_PLAGAS_WEB.pdf
- Vásquez, W., Pupiales, P., Viteri, P., Sotomayor, A., Feican, C., Campaña, D. y Viera, W. (2019). Escarificación química y aplicación de ácido giberélico para la germinación de semillas cultivares de mora (*Rubus glaucus* BENTH). *Interciencia* (44): 159-164. Recuperado el 30 de Septiembre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/332448206_ESCARIFICACION_QUIMICA_Y_APLICACION_DE_ACIDO_GIBERELICO_PARA_LA_GERMINACION_DE_SEMILLAS_DE_CULTIVARES_DE_MORA_Rubus_glaucus_BENTH
- Villares, M., Martínez, A., Viterí, P., Viera, W., Jácome, R., Ayala, G. y Noboa, M. (2016). Manejo de plagas identificadas en el cultivo de la mora de castilla. En D. Galarza, S. Gárces, J. Velásquez, V. Sánchez y J. Zambrano, *El cultivo de la mora en el Ecuador* (p. 117-134). Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Viteri, P., Vásquez, W., Martínez, A. V., Sotomayor, A., Mejía, P. y Brito, B. (2016). Características generales de la planta, variedades cultivadas y clones promisorios de mora. En D. Galarza, S. Gárces, J. Velásquez, V. Sánchez J. Zambrano, *El cultivo de mora en el Ecuador* (p. 39-54). Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

Evaluación de la eficiencia de tres equipos de extracción de aceite con diferentes genotipos de palma aceitera (*Elaeis* sp.)

(Evaluation of the efficiency of three oil extraction equipments with different oil palm genotypes (*Elaeis* sp.))

Mercedes Navarrete Parraga,¹ Silvia Zambrano Marcellio,¹ Walter Zambrano Sabando,¹ Martha Romero Pizarro,¹ Marcelo Racines Jaramillo,¹ Ernesto Paredes Puga,² Leonardo Quintero Román,³ Digner Ortega Cedillo¹

Resumen

Este trabajo se realizó en el Laboratorio de extracción de aceite del Programa de Palma Africana de la Estación Experimental "Santo Domingo" del INIAP, el objetivo fue determinar la eficiencia de tres equipos de extracción de aceite, en tres genotipos de palma aceitera. Los equipos utilizados fueron: extractor de solvente Velp, extractor Soxhlet y la prensa hidráulica de 1500 psi. Los genotipos evaluados forman parte del Banco de Germoplasma del Programa de Palma: palma africana (*Elaeis guineensis*), palma americana (*Elaeis oleifera*) y el híbrido interespecífico (*E. oleifera* x *E. guineensis*). El diseño experimental utilizado fue un diseño completo al azar (DCA), con 20 observaciones, asistido por las pruebas de significancia de t de student y Tukey al 5 %, para determinar diferencias entre medias de tratamientos. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre los diferentes factores evaluados. El mayor porcentaje de aceite por racimo se obtuvo con el genotipo *E. guineensis* en el extractor Soxhlet (18,43 %) y el menor porcentaje para *E. oleifera* con la prensa hidráulica (0,34%). Realizado el análisis de costos de los tratamientos, se determinó que el menor costo se obtuvo con la prensa hidráulica con 8.20 dólares por muestra de extracción de aceite.

Palabras clave

Grasa, material, mesocarpio, métodos, solvente

Abstract

This work was performed in the oil extraction laboratory of the African Palm Program, of the Experimental Station "Santo Domingo" of the INIAP. The main objective was to determine the efficiency of three oil extraction equipments, in three oil palm genotypes. The equipments used were Velp solvent extractor, Soxhlet extractor and a 1500 psi hydraulic press. The genotypes evaluated are part of the germplasm bank of the Palm Program at INIAP: *Elaeis guineensis* (african palm), *Elaeis oleifera* (american palm) and *E. oleifera* x *E. guineensis* (interspecific hybrid). The experimental design was a complete random design (DCA), with 20 observations, followed by student's test and Tukey test at a 5 significance, to determine differences between treatment means. The results showed highly significant differences between the different factors evaluated. The higher percentage of oil per bunch was obtained with the genotype *E. guineensis* in the Soxhlet extractor (18.43 %) and the lowest percentage for *E. oleifera* with the hydraulic press (0.34 %). The analysis of costs determined that the lowest cost was obtained with the hydraulic press with USD 8,20 per sample.

Keywords

Grease, Material, Mesocarp, Methods, Solvent.

1 Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, La Concordia-Ecuador (mercedes.navarrete, silvia.zambrano, walter.zambrano, alicia.romero, marcelo.racines, digner.ortega@iniap.gob.ec)
2 Ernesto Paredes, San Juan-Ecuador (paredespuga12@gmail.com)
3 Leonardo Quintero, Santo Domingo-Ecuador (lquintero.roman@gmail.com)

1. Introducción

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) es una planta tropical, propia de climas cálidos, en Ecuador tiene una trayectoria productiva por más de 60 años. El cultivo actualmente representa el 5 % de la superficie total destinada a la producción agropecuaria del país, siendo el segundo cultivo en extensión después del arroz. Existen 257 120.93 ha sembradas en 8 149 plantaciones, siendo la provincia de Esmeraldas la de mayor superficie sembrada con 116 430.48 ha, seguida por Los Ríos con 39 146.08 ha, otras 101 387.92 ha y Santa Elena la menor superficie con 156.45 ha (Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera, 2017).

Los frutos son carnosos y forman un racimo, en estado maduro son cosechados y llevados a las plantas extractoras de aceite, donde después de varios procesos físicos y químicos, se extrae el aceite rojo, que es utilizado en la industria alimenticia humana y animal, también es utilizado como biocombustible y algunos de los subproductos y/o residuos resultantes en el proceso de extracción sirven como abono para las plantas (Calvache, 2013).

El Programa de Palma Africana de la Estación Experimental Santo Domingo, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) desde su creación de manera continua desarrolla investigaciones para obtener nuevos materiales de palma de aceite, con características deseables, tales como: alto rendimiento de fruta fresca y de aceite, tolerancia o resistencia a plagas (insectos y enfermedades), lento crecimiento, entre otras.

Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar a nivel de laboratorio la eficiencia de tres equipos de extracción de aceite con diferentes genotipos de palma aceitera, en el cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo de Los Tsáchilas.

2. Metodología

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Extracción de Aceite del Programa de Palma Africana de la Estación Experimental Santo Domingo del INIAP, ubicada en el km 38 de la vía Santo Domingo, -Quinindé, localizado geográficamente en las coordenadas 79° 22' de longitud oeste y 00° 01' de latitud norte, a 300 msnm.

Se utilizaron genotipos de edades comprendidas entre 8 a 20 años, del Banco de Germoplasma del Programa de Palma Africana de la EESD, como: *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleífera* y *Elaeis oleífera x Elaeis guineensis*, Los equipos de extracción utilizados en este estudio fueron: Extractor de solvente Velp, Extractor de Soxhlet y Prensa hidráulica a 1500 psi.

Los tratamientos obtenidos de un factorial 3x3, fueron analizados a través de un diseño completo al azar, con la asistencia de la prueba de Tukey al 5 % para determinar diferencia entre medias de tratamientos. Además, se utilizó la prueba de t student para determinar diferencia entre las medias de los equipos de extracción de aceite y de los genotipos de palma evaluados.

Se realizó un análisis de costos de extracción utilizando el método ABC (costeo basado en actividades), aplicado a ensayos de laboratorio.

Manejo del experimento

Análisis físico de los racimos (Prada y Romero, 2012).

Previo a la obtención del porcentaje de aceite en cada uno de los materiales se realizó el análisis físico de racimos que consistió en los siguientes pasos: se pesó el racimo que viene del campo, se despició y se contaron todas las espigas, se pesó el raquis y pesaron dos muestras, una de 2 kg y otra de 5 kg.

Muestra de 2 kilogramos, procedimiento

- a. De esta muestra se pesó 250 gramos de frutos fértiles y se contó el número de frutos.
- b. Se procedió a despulpar los frutos, obteniendo mesocarpio y nuez fresca.
- c. Se registró el peso del mesocarpio y la nuez fresca de cada muestra.
- d. El mesocarpio paso a una estufa por 24 horas y la nuez por cuatro horas, las muestras a una temperatura de 105 °C.
- e. Transcurrida las 4 horas en la estufa, se pesó la nuez para obtener el peso seco.
- f. Se procedió a partir la nuez para obtener la almendra y el cuesco.
- g. Se pesaron y se contaron las almendras, ya que muchas semillas pueden tener doble almendra o carecer de esta.
- h. Con un calibrador (pie de rey) se midió el grosor del cuesco.
- i. Después que el mesocarpio pasó las 24 horas en la estufa, se procedió a pesar y así obtener el peso seco del mesocarpio. Este mesocarpio seco se molió para realizar el análisis en el extractor Velp y Soxhlet.

Muestra de 5 kilogramos, procedimiento:

- a. Esta muestra se dejó por cinco días para desprender los frutos de las espigas.
- b. Transcurrido los cinco días se procedió a clasificar los frutos como: fértiles, partenocárpicos, abortados, blancos.
- c. Se contaron y se pesaron los frutos fértiles, partenocárpicos, blancos y abortados.
- d. Los frutos fértiles fueron utilizados para realizar el análisis en la prensa hidráulica.

Procedimiento para la obtención del porcentaje de extracción de aceite

Equipo de extractor de solvente Velp (Metodología desarrollada en el Programa de Palma Africana, EESD).

En una balanza se pesó 5 gramos de mesocarpio seco y molido, se colocó en papel filtro y todo en un dedal, esta muestra va dentro del vaso con el disolvente (Éter de petróleo). Este disolvente comenzó a calentar y a hervir a 120 °C, hasta que se complete la extracción del aceite de la muestra; siendo 90 minutos de inmersión, 10 minutos de lavado y 40 minutos de recuperación del disolvente a 170°C.

Equipo extractor Soxhlet (Prada y Romero, 2012).

En una balanza se pesó 5 gramos de mesocarpio seco y molido, y se colocó en un dedal de papel filtro que se sitúa en la cámara del extractor soxhlet (camisa). Se calentó el disolvente éter de petróleo en una manta calentadora, contenido en el balón de 500 ml.

El disolvente químico, durante la extracción de aceite sigue un circuito cerrado pasando del balón a la cámara de condensación en forma de vapor y de la cámara de condensación pasa al recipiente de extracción condensada en forma de gotas. Del recipiente de extracción, el disolvente regresa al balón por el sistema de vasos comunicantes. Este proceso se repite hasta que se complete la extracción de aceite de la muestra; es decir hasta que el disolvente presente su coloración inicial (transparente).

En estos dos equipos, después de realizada la extracción se procedió a apagar la plancha y se la dejó enfriar. Se desmontó el sistema, el solvente se recuperó y se almacenó para ser utilizado nuevamente, los dedos humedecidos con solvente, se colocaron en una estufa a 105°C, para retirar la totalidad del solvente, luego fueron retirados de la estufa y se dejaron enfriar en un desecador para posteriormente pesar, el aceite se cuantificó por diferencia.

Para obtener el porcentaje de extracción de aceite en los dos procedimientos antes descritos se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% AC/R = \frac{\% \text{ de fruto por racimo } \times \% \text{ pulpa por fruto } \times \% \text{ aceite pulpa fresca}}{10.000}$$

Prensa hidráulica (Metodología desarrollada en el Programa de Palma Africana, EESD).

En una balanza se pesó 1 kg de fruto fértil de palma aceitera, los mismos que fueron autoclavados por 55 minutos a 110°C, con el objeto que los frutos se cocinen. Posteriormente los frutos se colocaron en la prensa hidráulica, se hace presión y se obtuvo el aceite, finalmente se realizó el decantado de la muestra obtenida de la prensa, esta muestra se pesó y se obtuvo el porcentaje de aceite por racimo.

El porcentaje de extracción de aceite por racimo se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Ac}{Ma} \times 100$$

Dónde:

N = Rendimiento (%)

Ac = Cantidad de aceite crudo extraído (g)

Ma = Cantidad de materia prima utilizada (g)

Análisis de costos de procesamiento de los equipos en estudio

Se realizó un análisis comparativo de costos mediante el método de costeo basado en actividades (ABC) (Adame, 2000). Se consideró el tiempo de procesamiento de extracción por cada equipo, el

costo del uso de los equipos (precio del equipo, depreciación, mantenimiento); los costos directos (materia prima, mano de obra, etc.), y los costos indirectos (vestuario, energía, material de aseo).

3. Resultados y discusión

Los resultados observados en tabla 1, muestran los valores del análisis de varianza del porcentaje de aceite por racimo extraído. El cuadrado medio de equipos fue de 54.00 y la F calculada de 175,66. El cuadrado medio para genotipo fue de 32.40 y una F calculada de 105.40. Existiendo diferencias altamente significativas entre tratamientos. Con un coeficiente de variación de 18.81.

Tabla 1. Análisis de Varianza* porcentaje de aceite por racimo. EESD, 2018

Fuente de Variación	Gl	SC	CM	FC	p-Valor
Equipos	2	108.00	54.00	175.66	**
Genotipos	2	64.81	32.40	105.40	**
Error	175	53.80	0.31		
Total	179	226.61			
CV. 18.81			R ² . 0.76		

*Datos originales transformado a $\sqrt{x+1}$

En la tabla 2 se observan las medias, comparadas a través de la prueba de t entre equipos y genotipos utilizados, donde el equipo 2 (Soxhlet) con el material *E. guineensis* fue el de mayor porcentaje de aceite extraído por racimo (18.43 %), este mismo genotipo *guineensis* es el que obtuvo mayor porcentaje de aceite en cada uno de los equipos en estudio. El genotipo oleífera fue el de menor porcentaje de extracción, con todos los equipos evaluados, estos resultados concuerda con Alvarado (2010), donde manifiesta que esta especie es inferior a *E. guineensis* en relación a su capacidad de producción de aceite.

El resultado de extracción de aceite obtenido del genotipo *E. oleífera* x *E. guineensis*, utilizando el extractor soxhlet (equipo) fue de 13.84 % de aceite por racimo (tabla 2), lo que concuerda con Alvarado (2010), que menciona que este material tiene un contenido de aceite en el racimo mayor al 12 %.

Tabla 2. Medias entre equipos de extracción de aceite y genotipos de palma. EESD, 2018

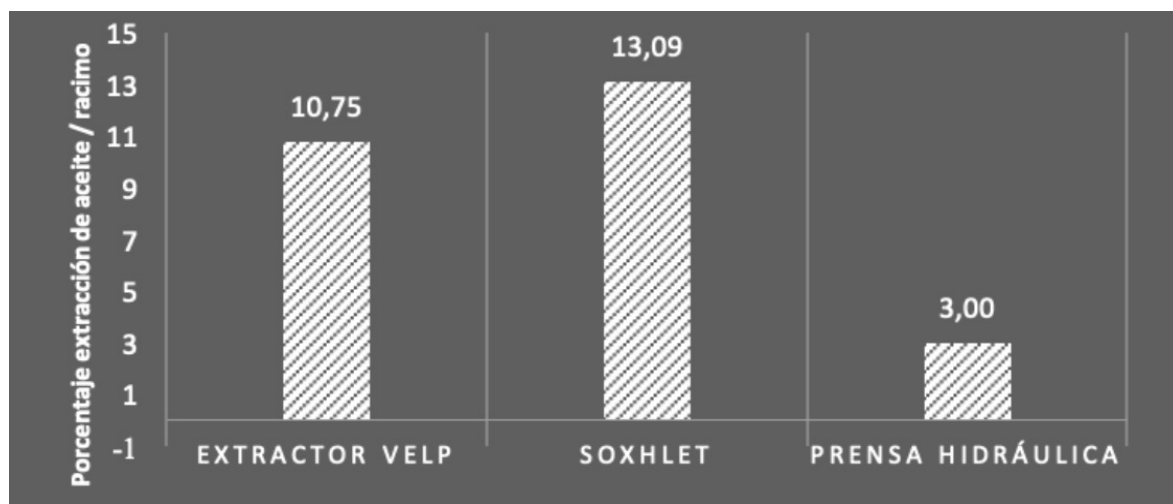
Equipos	Genotipo*	Variable	n	Media
1 (Extractor de solvente Velp)	1	% de aceite por racimo	20	15.58
	2	% de aceite por racimo	20	6.03
	3	% de aceite por racimo	20	10.64
2. (Soxhlet)	1	% de aceite por racimo	20	18.43
	2	% de aceite por racimo	20	7.00
	3	% de aceite por racimo	20	13.84
3. (Prensa hidráulica)	1	% de aceite por racimo	20	6.18
	2	% de aceite por racimo	20	0.34
	3	% de aceite por racimo	20	2.49

Al comparar los equipos de extracción de aceite se encontró que el equipo Soxhlet obtuvo la mayor cantidad de aceite extraído con 13.09 % de aceite por racimos, como se observa en la figura 1, resultados que concuerdan con Arancibia y Calero (2011) quienes obtuvieron mayor eficiencia en la extracción de aceite con el uso de solvente.

La prensa hidráulica fue la que extrajo menor cantidad de aceite por racimo (3.00 %), estos resultados difieren de los obtenidos por Nolasco (2015), donde la extracción mecánica tuvo una mayor producción de aceite, al evaluar cuatro métodos de extracción de aceite en semilla de piñón.

Al analizar los resultados a través del análisis de varianza se encontraron tres rangos de significación, por lo tanto, existieron diferencias significativas entre los equipos de extracción de aceite (figura 1).

Figura 1. Medias de extracción de aceite según los equipos estudiados. EESD, 2018



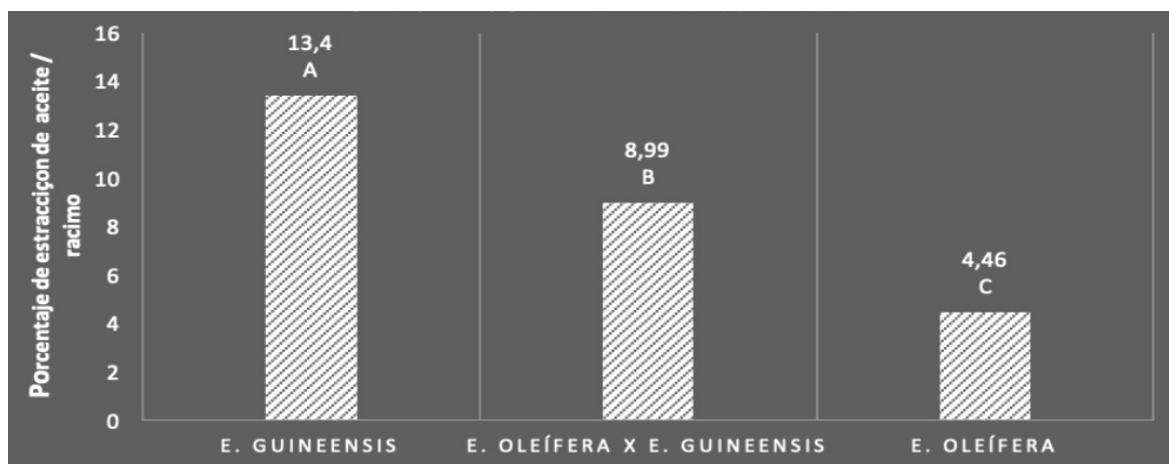
En la figura 2, se observan tres rangos de significación, existiendo diferencias en la extracción de aceite entre los tres genotipos de palma aceitera evaluados. El genotipo *E. guineensis* fue el que obtuvo la mayor cantidad de aceite extraído con 13.40 % de aceite/racimo, utilizando Guineensis Dura y Tenera, lo que concuerda con Trávez (2015), que en su estudio comparó el híbrido OXG con *E. guineensis*, obteniendo el más alto porcentaje de extracción en *E. guineensis* (Tenera) con 22.28 %/racimo.

El porcentaje de aceite por racimo en *E. oleífera* fue de 4.46 % y OXG fue 8.99 %, lo que concuerda con Vieira *et al.* (2012), que en sus estudios realizados obtuvieron resultados en *E. oleífera* de 1.7 % a 4.4 % y en el híbrido interespecífico de 3.4 % a 17 %.

En estudios realizados en palma *E. oleífera* nativa de la Amazonía ecuatoriana por Paredes (2015), manifiesta que el porcentaje de extracción de aceite por racimo de esta especie fue de 3.90 %, lo que concuerda con los resultados de esta investigación.

Los costos por muestras de cada uno de los equipos de extracción se muestran en la tabla 3, donde el menor costo se obtuvo con la prensa hidráulica con 8.20 dólares, y el mayor costo con la utilización del extractor Velp con 12.86 dólares. Resultados que concuerda con Rodríguez, Alcaraz y Real (2012) y (Mercer y Armenta 2011), quienes manifiestan que los extractores de solventes se utilizan a escala de laboratorio, a nivel industrial resultan costoso por el valor comercial de los solventes, además se obtienen esencias impurificadas con otras sustancias. En la actualidad se requiere que los procesos de extracción sean limpios y amigables con el ambiente.

Figura 2. Medias de extracción de aceite según los genotipos de palma aceitera estudiados. EESD, 2018



Al respecto, Méndez (2012) menciona que las prensas hidráulicas son mejores por el costo mínimo, su flexibilidad y no pasa mucho tiempo en los ajustes del equipo automatizado, además, son bastantes sencillas en su diseño, con pocas partes en movimiento y están siempre lubricadas con un fluido de aceite bajo presión.

Tabla 3. Costos / muestra (USD) de extracción en cada uno de los equipos estudiados. EESD, 2018.

Costos y Gastos	Extractor Velp	Extractor Soxhlet	Prensa hidráulica
Subtotal Infraestructura, equipos, materiales larga duración	1.69	1.56	1.30
Subtotal costos directos	10.65	9.92	6.69
Subtotal costos indirectos	0.52	0.54	0.21
Costos / Muestras (USD)	12.86	12.02	8.20

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

Los métodos de extracción de aceite utilizando solventes químicos extraen mayor porcentaje de aceite de fruta fresca de palma, sin embargo estos son útiles únicamente a nivel de laboratorio y no a nivel agroindustrial.

4.2. Recomendaciones

- A nivel de laboratorio se recomienda el uso del equipo Soxhlet, por extraer la mayor cantidad de aceite en los tres genotipos utilizados.
- Establecer el punto de madurez óptimo en los genotipos Oleífera x Guineensis y Oleíferas, con la finalidad de obtener la mayor concentración de aceite/racimo.

- Realizar nuevos estudios clasificando los genotipos Guineensis y Oleíferas de acuerdo a su origen.

Agradecimiento

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), por el apoyo brindado en la realización de la presente investigación. Este artículo forma parte del II Simposio Internacional Producción Integrada de Frutas 2019.

Bibliografía

- Adame, R. (2000). *Costeo basado en actividades (ABC), conceptos, teoría y metodología de implementación*. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México.
- Alvarado, A. (2010). Avances en el mejoramiento genético de la palma de aceite en Centroamérica. *Revista Palmas*, 31(especial): 126-143.
- Arancibia, Y. y Calero, T. (2011). *Obtención de Biodiesel a Partir del Aceite de Semillas Oleaginosas de la Provincia de Chimborazo* (Bachelor's thesis). (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera (ANCUPA). (2017). Censo Nacional Palmero 2017. Memoria Técnica. Inventario de Plantaciones de Palma Aceitera en el Ecuador. Quito, Ecuador. 54 p.
- Calvache, M. (2013). *La competitividad del aceite de palma africana ecuatoriano en el mercado internacional, período 2006-2010*. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Méndez, L. (2012). *Diseño e implementación de una prensa hidráulica para la extracción de aceites fijos, en el laboratorio de investigaciones de extractos vegetales (LIXVE) del centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Mercer, P., y Armenta, R. (2011). Developments in oil extraction from microalgae. *European journal of lipid science and technology*, 113 (5): 539-547.
- Nolasco, E. (2015). *Evaluación de cuatro métodos de extracción de aceite de la semilla de piñón (Jatropha curcas) var. Cabo Verde y cuantificación de sus ésteres de forbol*. (Tesis de Grado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Paredes, E. (2015). *Estudio de la variedad genética de cinco accesiones de palma Americana (Elaeis oleífera HBK) nativa de la amazonia ecuatoriana*. (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Prada, F. y Romero, H. (2012). *Muestreo y análisis de racimos en el cultivo de la palma de aceite*. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: guía para facilitadores. Centro Nacional de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) Bogotá, DC.: Colombia.
- Rodríguez, M., Alcaraz L. y Real, S. (2012). *Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas*. La Paz, Baja California Sur, México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C..
- Trávez, V. (2015). *Adaptabilidad de híbridos Inter-específicos (Oleífera x Guineensis) de palma aceitera en la zona de Santo Domingo quinto año*. (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Vieira, R., Lopes, R., Carvalho, R., Alves, W., Texeira, P., Barcelos, E., Lobato, M. y De Almeida, S. (2012). Domestication and breeding of the American oil palm. En *Domestication and breeding: Amazon species*. Capítulo 14. *Suprema, Viçosa*, Brasil. 275-296.

Revisión del estado del arte de sistemas DX-SAHP para la obtención de agua caliente sanitaria

(Review of the state of art of DX-SAHP systems to obtain domestic hot water)

William Quitiaquez,¹ Isaac Simbaña,¹ C. A. Isaza-Roldán,² Patricio Quitiaquez,¹ César Nieto-Londoño,² Fernando Toapanta-Ramos¹

Resumen

El objetivo del presente artículo es revisar de forma detallada las distintas investigaciones realizadas con sistemas de bombas de calor de expansión directa asistidas por energía solar (DX-SAHP) utilizadas para el calentamiento de agua en los últimos años. El creciente consumo energético, el uso de refrigerantes que debilitan la capa de ozono, la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera y los efectos en el calentamiento global, son los principales problemas que presentan los sistemas convencionales de calentamiento de agua. El uso de hidrocarburos como refrigerantes representa una reducción en la contaminación, además de ser una de las mejores opciones para reemplazar a los clorofluorocarbonos e hidroclorofluorocarbonos por sus valores de potencial de calentamiento global y potencial de destrucción de la capa de ozono cercanos a 0. Un sistema DX-SAHP aprovecha la energía solar térmica directamente, empleando un colector solar de placa plana sin cubierta. Esos sistemas proporcionan agua caliente sanitaria a más de 50 °C, calentando volúmenes de agua de hasta 200 litros, alcanzando valores de COP superiores a 4. La energía solar y el uso de refrigerantes alternativos de bajo impacto ambiental son propuestos para alcanzar este propósito.

Palabras clave

Bombas de calor; refrigerantes alternativos; energía solar; DX-SAHP; colector solar.

Abstract

The investigation purpose is to elaborate a detailed review about previous published investigations with direct-expansion solar-assisted heat pumps (DX-SAHP) used for water heating, in the last years. The growing energy consumption, the using of refrigerants that weaken the ozone layer, the greenhouse gases emission to the atmosphere and the global warming effect are the main problems that the conventional water heating systems present. Using hydrocarbons as refrigerants represents a pollution reduction and it is also the best option to replace hydrochlorofluorocarbons and chlorofluorocarbons, due to their low values of global warming potential and ozone depletion potential, close to 0. A DX-SAHP system takes advantage of the thermal solar energy directly by using a bare flat-plate solar collector. These systems provide domestic hot water over 50 °C and heating water volumes until 200 liters reaching COP values higher than 4. Solar energy and the using of alternative refrigerants with a low environmental impact are proposed to reach this purpose.

Keywords

Heat pumps; alternative refrigerants; solar energy; DX-SAHP; solar collector.

1. Introducción

Kannan y Vakeesan (2016) afirman que, en los últimos años, el consumo de energía primaria en el mundo ha aumentado debido a la explosión demográfica y a los avances tecnológicos. El acceso de la sociedad a la energía en el período comprendido entre los años 2005 y 2014 ha crecido a una tasa aproximada del 24 %, 19 % y 7 % en los sectores industrial, transporte y residencial, respectivamente. El consumo de electricidad también se ha incrementado a una tasa

1 Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador ({wquitiaquez, asimbana, rquitiaquez, ltoapanta}@ups.edu.ec).

2 Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín-Colombia ({cesar.isaza, cesar.nieto}@upb.edu.co).

aproximada del 35 %, 21 % y 27 % en los sectores antes mencionados (International Energy Agency, 2019; Zhou y Feng, 2016).

Para el Ministerio del Ambiente de Ecuador (2019), el Protocolo de Kioto promovió la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en 37 países industrializados y la Unión Europea. Gallo, Faccilongo y La Sala (2017) mencionan que el objetivo es reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), así como tres gases industriales fluorados, hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). La reducción está estimada en un 5 % anual, a partir de su declaración en 1990 (Miyamoto y Takeuchi, 2019). Esta información se la obtuvo de los 185 países participantes, así como de la Unión Europea en el período de 1990 hasta 2012 (Maamoun, 2019). Según la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo de Ecuador (2013), el Protocolo de Montreal fue aprobado en septiembre de 1987, con el fin de controlar, limitar y regular, tanto el consumo como la producción de clorofluorocarbonos (CFCs), hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) y halones, sustancias que agotan la capa de ozono, y así tratar de evitar daños a la salud y al medio ambiente. En estudios presentados por investigadores como Gorozabel, Chaturvedi y Almogbel (2005); Cerit y Erbay (2013); Chow et al. (2010), se utilizan refrigerantes HFC, el R134a, R410A y R407C, puesto que no destruyen la capa de ozono. En la actualidad, se presentan nuevas alternativas en refrigerantes, los hidrocarburos (HC) junto con las hidrofluoroolefinas (HFO) que son refrigerantes de cuarta generación y que, en ciertos casos, presentan cero agotamiento de la capa de ozono. El Acuerdo de París, instaurado en 2015, también pretende mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C (Bauer y Menrad, 2019). El grupo objetivo es el sector industrial, donde inicialmente se planteó que la emisión de gases de efecto invernadero no produzca un incremento mayor a 1.5 °C. Según Vargas et al. (2019), la implementación de sistemas asistidos por energía solar minimizan las emisiones de CO₂ a la atmósfera ya que utilizan una fuente de energía amigable con el medio ambiente.

Las bombas de calor asistidas por energía solar (SAHP, por sus siglas en inglés) son sistemas que trabajan utilizando el ciclo termodinámico de refrigeración por compresión de vapor. Autores, como Buker y Riffat (2016), las definen como un tipo de bombas de calor en las que se integra un colector solar térmico que capta la radiación solar y que utiliza un refrigerante como fluido de trabajo. Los estudios están direccionados hacia la mejora de la eficiencia energética y como una opción para brindar un desarrollo sustentable, utilizando fuentes renovables de energía en lugar de combustibles fósiles (Shi, Aye, Li y Du, 2019). La primera propuesta para implementar un colector solar a estos sistemas data de 1976 por parte de Charters y Taylor (1976). Como datos preliminares, un calentador de agua eléctrico puede incurrir en un consumo diario de 5.5 kW (Homecenter, 2019), un calentador de agua a gas puede presentar un consumo de 6.27 kW·h/día (Haceb, 2019), mientras que un calentador de agua con bomba de calor tiene un consumo apenas de 1.3 kW·h/día (Junkers, 2019).

El objetivo de la investigación es realizar una revisión actual de las investigaciones sobre los sistemas de bomba de calor asistidos por energía solar (SAHP). Además, se presenta la información de la literatura relacionada a los recientes avances de rendimiento en sistemas de bombas de calor de expansión directa asistidas por energía solar (DX-SAHP, por sus siglas en inglés). Se ha considerado parámetros como el coeficiente de operación del sistema (COP), impactos ambientales producidos por el uso de refrigerantes dañinos con el ambiente, geometría y área de los colectores solares, materiales utilizados, temperatura del agua y eficiencia del colector. Este documento se encuentra distribuido de la siguiente manera. La Introducción presenta la justifi-

cación e importancia de la realización de esta investigación, revisando investigaciones relacionadas al calentamiento de agua en el sector residencial utilizando sistemas SAHP. Luego se detalla la descripción de los sistemas SAHP, su clasificación particularizando en la configuración de DX-SAHP, el colector/evaporador que es el elemento principal en estos sistemas, los refrigerantes utilizados y el coeficiente de rendimiento. Finalmente, las conclusiones discuten los puntos más relevantes del documento para presentar información a considerar en futuras investigaciones.

2. Descripción de los sistemas SAHP

Una bomba de calor asistida por energía solar se caracteriza por utilizar la radiación emitida por el Sol para su funcionamiento, esto provoca una reducción en el uso de combustibles fósiles y en las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Un sistema SAHP utiliza un fluido de trabajo que puede ser agua o un refrigerante. Cuando la radiación solar incide sobre la superficie del colector/evaporador se presenta una transferencia de calor desde el exterior del tubo o placa hacia el fluido. Esto provoca una elevación de temperatura y en caso de utilizar un refrigerante, este cambia de fase líquida a vapor (Buker y Riffat, 2016). Un sistema de tipo bomba de calor presenta varias aplicaciones, una de ellas es la generación de agua caliente, disminuyendo la demanda energética. Según Duarte, Paulino, Pabón, Sawalha y Machado (2019), al utilizar una fuente renovable, como es la energía solar, se aprovecha la energía térmica y, mediante la aplicación de los mecanismos de transferencia de calor, la transmite al fluido.

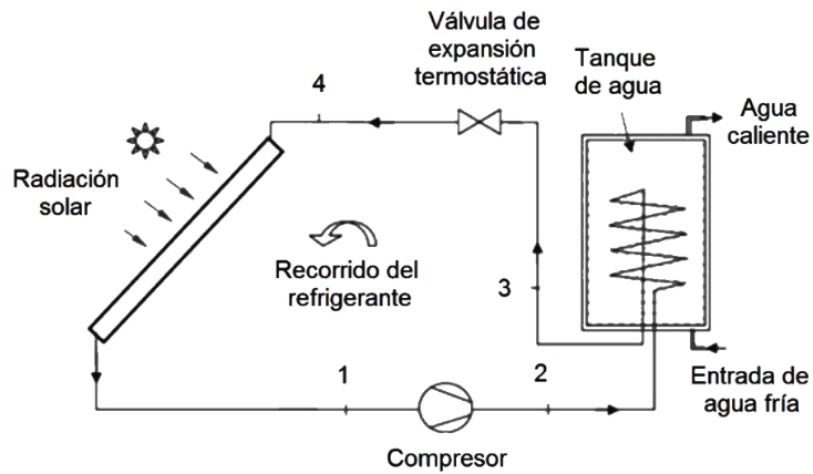
Las bombas de calor pueden extraer el calor de diferentes fuentes, del suelo, aire, fuentes de agua y son utilizadas para el calentamiento de espacios o de agua (Deng y Yu, 2016). En función del modo de conexión del colector /evaporador, para Cai, Ji, Wang y Huang (2016), los sistemas SAHP se presentan en dos modelos, bombas de calor de expansión directa asistidas por energía solar y en bombas de calor de expansión indirecta asistidas por energía solar.

3. Bombas de calor de expansión directa asistidas por energía solar (DX-SAHP)

En un sistema DX-SAHP, el colector solar y el evaporador de la bomba de calor se integran en una sola unidad para transferir la energía solar al refrigerante. Cai, Li, Ji y Zhou (2019) indican que la implementación de estos sistemas se centra en el sector residencial, tanto para aire acondicionado, como para calentamiento de espacios y agua, debido a su bajo consumo energético. Los primeros investigadores que reportan estudios con bombas de calor asistidas por energía solar fueron Sporn y Ambrose (1955). Presentaron resultados relevantes, pero no logran demostrar el potencial de un sistema DX-SAHP debido a un aparente desajuste entre la capacidad de bombeo de flujo másico del compresor y la capacidad de evaporación del colector (Gorozabel y Carbonell, 2016). Los sistemas SAHP trabajan en un ciclo de refrigeración por compresión de vapor y constan de cuatro componentes principales, el evaporador, compresor, condensador y un dispositivo de expansión, como se esquematiza en la figura 1 (Wang y Ge, 2016).

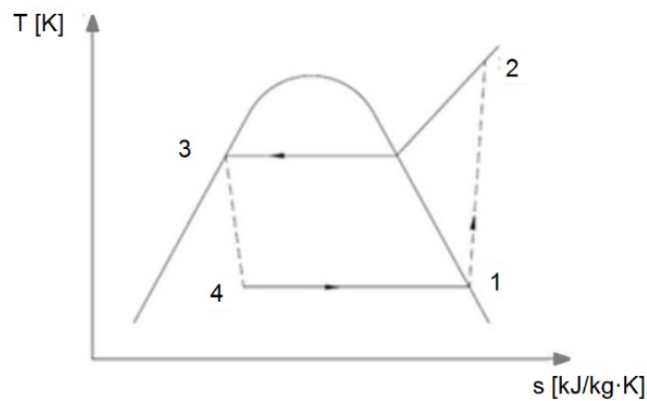
El funcionamiento de los sistemas DX-SAHP inicia cuando el refrigerante absorbe el calor producto de la energía solar incidente y del ambiente. Kalogirou (2014) explica que esta energía térmica se transforma en calor y puede almacenarse o utilizarse directamente. Si se utiliza directamente, el fluido de trabajo se evapora en el colector/evaporador, luego se comprime en un compresor hermético recíproco para convertirse en vapor sobrecalentado de alta temperatura y alta presión. El vapor ingresa en el condensador que actúa como intercambiador de calor entre el refrigerante y el medio en donde se condensa.

Figura 1. Diagrama esquemático de un sistema DX-SAHP (Wang y Ge, 2016)



El calor rechazado en este procedimiento es absorbido por el medio, generalmente agua contenida en un tanque de almacenamiento. Posteriormente, el refrigerante pasa por una válvula de expansión donde se expande irreversible y adiabáticamente. Para finalizar, el refrigerante fluye hacia el colector/evaporador y se evapora por la absorción de energía térmica (Huang, Ji, Xu y Li, 2016). El diagrama temperatura vs. entropía (T-s) de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor se muestra en la figura 2.

Figura 2. Diagrama T-s para un sistema SAHP (Malali, Chaturvedi y Abdel-Salam, 2016)



El uso de los sistemas DX-SAHP conlleva varias ventajas, principalmente el no utilizar combustibles provenientes de fuentes fósiles. El tamaño es menor en comparación con un sistema de calentamiento de agua a gas y no necesita ser colocado en un lugar abierto para evitar fugas de gas o posibles incidentes que afecten a la integridad de las personas. Al ser equipos que utilizan una fuente renovable de energía, como es la energía solar, para Gadea y Gonzalo (2019) la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera disminuyen. El colector/evaporador puede ser colocado en cualquier lugar para que pueda funcionar, de preferencia, debería ser colocado en un lugar libre de sombras para que la radiación solar incida directamente sobre él (Sheu y Mitsos, 2013). Krockenberger, DeGrove, Hutzet y Foreman (2014)

afirman que la combinación de dos sistemas, una bomba de calor y la energía solar, reducen los costos de energía y aumentan la eficiencia. Mediante el uso de unidades motrices de velocidad variable se obtiene un mejor desempeño. Cengel y Boles (2015) explican que, al implementar un compresor de velocidad variable, se permite que la unidad opere a su máxima eficiencia para distintas necesidades de calentamiento y enfriamiento en determinadas condiciones atmosféricas. Shi, Aye, Li y Du (2019) han registrado investigaciones de sistemas DX-SAHP aproximadamente desde mediados del año 1970 y se localizan en las costas del Pacífico y zona sur europea. La Figura 3 indica los países con autores que han presentado estudios referentes al tema.

Figura 3. Países con investigaciones sobre sistemas DX-SAHP (Shi, Aye, Li y Du, 2019)



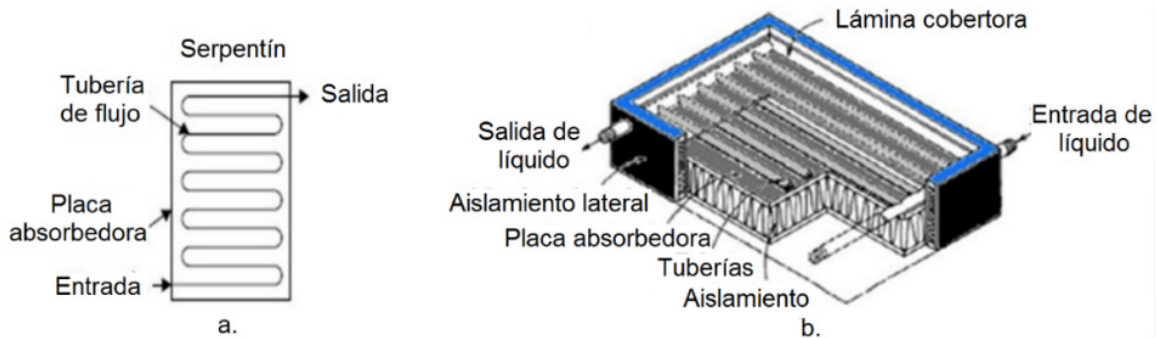
Investigadores a nivel mundial, como Buker y Riffat (2016), Tagliafico, Scarpa y Valsuani (2014), Hossain et al. (2011), han realizado diferentes investigaciones relacionadas a sistemas DX-SAHP. A continuación, se presenta una revisión de la literatura relacionada a los mencionados sistemas, un listado comprendido con investigaciones desde 1955, año en el cual Sporn y Ambrose (1955) muestran una investigación sobre la bomba de calor y la energía solar.

4. Colector/evaporador

Buker y Riffat (2016) define un colector solar como un elemento que transforma la energía solar incidente en forma de calor y la transmite al fluido que circula en su interior. Los colectores solares de placa plana son dispositivos que captan la energía solar térmica la cual puede ser utilizada en aplicaciones como calefacción, calentamiento de agua, calefacción de habitaciones e incluso aplicaciones industriales (Pandey y Chaurasiya, 2017). Se pueden generar varios diseños, uno de ellos es en forma de serpentín, modelo que no presenta el problema de distribución desigual del flujo en los diversos tubos (Kalogirou, 2014). El diseño de la placa contempla dos opciones, cuando se presenta una sola lámina en la que están colocados todos los canales, como se muestra en la Figura 4a. La segunda opción se presenta en la Figura 4b, cuando cada

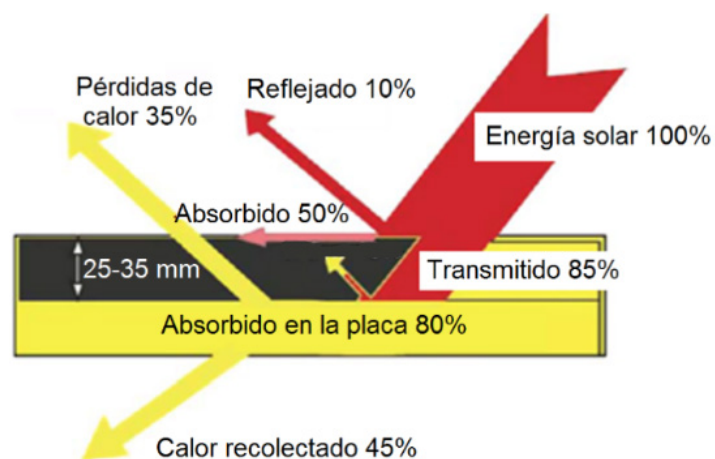
uno de los tubos son montados en cuerpos separados. En función de su estructura, Zhu, Xie, Zhang y Guan (2013) clasifican a los colectores/evaporadores en colectores de placa desnuda, sin cubierta o de tipo roll bond, colectores de placa de vidrio con cubierta y colectores/evaporadores dobles (un colector de placa desnuda y un colector de placa con cubierta).

Figura 4. Colector solar de placa plana a. sin cubierta b. cubierto (Hossain et al., 2011; Kalogirou, 2014).



Según Hossain et al. (2011), los colectores solares se pueden clasificar en colectores de concentración y de placa plana los cuales se pueden utilizar en los sistemas DX-SAHP. Estos colectores son los más utilizados para el calentamiento de agua en el sector residencial. Para la eficiencia de los colectores solares, se tiene aproximadamente un error de 4% entre los valores experimentales y los valores obtenidos mediante modelado y simulación (Benavides, Jurado y González, 2018). En la Figura 5 se presenta un diagrama esquemático del flujo de calor a través de un colector de placa plana con cubierta, el cual absorbe aproximadamente un 80% de la energía solar térmica.

Figura 5. Flujo de calor en un colector solar de placa plana (Hossain et al., 2011).



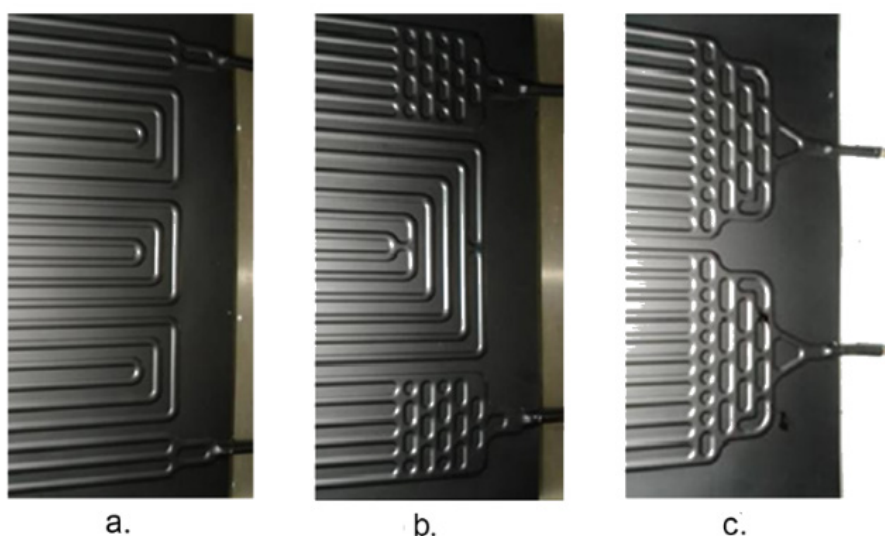
El diseño de este tipo de colectores está en un constante desarrollo tecnológico, ya que las condiciones climáticas influyen en la conductividad térmica hacia el refrigerante (Velasco, Goyos, Delgado y Freire, 2016). A continuación, se presenta una revisión de investigaciones que

han considerado el uso de colectores/evaporadores de diferentes tipos. Huang, Ji, Xu y Li (2016) utilizaron un sistema DX-SAHP con colectores solares sin cubierta para la calefacción de un espacio. El equipo trabaja a una temperatura ambiente que oscila entre 3 y 7 °C, con humedades relativas de 50, 70 y 90% y las condiciones de radiación solar que se presentaron en las pruebas realizadas son 0, 100, 200, 300 W/m², respectivamente. De los resultados obtenidos, los autores manifiestan que una radiación de 100 W/m² ayuda a prevenir la formación de hielo cuando la temperatura ambiente es superior a 3 °C y la humedad relativa es del 70%. En función de la radiación solar, el sistema puede mejorar o reducir el rendimiento. El coeficiente de operación del sistema en un tiempo de 90 minutos fue aproximadamente 2.4 para una temperatura ambiente de 5 °C y una humedad relativa de 70 °C, radiación solar de 300 W/m². Mientras que a una radiación solar a 100 W/m², el COP fue 1.8 manteniendo los mismos valores. Una suposición que utilizan los autores es que la temperatura de evaporación y de condensación son -5 y 55 °C, respectivamente. La eficiencia exergética alcanzada por el sistema es de 58.48, 59.16 y 23.81% para el compresor, condensador y colector solar, respectivamente.

Aguilar, Aledo y Quiles (2016) analizaron la opción de combinar paneles solares fotovoltaicos junto a bombas de calor para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en una residencia promedio de 4 personas. Los resultados presentados indican un consumo de 130 litros diarios a 55 °C, y una producción de 6.2 kW·h en un día. Así, la contribución solar alcanzó un 60%, con resultados desarrollados a lo largo de un año.

En la investigación realizada por Cerit y Erbay (2013), se utilizó aluminio como material para la fabricación de un colector/evaporador de tipo roll bond y el fluido de trabajo fue el refrigerante R134a. Se han investigado tres sistemas de bombas de calor asistidas por energía solar con un área de captación solar de 1 m², cambiando el diseño del colector/evaporador, como se indica en la Figura 6. Los valores obtenidos del COP en los sistemas 1, 2 y 3 fueron 3.30, 3.14 y 2.42, respectivamente, en las mismas condiciones de operación. La temperatura inicial del agua fue de 13 °C a una temperatura ambiente máxima de 20 °C y una intensidad de radiación solar de 536 W/m² al medio día.

Figura 6. Configuraciones realizadas en el evaporador sin cubierta a. Sistema 1
b. Sistema 2 c. Sistema 3 (Cerit y Erbay, 2013; Ravi, Krishnaiah, Akella y Azizuddin, 2015)



Según Calise, Dentice D'Accadia, Figaj y Vanoli (2016), los paneles solares fotovoltaicos pueden ser colocados en una bomba de calor de expansión directa asistida por energía solar y son denominados sistemas híbridos. Son colectores que producen energía eléctrica y térmica simultáneamente, aunque la energía es fluctuante debido a la radiación externa y a la temperatura. Colangelo, Favale, Miglietta y De Risi (2016) manifiestan que, cuando la radiación solar es alta, los sistemas fotovoltaicos funcionan en condiciones desfavorables, porque la eficiencia de conversión de energía de los módulos fotovoltaicos es inversamente proporcional a la temperatura de funcionamiento. Las altas temperaturas disminuyen el voltaje de los paneles a un valor reducido para cargar las baterías por completo.

Kong, Li, Lin y Yang (2017) realizaron una investigación sobre los sistemas solares del tipo bombas de calor con asistencia directa. Los componentes utilizados en la investigación fueron una válvula de expansión electrónica, un compresor hermético de tipo rotatorio que utiliza refrigerante R410A como fluido de trabajo. Un condensador tipo serpentín de diámetro 99 x 0.75 mm de longitud, que se encuentra inmerso dentro de un tanque de agua de 150 litros. El sistema consta de cuatro placas absorbentes de aluminio en paralelo con una superficie total de 4.2 m². Los resultados obtenidos indican que el tiempo de calentamiento varía según la intensidad de la radiación solar. Además, el COP promedio a una velocidad de rotación del compresor de 1500 rpm fue 144.6% mayor que a 3300 rpm. Cuando la temperatura inicial del agua incrementa desde 5 hasta 30 °C, el tiempo de calentamiento se reduce aproximadamente un 53.9%. Los autores manifiestan que los refrigerantes HC poseen propiedades de transporte superiores al R22, además que el refrigerante R134a tiene la temperatura crítica más alta entre los refrigerantes que se consideran en el estudio.

Kuang y Wang (2006) realizaron una investigación sobre un sistema DX-SAHP que es utilizado para el calentamiento de espacios en invierno, aire acondicionado en verano y para el calentamiento de agua durante todo el año. Contiene un conjunto de 10 colectores de placa plana de tipo roll bond con un área superficial de 10.5 m² orientados hacia el sur, considerando que la investigación fue realizada en China. Además, un tanque de almacenamiento de 1 m³, el fluido de trabajo fue el refrigerante R22 y un compresor de velocidad variable. Este sistema suministra 200 litros de agua caliente diarios, con una temperatura final del agua de 50 °C. El material de las placas colectoras es aluminio de 1 mm de espesor y fueron unidas de forma presurizada dejando un diámetro interior y un paso entre tubos de 8 y 40 mm, respectivamente. El compresor hermético de tipo rotatorio tiene una potencia nominal de entrada de 3 hp y la variación de velocidad se logró a través de un variador de frecuencia (VFD) capaz de ajustarla de 30 a 90 Hz. Así se puede evitar el desajuste entre la carga variable en el sistema y la capacidad constante del compresor.

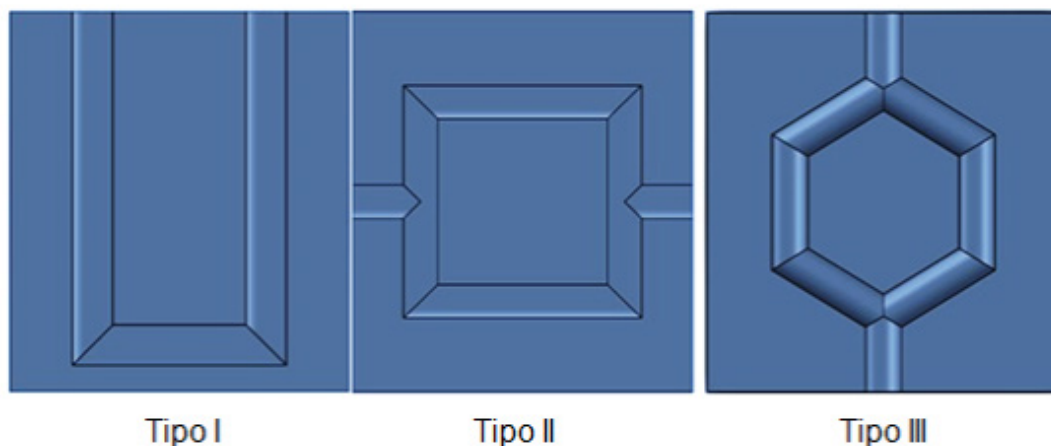
Moreno-Rodríguez, García-Hernando, González-Gil e Izquierdo (2013) realizaron una investigación utilizando una DX-SAHP con un compresor de 1.1 kW y utilizando el refrigerante R134a como fluido de trabajo. El área total de colectores fue 5.6 m². Se realizó una evaluación experimental para la obtención de los resultados generando un COP entre 1.9 y 2.9, mientras que la temperatura en el tanque fue de 51 °C. Los resultados obtenidos de forma experimental indican que, a una temperatura de evaporación determinada, se puede calcular la potencia del compresor y la potencia transferida por el condensador a una temperatura de evaporación. Los autores indican que el COP en el sistema propuesto se encuentra en el rango de 1.7 a 3.3 para temperaturas de evaporación de -15 a 20 °C.

Mohanraj, Belyayev, Jayaraj y Kaltayev (2018) realizaron un estudio sobre el desarrollo y aplicaciones de los sistemas de bomba de calor asistidas por energía solar. Se analizaron los dife-

rentes sistemas de bombas de calor, entre los cuales se destacan los sistemas DX-SAHP, geotérmicos, los sistemas convencionales SAHP y sistemas fotovoltaicos híbridos. Un análisis del ciclo de vida de los equipos fue presentado, además de las aplicaciones que se pueden realizar con este tipo de sistemas, secado, calentamiento de espacios, calentamiento de agua y desalinización. Los autores finalizan indicando que la integración de las fuentes renovables de energía con los sistemas de bomba de calor permite la reducción del consumo de fuentes fósiles y sus efectos ambientales. El diseño de los canales puede afectar la eficiencia del colector, así como el rendimiento del sistema. La configuración Tipo 1 es la forma convencional de los canales.

Sun, Wu, Dai y Wang (2014) investigaron y compararon el rendimiento de un sistema DX-SAHP con tres diferentes diseños superficiales, paralelo, geometría fractal en "T" y panel de abejas hexagonal, mostrados en la Figura 7. El diseño hexagonal en forma de panel de abejas fue el que maximizó la temperatura de evaporación. Este diseño mejora el COP y la capacidad de calentamiento en un 20.5 y 23.5%, respectivamente, con respecto a la configuración 1.

Figura 7. Configuraciones de los canales en la parte superior del colector (Sun, Wu, Dai y Wang, 2014)



Un dispositivo de expansión termostática con un orificio de diámetro 1.6 mm, una presión de trabajo de 300 MPa y un número de vueltas de 10, fue utilizado en la investigación de Combariza, González y Castilla (2018). Estudiaron una bomba de calor asistida por energía solar utilizando como fluido de trabajo el refrigerante R134a, un compresor de velocidad nominal el cual trabaja a 3500 rpm, un colector/evaporador de placa plana con canales de diámetro interno de 7.74 mm, una longitud total de 15 m, el espesor de la aleta es de 0.5 mm y la distancia entre tubos es 100 mm. Los resultados obtenidos indican una variación de la temperatura del agua de 25 a 32 °C luego de 4 minutos aproximadamente y un COP de 2.4. Los autores manifiestan que el bajo COP obtenido se produce por la gran pérdida de presión en el evaporador el cual es de tubos horizontales.

5. Refrigerantes

Para utilizar un refrigerante en un determinado sistema se analizan ciertos parámetros, como el potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) y el potencial de agotamiento del ozono (ODP, por sus siglas en inglés) (Harby, 2017; ACAIRE, 2013; Zhang, Wu, Li y Kong, 2014).

La norma ISO 817: 2014 establece una clasificación de los refrigerantes basada en datos de toxicidad e inflamabilidad. Según el estándar de seguridad proporcionado por ASHRAE (2019), se clasifican a los refrigerantes en tres grupos que son altamente inflamables, ligeramente inflamables y no inflamables.

Nawaz, Shen, Elatar, Baxter y Abdelaziz (2017) realizaron una investigación con los refrigerantes R1234yf y el R1234ze, los cuales poseen un bajo GWP. Los resultados señalan que ambos refrigerantes pueden ser considerados como sustitutos del R134a (Bolaji y Huan, 2013). Li (2013) planteó una investigación con el objetivo de reemplazar al R22 en los sistemas DX-SAHP, puesto que contiene cloro, elemento que agota la capa de ozono. Los resultados obtenidos muestran que el refrigerante R290 es una mejor alternativa al R22. Igualmente, se analizó una mezcla entre los refrigerantes R290 y R22, con mayor porcentaje de R290 y se obtuvo mejores resultados de COP. El análisis experimental se realizó bajo las condiciones climáticas subtropicales típicas, a temperatura media anual de 18 °C y una radiación solar entre 300 y 800 W/m², además, el COP varía entre 4.4 y 6.5. La Tabla 1 resume diferentes refrigerantes utilizados en bombas de calor.

Tabla 1. Comparación de las propiedades de refrigerantes. (REFECOL, R22, 2014; GASSERVEI, R134a, 2018; GASSERVEI, R290, 2018; GASSERVEI, R404A, 2018; GASSERVEI, R407C, 2018; GASSERVEI, R410A, 2018; GASSERVEI, R600a, 2018)

	R22	R134a	R290	R404A	R407C	R410A	R600a
Peso Molecular [kg/k·mol]	86.47	102.03	44.10	97.61	86.2	72.6	58.1
Punto de ebullición normal [°C]	- 40.8	- 26.1	- 42.1	-46.45	- 43.6	- 51.58	-11.7
Temperatura crítica [°C]	96.15	101.1	96.7	72.07	86.74	72.13	135
Presión crítica [MPa]	4.98	4.06	4.24	3.73	4.62	4.92	3.64
ODP	0.055	0	0	0	0	0	0
GWP [100 años]	1810	1430	3 - 11	3922	1774	2088	3
Grupo de seguridad	A1	A1	A3	A1	A1	A1	A3

Estudios elaborados por Zhu, Xie, Zhang y Guan (2013) sobre sistemas DX-SAHP, indican que el refrigerante sufre un cambio de fase de líquido a vapor por la absorción de calor producido por la energía solar incidente. En la investigación se determinó que la temperatura de funcionamiento del colector y la temperatura de evaporación del refrigerante se mantienen constantes y en el rango de bajas temperaturas. De esta manera, se puede obtener mayor eficiencia en el colector y se evita que la bomba de calor sufra daños por el mal clima. Los resultados de radiación solar, temperatura ambiente promedio y velocidad media del viento que inciden sobre un colector/ evaporador de placa sin cubierta y un colector/evaporador de doble placa son 602 W/m², 29 °C, 1 m/s y 664.6 W/m², 23 °C, 0.8 m/s, respectivamente. Además, en función de los datos obtenidos, los autores concluyen que mientras el área del colector incrementa, el COP del sistema también aumenta, pero se reduce la eficiencia del colector y aumenta la carga de trabajo del compresor.

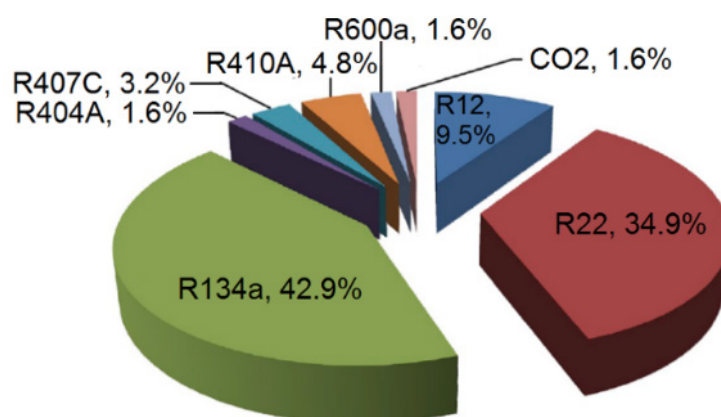
El estudio de diferentes refrigerantes para reemplazar al R12 en un sistema DX-SAHP fue realizado por Gorozabel, Chaturvedi y Almogbel (2005). Los resultados indican que los valores más altos de COP se presentaron al utilizar los refrigerantes R22 y R134a cuando la temperatura del colector osciló entre 0 y 20 °C. Una comparación entre los refrigerantes R410A y R407C,

indica que el R410A es más eficiente que el R407C o el R404A, pero no como el R134a. El refrigerante R410A produce valores de COP 15 a 20% más bajos que con el R134a.

Un análisis comparativo de sistemas de refrigeración doméstica utilizando refrigerantes R600a y R134a es realizado Jara e Isaza (2015). Utilizaron compresores de 1/4 y 1/6 HP, obteniendo valores de COP de 2.7 y 3.5 con R600a y R134a, respectivamente, con el compresor de 1/4 HP. El refrigerante R600a, al ser un hidrocarburo, presenta un grado de inflamabilidad. Los autores concluyen que el refrigerante R600a puede reemplazar al R134a en la refrigeración doméstica por varios motivos, como su bajo tiempo de vida en la atmósfera, que es menor a un año, su bajo potencial de calentamiento global, menor a 8, siendo un refrigerante ideal y amigable con el medio ambiente.

Los refrigerantes R407C y el R410A son una mezcla zeotrópica, los componentes principales del R407C son R32 / R125 / R134a (23/25/52% en peso). Mientras que para el R410A son R32 / R125 (50/50% en peso). Una alternativa para mitigar el impacto ambiental producido por el uso de refrigerantes es el uso de HC y HFO, considerados refrigerantes naturales y de bajo GWP (Wu, Hu y Wang, 2018; Nawas, Shen, Elatar, Baxter y Abdelaziz, 2017). Son utilizados como fluidos de trabajo en sistemas de bombas de calor asistidas por energía solar, aunque son flamables. En la investigación realizada por Ghoubali, Byrne y Bazantay (2017), se utilizaron tres tipos de condensadores, siendo mejor el de tipo roll bond con 10 vueltas, área interna de los canales y superficie de intercambio de calor de 0.465 y 0.24 m², respectivamente, y volumen interno de 730 cm³. El COP estuvo entre 2.4 y 3.20 dependiendo de la carga de refrigerante R290 (CH₃CH₂CH₃). Con una carga de 250 g, se alcanzó un COP de 3.20 en un tiempo de calentamiento inferior a 7 horas. La temperatura de subenfriado que alcanzó con una carga de 200 g de refrigerante fue 5 K. Adicionalmente, Shi, Aye, Li y Du (2019) recomiendan verificar los requerimientos de la aplicación para trabajar en un entorno seguro. La Figura 8 es un esquema proporcional de los refrigerantes con los que trabajan los sistemas DX-SAHP.

Figura 8. Refrigerantes para DX-SAHP (Shi, Aye, Li y Du, 2019)



El refrigerante R22 tiene efectos desfavorables para el medio ambiente por lo que no debería ser utilizado. Un estudio realizado por Kasera y Chandra (2017) muestra el uso del refrigerante 407C, un CFC, como reemplazo al R22. Los autores compararon el ODP y el GWP de ambos refrigerantes. Para el refrigerante R22 se presentan valores de 0.055 y 1700, mientras que, para el R407C, 0 y 1530 de ODP y GWP, respectivamente. Además, se comparó los efectos que produ-

ce el uso de R407C y R22. El COP es menor, la capacidad de enfriamiento es menor y el consumo de energía es mayor. Se debe considerar que el R407C es menos contaminante que el R22 y los autores sugieren alternativas de refrigerantes como reemplazo al R22, mencionando al R134a y propano (R290), considerado como un refrigerante natural.

6. Coeficiente de rendimiento

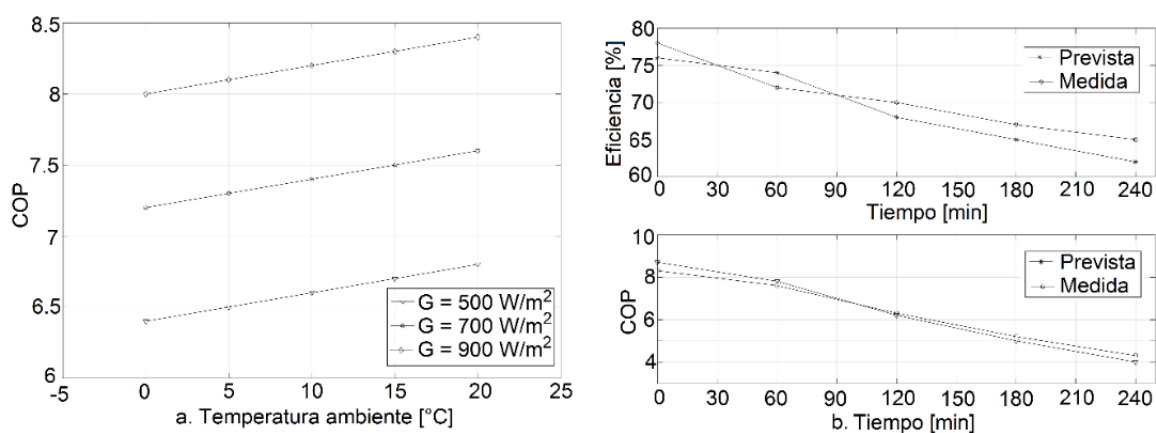
Un análisis de los diferentes sistemas de bombas de calor asistidas por energía solar fue realizado por Buker y Riffat (2016). En la investigación se demuestra que estos sistemas aumentan significativamente su eficiencia al ser comparados con los sistemas convencionales de calentamiento de agua, para corroborar estos valores se consideró la evaluación del COP. Una bomba de calor de expansión directa con asistencia solar fue analizada en Hong Kong, una ciudad con un clima subtropical húmedo que puede alcanzar una temperatura ambiente aproximada de 29 °C. Los resultados proporcionados por Chow et al. (2010) indican que se presenta una velocidad del viento promedio anual de 3.08 m/s y 1365 kW·h/m² año de radiación solar, con las mencionadas condiciones climáticas el coeficiente de rendimiento promedio anual fue de 6.46, además de presentar una potencia de ingreso al compresor anual de 1501 kW·h.

Para la obtención de agua caliente sanitaria, Deng y Yu (2016) desarrollaron un calentador de agua que utiliza energía solar y eólica. El sistema puede ser utilizado cuando la radiación solar es lo suficientemente alta como para calentar el fluido de trabajo que en esta oportunidad fue el refrigerante R134a. Las condiciones de operación del sistema dual fueron, radiación solar entre 100 y 700 W/m², temperatura ambiente en el rango entre 10 y 30 °C. La velocidad del compresor fue de 2980 rpm, un área de colector de 2 m², el volumen del tanque de agua caliente fue de 150 litros. Los resultados indican que el COP aumenta en un 14% aproximadamente al incrementarse la radiación.

Mohamed, Riffat y Omer (2017) analizaron la influencia de factores como la temperatura exterior, radiación solar y temperatura inicial del agua en el rendimiento de una bomba de calor asistida por energía solar. Los resultados indican que con una radiación solar de 200 W/m² y una temperatura ambiente de 19.8 °C, se alcanzó un COP de 3.99. Mientras que reduciendo la radiación a 100 W/m² y con una temperatura ambiente de 20.1 °C, se obtuvo un COP de 3.87. El colector solar utilizado se encuentra recubierto con pintura negra y está formado por dos placas de aluminio de 2 mm de espesor, la tubería es de aluminio de 13 mm de diámetro. Además, se corrobora que cuando la temperatura del agua en el tanque del condensador aumenta con el tiempo, la temperatura de condensación también aumenta. Los autores indican que el rendimiento del sistema está significativamente influenciado por el área de colector y de la radiación solar.

Yousefi y Moradali (2015) realizaron un análisis termodinámico de una bomba de calor asistida por energía solar considerando parámetros como la radiación solar y el área del colector/evaporador, así como el aumento de temperatura del agua desde 20 a 45 °C. Se instaló un colector/evaporador de 3m² de superficie de tipo placa plana con cubierta, además de un tanque para el almacenamiento de agua de 0.150 m³. Los resultados muestran la obtención de un COP de 6.37 a una temperatura ambiente de 15 °C y radiación de 450 W/m². La Figura 9 presenta la variación del COP con relación a la temperatura ambiente y con relación al tiempo necesario para el calentamiento.

Figura 9. COP en función de la a. temperatura ambiente b. tiempo



A continuación, en la Tabla 2 se presentan investigaciones exclusivamente para calentamiento de agua, mediante el uso de un sistema de bomba de calor asistida por energía solar, además se proporciona información detallada sobre sus componentes, se explican los diferentes parámetros de funcionamiento como la temperatura del agua, área del evaporador, consumo de energía, refrigerantes utilizados, temperaturas inicial y final del agua, entre otros.

Tabla 2. Análisis de los componentes de los sistemas DX-SAHP

	Sharma (2017)	Fernández J., Piñeiro, Dopazo, Fernández F., y Sousa (2012)	Malali, Chaturvedi y Abdel-Salam (2016)	Deng y Yu (2016)	Yousefi y Moradali, (2015)
$T_{inicial}$ del agua [°C]	29	14	20	20	20
T_{final} del agua [°C]	49	55	50	55	45
Volumen del tanque (m ³)	0.03	0.3	0.150	0.150	0.150
Área del colector [m ²]	2.23	3.23	3.7	2	3
COP	4	4.29	3.6	3.91	6.37
Consumo energía [kW·h]	0.245	4.31			0.468
Refrigerante utilizado	R134a	R134a	R134a	R134a	R134a
País	India	España	EE. UU.	China	Irán

7. Conclusiones

Investigaciones relacionadas al uso de bombas de calor asistidas por energía solar se han presentado en este documento. El principal objetivo es tratar que, mediante el uso de la energía

solar y la modificación de varios componentes del sistema, por ejemplo, el uso de un evaporador y un colector en una sola unidad, se pueda aumentar el rendimiento del equipo. Así se obtiene una mejora en la eficiencia energética del sistema, además de mitigar el impacto ambiental al proponer nuevas opciones de refrigerantes amigables con el medio ambiente que contribuyen a un desarrollo sustentable.

Algunos problemas que se suscitan en los colectores de agua, la corrosión, congelación nocturna, incrustaciones provocadas por el carbonato de calcio, se eliminan al utilizar como fluido de trabajo un refrigerante. Esto genera un aumento en la vida útil del equipo. Al ser utilizado un refrigerante como fluido de trabajo, circulando dentro del colector/evaporador, la temperatura necesaria para producir la evaporación es baja. Así se consiguen pérdidas menores del sistema puesto que el valor de las pérdidas en el colector es una función de la diferencia de temperatura ambiente y la del colector. El colector solar de placa plana sin cubierta trabaja con valores de eficiencia altos y lo único que utiliza es la diferencia de temperaturas que se produce con el ambiente.

Los refrigerantes con un bajo potencial de calentamiento global y bajo potencial de agotamiento del ozono se deben promover en la industria de la refrigeración. Estos refrigerantes presentan buenas características termodinámicas y son el reemplazo ideal para los hidroclorofluorocarbonos, hidrofluorocarbonos y los clorofluorocarbonos que son sustancias que agotan la capa de ozono y además, fomentan el calentamiento global. Un buen reemplazo para estas sustancias son los hidrocarburos, como el R290 y el R600a.

Los paneles solares fotovoltaicos pueden presentar varias aplicaciones, una de ellas es generar la energía eléctrica requerida por el compresor de velocidad variable, uno de los componentes principales del sistema. La eficiencia global en los sistemas DX-SAHP aumenta considerablemente al ser comparados con los sistemas SAHP, puesto que el colector solar funciona como evaporador en el sistema. De esta forma, se evita el uso de una mayor cantidad de partes en el equipo, además de generar un ahorro económico. Los resultados muestran una comparación entre los sistemas DX-SAHP con los sistemas de calentamiento de agua que utilizan un quemador de gas. La energía primaria ahorrada al utilizar un sistema DX-SAHP es aproximadamente del 50 % bajo las mismas condiciones de operación. Este porcentaje de ahorro es casi independiente del tipo de panel solar de placa plana utilizado. La tecnología utilizada en los sistemas DX-SAHP presenta datos prometedores en diversos escenarios, tanto en invierno, como verano.

Actualmente la cantidad de energía consumida a nivel mundial, que es proveniente de fuentes fósiles es una problemática que perjudica el medio ambiente. Los sistemas DX-SAHP presentan una cantidad reducida de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Además, utilizan fuentes renovables de energía, por lo tanto, resultan ser la mejor opción para reducir el impacto ambiental causado por el uso de combustibles fósiles.

Agradecimientos

Este trabajo investigativo tuvo el apoyo del Área de Investigación y Desarrollo de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana y de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín.

Bibliografía

- ACAIRE. (2013). *Refrigerantes de Hidrocarburos*. Bogotá.
- Aguilar, F., Aledo, S., y Quiles, P. (2016). Experimental study of the solar photovoltaic contribution for the domestic hot water production with heat pumps in dwellings. *Applied Thermal Engineering*(101), 379-389.
- ASHRAE. (28 de Mayo de 2019). *Safety Standard for Refrigeration Systems*. Obtenido de [https://web-cache.googleusercontent.com/search?q=cache:CLE84mzAxtlJ:https://www.ashrae.org/File%2520Library/docLib/StdAddenda/15_2016_f_20170207.pdf+ycd=3yhl=esyct=clnkyclient=firefox-b](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CLE84mzAxtlJ:https://www.ashrae.org/File%2520Library/docLib/StdAddenda/15_2016_f_20170207.pdf+ycd=3yhl=esyct=clnkyclient=firefox-b)
- Bauer, A., y Menrad, K. (2019). Standing up for the Paris Agreement: Do global climate targets influence individuals' greenhouse gas emissions? *Environmental Science and Policy*, 99, 72-79.
- Benavides, D., Jurado, F., y González, L. (2018). Data analysis and tools applied to modeling and simulation of a PV system in Ecuador. *Enfoque UTE*, 9, 1-12.
- Bolaji, B., y Huan, Z. (2013). Ozone depletion and global warming: Case for the use of natural refrigerant – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(18), 49-54.
- Buker, M., y Riffat, S. (2016). Solar assisted heat pump systems for low temperature water heating applications: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(55), 399-413.
- Cai, J., Ji, J., Wang, Y., y Huang, W. (2016). Numerical simulation and experimental validation of indirect expansion solar-assisted multi-functional heat pump. *Renewable Energy*(93), 280-290.
- Cai, J., Li, Z., Ji, J., y Zhou, F. (2019). Performance analysis of a novel air source hybrid solar assisted pump. *Renewable Energy*, 139, 1133-1145.
- Calise, F., Dentice D'Accadia, M., Figaj, R., y Vanoli, L. (2016). A novel solar-assisted heat pump driven by photovoltaic/thermal collectors: Dynamic simulation and thermoeconomic optimization. *Energy*(95), 346-366.
- Cengel, Y., y Boles, M. (2015). *Thermodynamics An Engineering Approach*. New York: McGraw-Hill Education.
- Cerit, E., y Erbay, B. (2013). Investigation of the effect of rollbond evaporator design on the performance of direct expansion heat pump experimentally. *Energy Conversion and Management*(72), 163-170.
- Charters, W., y Taylor, L. (1976). Some performance characteristics of a solar boosted heat pump, in: Proceedings of the IIR Conference Towards and Ideal Food Chain. *Refrigerant Science Technology*, 64, 1-8.
- Chow, T., Pei, G., Fong, K., Lin, Z., Chan, A., y He, M. (2010). Modeling and application of direct-expansion solar-assisted heat pump for water heating in subtropical Hong Kong. *Applied Energy*(87), 643-649.
- Colangelo, G., Favale, E., Miglietta, P., y De Risi, A. (2016). Innovation in flat solar thermal collectors: A review of the last ten years experimental results. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(57), 1141-1159.
- Combariza, H., González, P., y Castilla, C. (2018). Numerical simulation and experimental validation of a solar-assisted heat pump system for heating residential water. *International Journal of Refrigeration*(86), 28-39.
- Deng, W., y Yu, J. (2016). Simulation analysis on dynamic performance of a combined solar/air dual source heat pump water heater. *Energy Conversion and Management*(120), 378-387.
- Duarte, W., Paulino, T., Pabon, J., Sawalha, S., y Machado, L. (2019). Refrigerants selection for a direct expansion solar assisted heat pump for domestic hot water. *Solar Energy*, 184, 527-538.
- Fernández, J., Piñeiro, C., Dopazo, A., Fernández, F., y Sousa, P. (2012). Experimental analysis of a direct expansion solar assisted heat pump with integral storage tank for domestic water heating under zero solar radiation conditions. *Energy Conversion and Management*(59), 1-8.
- Gadea, M., y Gonzalo, J. (2019). Trends in distributional characteristics: Existence of global warming. *Journal of Econometrics*, 1-22.

- Gallo, C., Faccilongo, N., y La Sala, P. (2017). Clustering analysis of environmental emissions: A study on Kyoto Protocol's impact on member countries. *Journal of Cleaner Production*, 1-19.
- GASSERVEI. (08 de Diciembre de 2018). *Ficha técnica R134a*. Recuperado el 24 de 01 de 2018, de https://www.gas-servei.com/images/Ficha_tecnica_R134A.pdf
- GASSERVEI. (27 de Febrero de 2019). *Ficha técnica R290 (Propano)*. Obtenido de <https://www.gas-servei.com/images/Ficha-tecnica-R290.pdf>
- GASSERVEI. (27 de Febrero de 2019). *Ficha técnica R404A*. Obtenido de <https://www.gas-servei.com/images/Ficha-tecnica-R404A.pdf>
- GASSERVEI. (27 de Febrero de 2019). *Ficha técnica R407C*. Obtenido de <https://www.gas-servei.com/images/Ficha-tecnica-R407C.pdf>
- GASSERVEI. (27 de Febrero de 2019). *Ficha técnica R410A*. Obtenido de <https://www.gas-servei.com/images/Ficha-tecnica-R410A.pdf>
- GASSERVEI. (27 de Febrero de 2019). *Ficha técnica R600a (Isobutano)*. Obtenido de https://www.gas-servei.com/images/Ficha_tecnica_R600A.pdf
- Ghoubali, R., Byrne, P., y Bazantay, F. (2017). Refrigerant charge optimisation for propane heat pump water heaters. *International Journal of Refrigeration*(76), 230-244.
- Gorozabel, F., y Carbonell, T. (2016). Actualidad y perspectivas de una bomba de calor de expansión directa con energía solar. *Ingeniería Mecánica*, XIX(1), 49-58.
- Gorozabel, F., Chaturvedi, S., y Almogbel, A. (2005). Analysis of a direct expansion solar assisted heat pump using different refrigerants. *Energy Conversion y Management*(46), 2614 - 2624.
- Haceb. (25 de Agosto de 2019). *Calentadores de agua que funcionan con gas*. Obtenido de <http://www.haceb.com/LinkClick.aspx?fileticket=U0HWcE0xdEA%3dyportalid=0>
- Harby, K. (2017). Hydrocarbons and their mixtures as alternatives to environmental unfriendly halogenated refrigerants: An updated overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(73), 1247-1264.
- Homecenter. (14 de Marzo de 2019). *Calentador de paso eléctrico*. Obtenido de <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/137832/Calentador-de-paso-electrico-110v-5.5-kW/137832>
- Hossain, M., Saidur, R., Rahim, N., Islam, M., Ahamed, J., y Rahman, M. (2011). Review on solar water heater collector and thermal energy performance of circulating pipe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(15), 3801-3812.
- Huang, W., Ji, J., Xu, N., y Li, G. (2016). Frosting characteristics and heating performance of a direct-expansion solar-assisted heat pump for space heating under frosting conditions. *Applied Energy*(171), 656-666.
- International Energy Agency. (03 de Agosto de 2019). *World: Indicators*. Obtenido de <https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=WORLDyproduct=indicatorsyyear=2014>
- Jara, N., e Isaza, C. (2015). Análisis comparativo de sistemas de refrigeración doméstica utilizando refrigerantes R600a y R134a. *I+T+C Investigación, Tecnología y Ciencia*, 1-15.
- Junkers. (27 de Julio de 2019). *Bombas de calor de agua caliente sanitaria*. Obtenido de https://junkers-es.resource.bosch.com/media/documentacion/agua_caliente/folletos_comerciales/2017_1/ficha_supraeco_swo_swi_v1.pdf
- Kalogirou, S. (2014). *Solar energy engineering*. Burlington: Elsevier.
- Kannan, N., y Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(62), 1092-1105.
- Kasera, S., y Chandra, S. (2017). Performance of R407C as an alternate to R22: A review. *Energy Procedia*(109), 4-10.
- Kong, X., Li, Y., Lin, L., y Yang, Y. (2017). Modeling evaluation of a direct-expansion solar-assisted heat pump water heater using R410A. *International Journal of Refrigeration*(76), 136-146.
- Krockenberger, K., DeGrove, J., Hutzler, W., y Foreman, C. (2014). International High Performance Buildings. *Design of a Heat Pump Assisted Solar Thermal System*. Indiana.

- Kuang, Y., y Wang, R. (2006). Performance of a multi-functional direct-expansion solar assisted heat pump system. *Solar Energy*, 80, 795-803.
- Li, H. (2013). Study on Alternative Refrigerants for Direct Expansion Solar Assisted Heat Pump System. *Applied Mechanics and Materials*, 361, 267-270.
- Maamoun, N. (2019). The Kyoto protocol: Empirical evidence of a hidden success. *Journal of Environmental Economics and Management*, 95, 227-256.
- Malali, P., Chaturvedi, S., y Abdel-Salam, T. (2016). An approximate method for prediction of thermal performance of direct expansion-solar assisted heat pump (DX-SAHP) systems for water heating applications. *Energy Conversion and Management*(127), 416-423.
- Ministerio del Ambiente. (30 de Julio de 2019). *Protocolo de Kioto (pK)*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/458-plantilla-cambio-climatico-14>
- Miyamoto, M., y Takeuchi, K. (2019). Climate agreement and technology diffusion: Impact of the Kyoto Protocol on international patent applications for renewable energy technologies. *Energy Policy*, 129, 1331-1338.
- Mohamed, E., Riffat, S., y Omer, S. (2017). Low-temperature solar-plate-assisted heat pump: A developed design for domestic applications in cold climate. *International Journal of Refrigeration*(81), 134-150.
- Mohanraj, M., Belyayev, Y., Jayaraj, S., y Kaltayev, A. (2018). Research and developments on solar assisted compression heat pump systems – A comprehensive review (Part A: Modeling and modifications). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(83), 90-123.
- Moreno-Rodriguez, A., Garcia-Hernando, N., González-Gil, A., e Izquierdo, M. (2013). Experimental validation of a theoretical model for a direct-expansion solar-assisted heat pump applied to heating. *Energy*(60), 243-253.
- Nawas, K., Shen, B., Elatar, A., Baxter, V., y Abdelaziz, O. (2017). R290 (propane) and R600a (isobutane) as natural refrigerants for residential heat pump water heaters. *Applied Thermal Engineering*(127), 870-833.
- Nawaz, K., Shen, B., Elatar, A., Baxter, V., y Abdelaziz, O. (2017). R-1234yf and R-1234ze(E) as low-GWP refrigerants for residential heat pump water heaters. *International Journal of Refrigeration*.
- Pandey, K., y Chaurasiya, R. (2017). A review on analysis and development of solar flat plate collector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(67), 641-650.
- Ravi, P., Krishnaiah, A., Akella, S., y Azizuddin, M. (2015). Evaluation Of Inside Heat Transfer Coefficient of Roll Bond Evaporator for Room Air Conditioner. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, IV, 3378-3384.
- REFECOL. (06 de Junio de 2019). *Ficha técnica R22*. Recuperado el 20 de 11 de 2017, de <http://www.refecol.com.ec/wp-content/uploads/2014/06/FichaTecnica-R22.pdf>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 - 2017*. Quito.
- Sharma, A. (2017). An investigation on comparison of direct expansion solar assisted heat pump water heater with an air-source heat pump water heater. *International Journal of Latest Engineering and Management Research*, II(3), 44-50.
- Sheu, E., y Mitsos, A. (2013). Optimization of a hybrid solar-fossil fuel plant: Solar steam reforming of methane in a combined cycle. *Energy*, 51, 193-202.
- Shi, G.-H., Aye, L., Li, D., y Du, X.-J. (2019). Recent advances in direct expansion solar assisted heat pump systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 349-366.
- Sporn, P., y Ambrose, E. (1955). Proceedings of the world symposium on applied solar energy. *The heat pump and solar energy*. Phoenix.
- Sun, X., Wu, J., Dai, Y., y Wang, R. (2014). Experimental study on roll-bond collector/evaporator with optimized-channel used in direct expansion solar assisted heat pump water heating system. *Applied Thermal Engineering*(66), 571-579.

- Tagliafico, L., Scarpa, F., y Valsuani, F. (2014). Direct expansion solar assisted heat pumps e A clean steady state approach for overall performance analysis. *Applied Thermal Engineering*(66), 216-226.
- Vargas, J., Medina, J., Pozo, M., Avila, E., Pozo, N., y Salazar, G. (2019). Análisis del uso de micro convertidores DC/DC enfocados en la extracción máxima de energía en una granja fotovoltaica. *Enfoque UTE*, 10, 205-217.
- Velasco, L., Goyos, L., Delgado, R., y Freire, L. (2016). Instalación para medición de conductividad térmica en composites basados en residuos de biomasa. *Enfoque UTE*, 7, 69-81.
- Wang, R., y Ge, T. (2016). *Advances in solar heating and cooling*. Cambridge: Elsevier Ltd.
- Wu, D., Hu, B., y Wang, R. (2018). Performance simulation and exergy analysis of a hybrid source heat pump system with low GWP refrigerants. *Renewable Energy*(116), 775-785.
- Yousefi, M., y Moradali, M. (2015). Thermodynamic analysis of a direct expansion solar assisted heat pump water heater. *Journal of Energy in Southern Africa*, XXVI(2), 110-117.
- Zhang, D., Wu, Q., Li, J., y Kong, X. (2014). Effects of refrigerant charge and structural parameters on the performance of a direct-expansion solar-assisted heat pump system. *Applied Thermal Engineering*(73), 522-528.
- Zhou, X., y Feng, C. (2016). The impact of environmental regulation on fossil energy consumption in China: Direct and indirect effects. *Cleaner Production*.
- Zhu, M., Xie, H., Zhang, B., y Guan, X. (2013). The Characteristics of the Evaporator/Evaporator for Direct Expansion Solar Assisted Heat Pump System. *Journal of Power and Energy Engineering*(1), 73-76.

Diferenciación morfológica, fenológica y pomológica de cultivares comerciales de mora (*Rubus glaucus* Benth.)

(*Morphological, phenological and pomological differentiation of commercial cultivars of blackberry (Rubus glaucus Benth.)*)

Mónica Iza,¹ Pablo Viteri,² Milton Hinojosa,² Anibal Martínez,² Andrea Sotomayor,² William Viera²

Resumen

El género *Rubus* es uno de los más diversos en términos morfológicos y genéticos, presentando un amplio espectro de especies silvestres y cultivadas que son apetecidas por sus frutos comestibles. En Ecuador, el cultivo de mora (*R. glaucus* y *Rubus* sp.) está presente a lo largo del callejón interandino, entre 2000 y 3100 msnm. Este frutal es un rubro de importancia económica por su alta demanda para consumo en fresco y procesado. Esta investigación se ejecutó en la Granja Experimental Tumbaco del INIAP (Ecuador) con el objetivo de encontrar caracteres que permitan diferenciar morfológica, fenológica y pomológicamente cuatro cultivares de mora (Castilla, Andimora, Colombiana y Brazos). Mediante análisis multivariado se formaron tres conglomerados (C). Los cultivares Andimora y Colombiana (C3) no poseen espinas a diferencia de Castilla (C2) y Brazos (C1) que las tienen presentes. Colombiana fue el cultivar más precoz (161 días de brotación a cosecha) y Castilla el más tardío (186 días). Brazos presentó el mayor peso de fruto (5.85 g). Andimora alcanzó el mayor contenido de sólidos solubles (11.86 °Brix) y tuvo frutos firmes. Los caracteres diferenciadores observados en este estudio permiten establecer parámetros de distinción entre los cultivares que son actualmente cultivados en el Ecuador.

Palabras clave

Rubus; descriptores; morfológico; fenológico; pomológico.

Abstract

The genus Rubus is one of the most diverse in terms of morphology and genetics, presenting a wide spectrum of wild and cultivated species that are desired by their edible fruits. In Ecuador, the cultivation of blackberry (R. glaucus and Rubus sp.) is present along the Inter-Andean region, grown between 2000 and 3100 masl. This fruit crop is economically important for its high demand for fresh and processed consumption. This research was carried out in the Tumbaco Experimental Farm of INIAP (Ecuador) with the objective of finding characters that allow the morphological, phenological and pomological differentiation of four blackberry cultivars (Castilla, Andimora, Colombiana and Brazos). The multivariate analysis showed three conglomerates (C). Cultivars Andimora and Colombiana (C3) do not have spines unlike Castilla (C2) and Brazos (C1). Colombian was the earliest cultivar (161 days of sprouting to harvest) and Castilla the latest (186 days). Brazos cultivar showed the highest fruit weight (5.85 g). Andimora reached the highest content of soluble solids (11.86 °Brix) and had firm fruits. The differentiating characters observed in this study make possible to establish parameters of distinction between the cultivars that are currently cultivated in Ecuador.

Keywords

Rubus; descriptors; morphological; phenological; pomological.

1. Introducción

El género *Rubus* es uno de los más diversos en términos morfológicos y genéticos, presentando un amplio espectro de especies silvestres y cultivadas que son apetecidas por sus frutos co-

1 Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador {monicaiza.ec@hotmail.com}

2 Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Quito, Ecuador {pablo.viteri, milton.hinojosa, anibal.martinez, andrea.sotomayor, william.viera}@iniap.gob.ec

mestibles, siendo *Rubus glaucus* Benth la especie de *Rubus* que actualmente se cultiva comercialmente de manera masiva en Sudamérica (Cancino, Quevedo, Villamizar y Carvajal, 2015).

En el Ecuador, la mora de Castilla (*R. glaucus*) se cultiva en las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo, Pichincha, Imbabura y Carchi (SIGAGRO, 2010). Los rendimientos promedios anuales se han incrementado de 2.19 t ha⁻¹ en el año 2000 a 6.80 t ha⁻¹ en el 2016, siendo la fruta utilizada principalmente para consumo en fresco y agroindustria (Barrera et al., 2017). Los productores enfocados en sistemas de producción de fruta fresca están interesados en cultivares de mora que tengan amplia temporada de fructificación, alto rendimiento y frutas de calidad (Fernández, Strik, Zhao y Finn, 2015). Por otro lado, en este cultivo se han implementado componentes de manejo agronómico que han mejorado la productividad (Martínez et al., 2019), sin embargo, a pesar del gran potencial agrícola que la mora tiene en nuestro país, este cultivo no ha adquirido el grado de desarrollo deseado, debido a la falta de materiales promisorios que permitan reemplazar o complementar a los materiales cultivados tradicionalmente.

El avance en la calidad de la fruta, morfología de la planta (sin espinas), fructificación en la primocaña y el incremento de productividad han proporcionado el desarrollo de la agroindustria y expansión del cultivo de mora (Clark, 2016). Por lo tanto, el Programa Nacional de Fruticultura del INIAP inició en el año 2008 un plan de mejoramiento en mora, con el fin de rescatar la variabilidad genética del género *Rubus* y seleccionar nuevos materiales con características agronómicas y calidad deseables a mediano plazo (Garrido, 2009). Como resultado de estos trabajos se obtuvo la liberación de la variedad INIAP Andimora 2013, la cual presenta características de alta producción, calidad y ausencia de espinas, siendo una alternativa frente a los cultivares comerciales actuales (Martínez et al., 2013).

En el Ecuador se cultivan diferentes cultivares de mora como la de Castilla, Colombiana, Brazos y la variedad INIAP Andimora 2013 (Viteri et al., 2016), siendo su principal forma de propagación la asexual (Vásquez et al., 2019). Sin embargo, cada cultivar presenta características de morfología, rendimiento y calidad que las diferencia. La mora de Castilla produce buena cantidad de ramas vegetativas que requieren poda para incentivar la producción, presenta espinas que dificultan la manipulación, bajo rendimiento (2.65 kg planta⁻¹) y 9.84 °Brix, por lo general presenta amarillamientos continuos en las hojas (Almache, 2017).

La variedad Colombiana se caracteriza por tener menor vigor que las moras de Castilla y a diferencia de esta no posee espinas, presenta una mayor cantidad de ramas productivas, con alta producción de inflorescencias a lo largo de estas, es susceptible a las heladas por ello se debe conocer muy bien el microclima de la zona, alcanza altos rendimientos (6 kg planta⁻¹) y 7.43 °Brix es susceptible a hongo oídium (Almache, 2017; Grijalba y Pérez (2010).

El híbrido Brazos (*Rubus* spp.) es originario de Texas y fue liberado en 1959, la planta es erecta, muy vigorosa y posee grandes espinas en el tallo, produce rendimientos de 3 kg planta⁻¹, presenta alta calidad con racimos grandes, con frutas dulces superiores a 10 °Brix y jugosas, se desarrolla más en el sur de América debido a su resistencia a enfermedades (Torgrimson et al., 2009).

Andimora, proviene de una mutación de semilla sexual de mora de Castilla con espinas, planta de origen andino, nativa de climas fríos y moderados de los Andes ecuatorianos, tiene como característica relevante no tener espinas, lo cual, facilita su manejo, pues se puede manipular la planta con las manos sin protección, sin dañar el fruto al momento de la cosecha, experimentalmente se han obtenido rendimientos promedio de 7.2 kg planta⁻¹, tiene buena concentración de azúcares de 12.6 °Brix y buen comportamiento poscosecha (Martínez et al., 2013).

En Colombia se han realizado amplios trabajos de caracterización en mora, evaluándose en uno de ellos 36 materiales de tres especies, encontrándose varios descriptores cualitativos y cuantitativos discriminantes que han permitido diferenciar a los materiales (Zamorano et al., 2007).

Esta investigación planteó realizar la diferenciación de cuatro cultivares de mora (Castilla, Colombiana, Brazos y Andimora), utilizando descriptores morfológicos, fenológicos y de calidad del fruto, con la finalidad de identificar similitudes y diferencias entre estos materiales de mora.

2. Metodología

El experimento se llevó a cabo en la provincia de Pichincha, cantón Quito en la Granja Experimental Tumbaco del INIAP, con una ubicación geográfica de latitud: 00° 13' 00" sur y longitud: 78° 24' 00" oeste, temperatura promedio anual de 17 °C, precipitación promedio anual de 800 mm, humedad relativa promedio de 70.86 % y altitud de 2.348 msnm.

Se evaluaron 4 cultivares de mora: Castilla, Andimora, Colombiana y Brazos (figura 1) con la finalidad de determinar los descriptores en la planta y fruta (INIAP, 2017). Las plantas fueron reproducidas clonalmente por medio de acodos. Las plantas estuvieron sembradas a una distancia de 2.00 m x 2.50 m, ocupando un área de 75.00 m² por cultivar con un área neta de 300 m² y total de 450 m², se utilizó un sistema de conducción de doble hilera con tres líneas de alambre galvanizado colocado cada 50 cm de altura.

Figura 1. Cultivares de mora utilizados en el ensayo



Para la definición de los descriptores se emplearon los recomendados por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV), adaptado a las condiciones nacionales Ecuador (INIAP, 2017), los descriptores morfológicos fueron: hábito de crecimiento, longitud, diámetro, sección transversal y pigmentación antocianica de tallo; espinas y tamaño

en ramas vegetativas y productivas; ápice y tipo de la hoja, número predominante de folíolos; forma, diámetro y color del pétalo; color, número, forma, peso, longitud y diámetro del fruto. Los descriptores fenológicos fueron analizados de acuerdo con los días de duración entre las siguientes fases secuenciales: brotación (brotes productivos iniciales de 5 cm hasta inicio de botón floral), floración (botón floral a plena floración), fructificación (plena floración hasta amarre de frutos), maduración (amarre de frutos a cambio de color del fruto) cosecha (cambio de color del fruto a cosecha) y la duración total del ciclo desde brotación a cosecha. Los descriptores de calidad fueron: firmeza, sólidos solubles, potencial hidrógeno (pH) y acidez titulable. Los parámetros evaluados (INIAP, 2017) fueron medidos en plantas de un año de edad en etapa productiva. Para registrar los parámetros en fruta, se utilizó un índice de madurez en grado 5.

Para el riego, con la ayuda de un tanque MC, el coeficiente de cultivo y la eficiencia de riego se calcularon las láminas de riego semanal.

Los controles fitosanitarios se realizaron de acuerdo a las condiciones climáticas o cuando se presentó un nivel de incidencia próximo al umbral económico de la plaga.

En fertilización, de acuerdo a un análisis de suelo previo y según los requerimientos del cultivo se realizó un fraccionamiento de la fertilización edáfica en al menos cuatro aplicaciones, y se complementó con aplicaciones foliares.

Se empleó un sistema de conducción en T con postes intermedios en las filas cada 3 m, en cada poste se colocaron 3 tiras de madera horizontales de 1.5 m, ubicadas a 50, 120 y 180 cm, por cuyos extremos pasó el alambre que guio y sostuvo las plantas durante su crecimiento.

El control de malezas se realizó en forma manual en la banda de las plantas cada 21 días. En los caminos se mantuvo el pasto natural, empleando la cortadora para su mantenimiento.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 10 repeticiones. Cada repetición estuvo constituida por 15 plantas de mora. Se realizó un análisis de varianza para las variables fenológicas y de calidad de fruta, y se empleó la prueba de Tukey al 5 % para determinar diferencias entre medias, con los datos morfológicos se realizó un Análisis de Conglomerados en forma de dendograma (Cancino, Sánchez, Quevedo, Díaz, 2011) utilizando el programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2016).

3. Resultados y discusión

3.1 Descriptores morfológicos

En la tabla 1, se presentan los promedios ($p < 0.05$) de los descriptores cualitativos y cuantitativos morfológicos utilizados para diferenciar a los cuatro cultivares de mora.

Tabla 1. Valores promedios de los descriptores cualitativos y cuantitativos usados para la formación de conglomerados

Descriptor	Castilla	Andimora	Colombiana	Brazos
Longitud de tallo (m)	3.22 a	3.38 a	2.18 b	1.66 c
Diámetro de tallo (mm)	8.50 a	8.33 a	7.47 b	6.17 c
Número de espinas en ramas productivas	111.00 b	0.00 c	0.00 c	383.40 a
Número de espinas en ramas vegetativas	823.10 a	0.00 c	0.00 c	357.30 b
Tamaño de espinas en rama productivas (mm)	3.40 b	0.00 c	0.00 c	8.29 a

Tamaño de espinas en rama vegetativas (mm)	4.74 b	0.00 c	0.00 c	9.25 a
Diámetro de pétalos (mm)	5.27 b	5.32 b	4.81 b	22.78 a
Longitud de fruto (mm)	22.54 b	26.58 a	22.34 b	25.31 a
Diámetro de fruto (mm)	20.15 b	20.55 ab	19.61 b	22.03 a
Peso por fruto (g)	4.50 b	4.52 b	3.96 c	5.85 a
Numero de foliolos	3.00 b	3.00 b	3.00 b	5.00 a
Espina en rama productiva	Ausente	Presente	Presente	Ausente
Espina en rama vegetativa	Ausente	Presente	Presente	Ausente
Pigmentación antociánica	Fuerte	Media	Media	Débil
Sección transversal	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Acanalado
Tipo de hoja	Trifoliada	Trifoliada	Trifoliada	Palmada
Ápice de la hoja	Acuminado	Acuminado	Acuminado	Redondeado
Forma del pétalo	Lanceolado	Lanceolado	Lanceolado	Redondeado
Forma del fruto	Oval estrecha	Cónica alargada	Oval estrecha	Oblonga
Color del fruto	Rojo	Rojo	Rojo	Púrpura rojizo

La mora de Castilla se caracterizó por presentar ramas vegetativas de 3.22 m de diámetro; 823 espinas y pigmentación antociánica fuerte; diámetro de pétalo de 5.27 mm; respecto del fruto obtuvo un diámetro 20.15 mm; que según la Norma Ecuatoriana NTE INEN 2427, es un fruto de calibre medio, longitud de 22.54 mm; y un peso de 4.5 g, valores inferiores a los reportados por Iza et al. (2016) en frutos cosechados en la provincia de Carchi y por Horvitz, Chanaguano y Arozarena (2017) en fruta proveniente de Tungurahua. Además, existen reportes de peso de fruto de hasta 7.5 g en el Municipio de Ibagué en Colombia (Ayala, Valenzuela y Bohórquez, 2013).

INIAP Andimora y Colombiana se caracterizaron por tener la sección transversal de tallo en forma cilíndrica; tipo de hoja trifoliada, ápice acuminado, forma de la flor lanceolada; forma del fruto cónica alargada y color purpura rojizo. Ambos materiales no presentaron espinas; característica muy apreciable y que junto con el rendimiento son los caracteres de mayor importancia comercial (Del Pino, 2014), Además, la variedad INIAP Andimora presentó una longitud de 3.38 m y 8.33 mm de diámetro de tallo; diámetro de flor de 5.35 mm; longitud de fruto de 26.58 mm y diámetro medio de 20.55 mm. Por otro lado, Colombiana presentó un diámetro de pétalos de 4.81 mm; diámetro de fruto de 19.61 mm, considerado según el INEN de calibre pequeño, y peso de fruto: 3.96 g, este último valor es similar al reportado por Grijalba y Pérez (2010) en frutos de segunda categoría.

El material Brazos presentó las siguientes características más representativas: sección transversal del tallo acanalada; tipo de hoja palmada; ápice de la hoja redondeado; cinco foliolos; forma de la flor redondeado; forma del fruto oblonga; color del fruto negro rojizo; tamaño de espinas de 9.3 mm; diámetro de flor de 22:8 mm; diámetro medio del fruto de 22.03 mm y peso de fruto de 5.9 g, siendo el mayor, dentro de los materiales evaluados.

3.2. Descriptores fenológicos

Se presentan los promedios ($p < 0.05$) de la duración en días de seis etapas fenológicas para los cultivares evaluados (tabla 2). El promedio de días desde que inició la brotación de la rama productiva hasta la cosecha de frutos presentó diferencias estadísticas entre los cultivares, observándose que el material más precoz fue Colombiana (161 días); mientras que el más tardío

fue Castilla (186 días), encontrándose una diferencia acumulada de 25 días. Los resultados de esta investigación, fueron cercanos a los reportados por Mejía (2011), que en condiciones ambientales similares obtuvo un promedio de 175 días desde brotación a cosecha en accesiones de la especie *R. glaucus*.

Tabla 2. Promedio en días de la duración entre seis etapas fenológicas desde brotación de la rama productiva hasta la cosecha de los diferentes cultivares de mora

Etapas fenológicas	Castilla	Andimora	Colombiana	Brazos
Días brotación-botón floral	97 c	83 b	77 a	81 b
Días botón floral-plena flor	28 a	27 a	29 a	28 a
Días plena floración-fructificación o amarre de frutos	17 a	18 a	17 a	18 a
Días amarre de frutos- cambio de color frutos	25 b	24 b	21 a	21 a
Días cambio de color-cosecha	19 a	19 a	17 a	16 a
Días brotación-cosecha	186 c	171 b	161 a	164 ab

Por otro lado, el tiempo que transcurrió desde el trasplante hasta la cosecha en los distintos cultivares, considerando la suma de los días transcurridos desde el trasplante al inicio de brotación de la rama productiva nueva y desde esta a la cosecha fue: Colombiana 305 días (144+161); Andimora 312 días (141+171); Brazos 329 días (165+164); y Castilla 334 días (148+186), información que avala la importancia de la caracterización de los recursos fitogenéticos para establecer planes de conservación y mejoramiento (Dotor et al., 2016).

3.3. Descriptores de calidad de fruta

La calidad de los productos hortofrutícolas es una combinación de características, atributos y propiedades que le dan al producto su valor como alimento (Flores, 2009). En la tabla 3, se presentan los resultados de las variables fisicoquímicas de los cultivares evaluados.

Tabla 3. Valores promedios de los descriptores de calidad de fruta de los distintos cultivares de mora

Descriptor	Castilla	Andimora	Colombiana	Brazos
Firmeza (N)	1.96 b	2.32 a	2.41 a	1.91 b
Sólidos solubles (°Brix)	9.47 b	11.86 a	10.09 b	10.88 ab
pH	3.72 a	3.73 a	3.81 a	3.64 a
Acidez titulable (%)	2.36 a	2.25 ab	2.03 b	1.44 c

Firmeza (N): Desarrollar variedades de mora con alta firmeza es una prioridad para los programas de mejoramiento en el mundo entero (Salgado y Clarck, 2016). El mayor valor promedio de firmeza se observó en el cultivar Colombiana (2,41 N), seguido por la variedad INIAP Andimora 2013 (2,32 N) (tabla 3), lo que indicaría que estos dos materiales son los mejores para evitar pérdidas por aplastamiento en el transporte de la fruta. Estos resultados son coincidentes con los reportados por Cancino et al. (2011) quien encontró valores entre 2.5 y 2.25 N para la especie *R. glaucus* cultivada en Colombia. Por el contrario, los valores alcanzados por el cultivar Castilla (1.96) (tabla 3), son inferiores a los reportados por Horvitz et al. (2017) en frutos del cultivar Castilla cosechados en Tungurahua (Ecuador) con valores promedio de 3.3 N, y los

obtenidos por Rincón et al. (2015) quienes reportaron valores de firmeza altos (8.68 N) con este cultivar en el Municipio de Gachantivá (Colombia).

Por otro lado, el cultivar Brazos presentó el menor valor (1.91 N) (tabla 3), valor que se encuentra dentro del rango (entre 2.45 y 1.86 N) reportado para este cultivar en Colombia (Cancino et al., 2011). Los valores de firmeza de los 4 cultivares evaluados en Tumbaco (Ecuador) fueron superiores a los reportados por Carvalho y Betancur (2015) en los cultivares Pantanillo y Guapante (ambos pertenecientes a la especie *R. glaucus*) cultivados en Antioquia (Colombia), los cuales alcanzaron valores entre 0.1 y 0.3 N.

Sólidos solubles (°Brix): la variedad INIAP Andimora 2013 obtuvo el valor promedio más alto (11.86 °Brix), mientras que, el cultivar Castilla presentó el valor más bajo (9.47 °Brix) (tabla 3); sin embargo, este valor es superior al reportado por Iza et al. (2016) con 8.39 °Brix en Carchi (Ecuador), similar al encontrado por Rincón et al. (2015) en Gachantivá (Colombia), pero inferior al reportado por Horvitz et al. (2017) quienes obtuvieron 11.0 °Brix en frutos provenientes de Tungurahua (Ecuador).

El cultivar Colombiana obtuvo un valor de 10.09 °Brix (tabla 3), el cual es superior al reportado por Grijalba y Pérez (2010) en Colombia con 7.43 °Brix para este cultivar sin espinas. El cultivar Brazos obtuvo 10.88 °Brix (tabla 3), valor similar al encontrado en especies silvestres (*Rubus* sp.) en Brasil, donde Tosun et al. (2008) reportaron valores entre 7.39 y 11,11 °Brix. Los valores obtenidos en este estudio se ajustan a la norma técnica ecuatoriana NTE INEN-ISO 2173 (INEN, 2013) que exige un mínimo de 9 °Brix para considerar un fruto de calidad en el mercado. Este parámetro es de importancia debido a que la agroindustria fija el precio de la fruta con base en el contenido de sólidos solubles.

Potencial hidrógeno (pH): los valores de pH promedio no presentaron diferencias estadísticas entre los cultivares (tabla 3). El cultivar Colombiana obtuvo el mayor (3.81); mientras que el cultivar Brazos presentó el menor valor (3.64). Por otro lado, el valor obtenido por el cultivar Castilla (3.72) fue superior al reportado por Iza et al. (2016) en frutos cosechados en Carchi (Ecuador) con un valor de 2.77 y al obtenido por Ayala et al. (2013) en Ibaguéz (Colombia) con 2.66.

Acidez titulable (%): el cultivar con el valor promedio más alto fue Castilla (2.36 %) (tabla 3), valor que es adecuado de acuerdo al rango (2.3 % a 2.9 %) que es solicitado por la agroindustria. Además, el resultado obtenido en este estudio fue ligeramente menor al reportado por Iza et al. (2016) en frutos cosechados en Carchi (Ecuador) con un valor de 2.47 %; y menor al encontrado por Rincón et al. (2015) y Vergara et al. (2016) en frutos obtenidos en Gachantivá y Cundinamarca (Colombia) y por Horvitz et al. (2017) en frutos de Tungurahua, todos con 2.8 %. Por otro lado, estos resultados fueron similares a los reportados por Chalampunte (2016) para materiales de las especies *R. glaucus* (2,47 a 2.57 %).

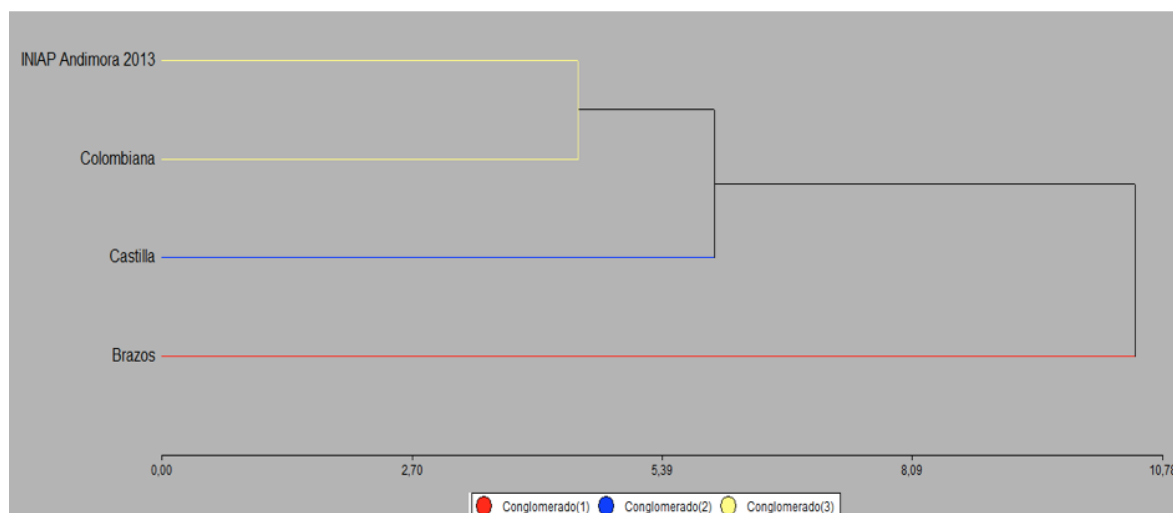
El cultivar Brazos presentó el valor más bajo (1.44 %) (tabla 3), valor ligeramente menor al reportado por Farinango (2010) para *Rubus* sp. (1.61 %).

3.4. Análisis de conglomerados

Con los valores de las variables cuantitativas y cualitativas, se efectuó un análisis multivariado de conglomerados con el objetivo de agrupar los cultivares y representarlas en un dendograma. El dendograma (Figura 2) mostró la formación de tres conglomerados, donde su agrupamiento se debe a la variabilidad de las plantas (Cancino et al., 2011). En base al coeficiente de Ward (0,975), se observó dos macrogrupos a partir de los cuales se formaron los tres conglomerados:

conglomerado 1 correspondió al cultivar Brazos, el conglomerado 2 Castilla, y el conglomerado 3 Colombiana e INIAP Andimora 2013.

Figura 2. Dendograma de la formación de conglomerados de variables cualitativas y cuantitativas de cuatro cultivares de mora



En el conglomerado 1 se ubicó solamente el cultivar Brazos que mantiene las características rústicas propias de la especie *Rubus sp.*, y se caracteriza por presentar espinas, flores y frutos grandes (Correa y Bassols, 2006), tipo de hoja palmeada con 5 folíolos, sección transversal del tallo acanalada, ápice de hoja redondeado, forma flor redondeada, color de los frutos púrpura rojizos. El cultivar Brazos es una especie más rústica y con espinas prominentes, estas se forman como un mecanismo de defensa y adaptación (Strik et al., 2007).

El macrogrupo (Castilla, Colombiana e INIAP Andimora 2013 se caracterizó por presentar lo siguiente: sección transversal del tallo cilíndrica, tipo hoja trifoliada, ápice hoja acuminado, forma flor lanceolada, color del fruto rojizo.

El conglomerado 2 (Castilla) se caracterizó por presentar mayor número de espinas en ramas vegetativas (823), pigmentación antocianica fuerte, mientras que el conglomerado 3 (INIAP Andimora 2013 y Colombiana) se caracterizó por la ausencia de espinas, número de frutos (693) y peso (3087.47 g). Cuando una especie presenta una distribución geográfica amplia se espera que las poblaciones más cercanas geográficamente, también sean las más cercanas genéticamente (Garrido, 2009). La presencia de espinas es un parámetro que se toma como carácter esencial discriminante para distinguir las subfamilias de la familiar Rosaceae (Mejía, 2011).

En resumen, el conglomerado 1 agrupó los cultivares sin espinas de *R. glaucus*, en el conglomerado 2 se ubicó el cultivar con espinas de la especie *R. glaucus*; siendo estos cultivares domesticados; mientras que en el conglomerado 3 se encontró el material con espinas de *Rubus spp* que es material más rústico.

Las diferencias entre los cultivares del conglomerado 3, sin espinas, son: el mayor vigor de planta, la forma del fruto cónica alargada, mayor tamaño del fruto y sólidos solubles de Andimora frente al cultivar Colombiana.

Es importante mencionar que las diferencias entre los caracteres o variables son propias del género y de las especies constituyentes de *Rubus*, las cuales presentan gran variabilidad

morfológica y genética, encontrándose en diferentes formas diploides hasta dodecaploides y con alto nivel de heterocigosis (Marulanda et al., 2012). Aunque la temperatura y la altitud no inciden en los caracteres morfológicos, sí influyen en las diferentes fases fenológicas.

4. Conclusiones y recomendaciones

Se distinguen tres conglomerados formados por Brazos (C1), Castilla (C2) y Andimora y Colombiana (C3), siendo las variables longitud, diámetro, pigmentación antocianica y sección transversal en tallo; presencia y tamaño de espinas; ápice, número predominante de folíolos y tipo de hoja; forma, diámetro y color del pétalo; longitud, diámetro, número de drupas, forma en sección longitudinal y peso del fruto, las más discriminantes, mientras que el hábito de crecimiento y color del pétalo fueron iguales para todos los conglomerados.

Los cultivares Andimora y Colombiana presentaron las mejores características morfológicas (ausencia de espinas) que facilita el proceso de cosecha al evitar daños a los recolectores y disminuir el tiempo de cosecha; fenológicas (materiales precoces) y de calidad (frutos más firmes y con mejor cantidad de sólidos solubles), caracteres apreciados por el productor ya que recupera la inversión en menor tiempo, reduce las pérdidas durante la comercialización de la fruta y tiene mayor aceptación por el consumidor y la agroindustria.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) por el financiamiento de esta investigación. Este artículo forma parte II Simposio de Producción Integrada de Frutas 2019.

Referencias

- Almache, N. (2017). Caracterización morfológica y físico-química de frutos de 7 ecotipos de mora (*Rubus glaucus* Benth.), bajo dos densidades de siembra en Tumbaco. (Tesis de pregrado Ing. Agrónomo). Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Ayala, L., Valenzuela, C., Bohórquez, Y. (2013). Caracterización fisicoquímica de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) en seis estados de madurez. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11 (2): 10-18.
- Barrera, V. y otros. (2017). *La cadena de valor de la mora y sus impactos en la Región Andina del Ecuador*. INIAP. Boletín Técnico n.º 171. Quito, Ecuador: ARCOIRIS Producciones Gráficas.
- Cancino, G. O., Sanchez, L. R., Quevedo, E. y Díaz, C. (2011). Caracterización fenotípica de accesiones de especies de *Rubus* L. los municipios de Pamplona y Chitagá, región Nororiental de Colombia. *Universitas Scientiarum*, 16 (3): 219-233.
- Cancino G., Quevedo, E., Villamizar, C. y Carvajal, C. (2015). Propagación *in vitro* de materiales seleccionados de *Rubus glaucus* Benth (mora de Castilla) en la provincia de Pamplona, región nororiental de Colombia. *Revista Colombiana de Bioteología*, 17 (2): 7-15. doi: 10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.54262
- Carvalho, C., Betancur, J. (2015). Quality characterization of Andean blackberry fruits (*Rubus glaucus* Benth.) in different maturity stages in Antioquia, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 33 (1): 74-83.
- Chalampunte, D. (2016). Caracterización agronómica y pomológica de tres clones experimentales de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) determinadas en Juan Montalvo, Cayambe, Pichincha. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

- Clark, J. 2016. Breeding southern US blackberries, idea to industry. *Acta Horticulturae*, 1133 (1): 3-12.
- Correa, L.E., Bassols, M. (2006). II Simpósio Nacional do morango II Encontro sobre pequenas frutas e frutas nativas do Mercosul-Palestras. En *Variedades de especies de frutos pequeños apropiadas para climas subtropicales: la experiencia de Mexico*. México.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., y Robledo, C. 2016. *InfoStat versión 2016, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*. Recuperado el 2016, de HYPERLINK "http://www.infostat.com.ar" http://www.infostat.com.ar
- Dotor, M., González, L. Castro, M., Morillo, A. y Morillo, Y. (2016). Análisis de la diversidad genética de la mora (*Rubus* spp.) en el Departamento de Boyacá. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14 (2): 10-17.
- Farinango, M.E. (2010). *Estudio de la fisiología postcosecha de la mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) y de la mora variedad Brazos (*Rubus* sp.)*. Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Fernández, J., Strik, B., Zhao, Y. y Finn, C. (2015). Trailing Blackberry Genotypes Differ in Yield and Postharvest Fruit Quality during Establishment in an Organic Production System. *HortScience*, 50 (2): 240-246.
- Garrido, P. (2009). *Evaluación de la diversidad genética de la mora cultivada (*Rubus Glaucus* Benth) y especies emparentadas en Zonas productivas del Ecuador mediante marcadores moleculares RAPDs ISSRs y ALFPs*. (Tesis de pregrado, Ingeniería Biotecnología). Escuela Politecnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
- Grijalba, M. y Pérez, M. (2010). Rendimiento y calidad de la fruta en mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth), con y sin espinas, cultivada en campo abierto en Cajicá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 6 (1): 24-41.
- Horvitz, S., Chanaguano, D. y Arozarena, I. (2017). Andean blackberries (*Rubus glaucus* Benth) quality as affected by harvest maturity and storage conditions. *Scientia Horticulturae*, 226(1): 293-301.
- INEN. (2013). NTE INEN-ISO 2173:2013. Productos vegetales y de frutas –determinación de sólidos solubles - Método refractométrico (IDT). Quito - Ecuador.
- INIAP. (2017). Directriz Nacional para la ejecución del examen de la distinción, homogeneidad y estabilidad: Descripción de cultivares de mora (*Rubus* sp.). p. 32.
- Iza, F., Rojas, X. y Arguello, Y. (2016). Línea base de la calidad de la mora de castilla (*Rubus glaucus*) en su cadena alimentaria. *Enfoque UTE*, 7 (3): 82-94.
- Martínez, A., Vásquez, W., Viteri, P., Jácome, R. y Ayala, G. (2013). Ficha técnica de la variedad de mora sin espinas (*Rubus glaucus* Benth) INIAP Andimora 2013. Recuperado de http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4768/1/iniapsc_359.pdf
- Martínez, A., Villacís, L., Viera, E., Jácome, R., Espín, M., León, O. y Santana, R. (2019). Evaluación de nuevas tecnologías de producción limpia de la mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth), en la zona Andina de Ecuador, para un buen vivir de los fruticultores. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 7(1): 63-70.
- Marulanda, M., Lopez, A. y Uribe, M. (2012). Genetic Diversity and Transferability of *Rubus* Microsatellite Markers to South American. En Mahmut Caliskan (Ed.), *The Molecular Basis of Plant Genetic Diversity*.
- Mejía, P.R. (2011). *Caracterización morfoagronómica de genotipos de mora (*Rubus glaucus* Benth) en la Granja Experimental Tumbaco-INIAP*. (Tesis de pregrado, Ing. Agropecuaria). Escuela Politecnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
- Moreno, B. L. y Deaquiz Oyola, Y.A. (2016). Caracterización de parámetros fisicoquímicos en frutos de mora (*Rubus alpinus* Macfad). *Acta Agronómica*, 65 (2):130-136. doi: 10.15446/acag.v65n2.45587.
- Rincón, C., Moreno, B. y Deaquiz, Y. (2015). Parámetros poscosecha en dos materiales de mora (*Rubus glaucus* Benth y *Rubus alpinus* Macfad). *Cultura Científica*, 13 (1): 16-25.
- Salgado, A., y Clarck, J., 2016. "Crispy" Blackberry Genotypes: A Breeding Innovation of the University of Arkansas Blackberry Breeding Program. *HortScience*, 51 (5): 468-471. doi: 10.21273/HORTSCI.51.5.468.

- SIGAGRO, 2010. *Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria, MAGAP*. Recuperado de www.sigagro.flunal.com/index
- Strik, B., Clark, J., Finn, C. y Bañados, P. (2007). Worldwide blackberry production. *HortTechnology*, 17 (2): 205-213.
- Tosun, I., Ustun, M. y Tegkuler, B. (2008). Physical and chemical changes during ripening of blackberry fruits. *Scientia Agricola*, 65 (1): 87-90. doi: 10.1590/S010390162008000100012.
- Torgimson, J., Thuenta, J. y Whealy, K. 2009. *Fruit, berry and Nut Inventory, 4.ª ed. An Inventory of Nursery Catalogs and Websites Listing Fruit, Berry and Nut Varieties by Mail Order in the United States*. New York: Seed Savers Exchange.
- Vergara, M., Vargas, J., Acuña, J. (2016). Physicochemical characteristics of blackberry (*Rubus glaucus* Benth.) fruits from four production zones of Cundinamarca, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 34 (3): 336-345.
- Vásquez, W., Pupiales, P., Viteri, P., Sotomayor, A., Feican, C., Campaña, D. y Viera, W. (2019). Escarificación química y aplicación de ácido giberélico para la germinación de semillas de cultivares de mora (*Rubus glaucus* Benth). *Interciencia*, 44 (3): 159-164.
- Viteri, P., Vásquez, W., Martínez, A., Viera, V., Sotomayor, A., Mejía, P. y Brito, B. (2016). Características generales de la planta, variedades cultivadas y clones promisorios de mora. En D. Galarza, S. Garcés, J. Velásquez, V. Sánchez, J. Zambrano (Eds.). *El cultivo de la mora en el Ecuador*, 39-57. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)-Programa Nacional de Fruticultura.
- Zamorano, A., Cruz, A., Morillo, Y., Vásquez, H. y Muñoz, J. (2011). *Caracterización morfológica de mora en los departamentos de Valle del Cauca, Cauca y Nariño*. *Acta Agron.* 56 (2): 51-60.

***In situ* morphological characterization of soursop (*Annona muricata* L.) plants in Manabí, Ecuador**

(Caracterización morfológica in situ de plantas de guanábana (Annona muricata L.) en Manabí, Ecuador)

Moreira-Macías Ricardo,¹ Rodríguez Héctor,² Héctor-Ardisana Eduardo,³ Feicán-Mejía Carlos,¹
Mestanza Velasco Saúl Anibal,¹ Viera Arroyo William¹

Abstract

Soursop (*Annona muricata* L.) germplasm, from the central region of the Ecuadorian littoral, has diverse phenotypic characteristics, which have been little studied. The main objective of this research was to characterize *in situ* the morphological variability of 60 accessions of soursop. The morphological traits were evaluated using 20 quantitative and 10 qualitative variables of the plant and the fruit. Multivariate statistical methods were used as principal components, hierarchical conglomerate aggregation, discriminant and correlation analysis (Pearson) were performed. Descriptive analysis such as central tendency and dispersion (coefficient of variation, range, mean and standard deviation) were determined for the quantitative data; while frequencies were calculated for qualitative data. In terms of morphological traits, 74 % of the total variability was explained by the fourth component. Three conglomerates of similarity were formed, in which the height, diameter of canopy and fruit number per tree, were the characters of greater contribution for its conformation

Keywords

Descriptor, variability, phenotypic, *Annonaceae*.

Resumen

El germoplasma de guanábana (*Annona muricata* L.) de la región central del litoral ecuatoriano tiene diversas características fenotípicas, que han sido poco estudiadas. El objetivo principal de esta investigación fue caracterizar *in situ* la variabilidad morfológica de 60 plantas de guanábana. Los rasgos morfológicos se evaluaron utilizando 20 variables cuantitativas y 10 cualitativas de la planta y el fruto. Para ello, se utilizaron métodos estadísticos multivariados como componentes principales, se realizó agregación jerárquica de conglomerados, análisis discriminante y de correlación (Pearson). Se determinaron análisis descriptivos tales como tendencia central y dispersión (coeficiente de variación, rango, media y desviación estándar) para los datos cuantitativos; mientras que las frecuencias se calcularon para datos cualitativos. En términos de rasgos morfológicos, el cuarto componente explica el 74 % de la variabilidad total. Se formaron tres conglomerados de similitud, en los que la altura, el diámetro del dosel y el número de frutos por árbol, fueron los caracteres de mayor contribución para su conformación.

Palabras clave

Descriptor, variabilidad, fenotípico, *Annonaceae*.

Introduction

Soursop (*Annona muricata* L.), also called "guanábana" in some countries of South America, is a species of the Annonaceae family. Its center of geographic diversity is in the north of South America and it is distributed in different tropical regions of the world (Love and Paull, 2011). This fruit is highly appreciated due its excellent flavor and nutraceutical properties. In addition, some therapeutic effects

1 Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Programa de Fruticultura (INIAP), Ecuador (Ricardo.moreira@iniap.gob.ec, Carlos.feican@iniap.gob.ec, Saul.mestanzav@iniap.gob.ec, william.viera@iniap.gob.ec)
2 Universidad Agraria de La Habana, Cuba. Facultad de Agronomía, San José de las Lajas, Mayabeque (Rodriguez.morell66@gmail.com)
3 Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Facultad de Agronomía. Lodana, Santa Ana (ehectorardisana@gmail.com)

are related to fight against cancer cells (Zorofchian et al., 2015; Jemimah et al., 2016). For that reasons, the markets of the USA, Europe and Asia demand this appetizing fruit (Pro Ecuador, 2014).

In Ecuador, soursop cultivation is a growing business and offers great opportunities due to there is big demand and fruit obtain high prices (Moreira and Héctor, 2014). Currently an area of 800 ha is estimated for this crop, although official data are not available. (Personal information obtained from the Fruticulture Program of INIAP, Litoral Sur Experimental Station.

Morphological characterization of the genetic resources of several species of *Annonaceae* has been of transcendental importance to register particular traits and to differentiate their taxonomic, phenotypic and genetic through qualitative and quantitative attributes that are highly heritable and observable, as well as expressible in most of the environments (Suratman, and Mulyani, 2015). The systematic characterization has allowed to reveal the variation within the collections and select the most elite genotypes for their cultivation.

Fruit physico-chemical characteristics (size, shape, types of emergencies, concentration of total soluble solids, acidity and others) have been investigated in the central littoral of Ecuador (Moreira et al., 2016), however the phenotypic features of the plant are not have been studied, Therefore, the principal goal of this study was to determine the morpho-agronomic characteristics of a soursop population, established wildly in the province of Manabí, Ecuador.

Materials and Methods

Germplasm location

The research was carried out in an area of 1273.45 km² distributed between the cantons Jipijapa, Paján, 24 de Mayo and Olmedo in the south of Manabí, Ecuador. This zone has a dry tropical climate with an average temperature of 25.85 °C, 81.45 % of relative humidity and 1484 mm of annual accumulated precipitation (INAMHI, 2014). For this study, 60 soursop trees (accessions) in productive stage were chosen (Table 1).

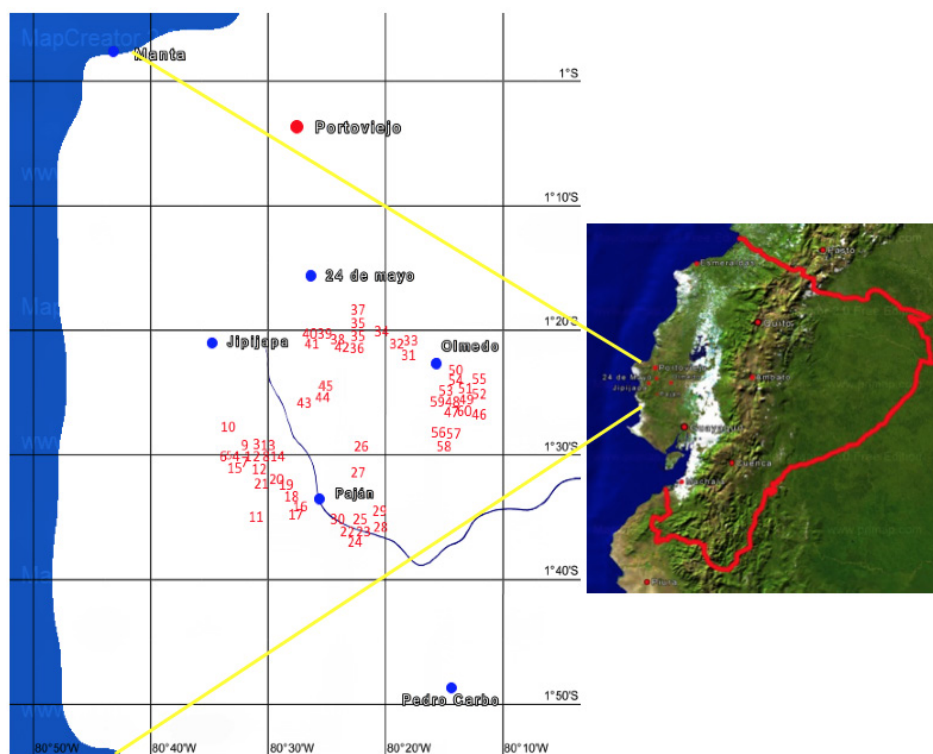
Prior to the morphoagronomic characterization of the accessions, the location and distribution of the accessions in the study area was determined, through the Global Positioning System (GPS), with a Garmin® GPS 12 model. Latitude, longitude and altitude above sea level were determined. Subsequently, with the database obtained, the geographical distribution of the accessions on a satellite map was graphed with the use of MAPCREATOR v.19 software, in order to register and visualize its geospatial distribution (Table.1).

Table 1. Population of soursop selected from southern of Manabí, Ecuador

Individuals	Location		Cordinates		Elevation (m.a.s.l)
	Site	Cantons	Latitude	Longitude	
G-1	El Salitre	Jipijapa	01° 29.942'	80°31.437'	437
G-2	El Salitre	Jipijapa	01° 29.943'	80° 31.458'	424
G-3	El Corozo	Jipijapa	01° 30.020'	80°31.412'	402
G-4	Los Vergeles	Jipijapa	01° 29.838'	80° 32.450'	419
G-5	Los Vergeles	Jipijapa	01° 29.830'	80° 32.451'	407
G-6	EL Corozo	Jipijapa	01° 30.021''	80° 33.510	365
G-7	El Corozo	Jipijapa	01° 29.660'	80° 31.590'	565
G-8	El Corozo	Jipijapa	01° 29.644''	80° 31.571	509
G-9	Los Vergeles	Jipijapa	01° 30.004'	80° 32.010'	441

G-10	El Anegado	Jipijapa	01° 27.382'	80° 33.195'	355
G-11	Pedro Pablo Gómez	Jipijapa	01° 34.527'	80°30.881'	246
G-12	Francisco de Orellana	Jipijapa	01°30.596'	80° 30.451'	565
G-13	Cerro Lucía	Jipijapa	01° 29.074'	80° 31.086'	668
G-14	El Corozo	Jipijapa	01° 29.720'	80° 31.916'	420
G-15	El Páramo	Jipijapa	01° 30.557''	80° 31.789	536
G-16	Zapotal	Paján	01°.33.804'	80°27.121'	163
G-17	Zapotal	Paján	01° 33.487'	80° 27.349'	161
G-18	Zapotal	Paján	01° 33,084''	80° 27.786	174
G-19	El Resbalón	Paján	01° 32.483''	80° 28.271	190
G-20	San Miguel	Paján	01° 32.006''	80° 29.158	227
G-21	San Miguel	Paján	01° 32.095''	80° 29.878	232
G-22	Camposano	Paján	01° 35.999''	80° 23.106	196
G-23	Camposano	Paján	01° 35.803'	80° 22.492'	197
G-24	La Crucita	Paján	01° 35.766'	80° 22.344	214
G-25	La Crucita	Paján	01° 34.848''	80° 22.050	234
G-26	Tierra Amarilla	Paján	01° 29.086'	80° 21.936'	136
G-27	El Ají	Paján	01° 31.158'	80° 22.177'	118
G-28	La Esperanza	Paján	01°35.388'	80°21.892'	112
G-29	La Poza	Paján	01°35.119'	80°21.951'	200
G-30	La Poza	Paján	01° 35.022`	80°21.985	206
G-31	Bellavista	24 de Mayo	01° 21.518'	80°17.706'	218
G-32	El Bejuco	24 de Mayo	01° 20.779'	80°18.720'	152
G-33	El Bejuco	24 de Mayo	0,1° 20.390'	80°18.488'	135
G-34	La Subida	24 de Mayo	01° 19.586'	80°20.187'	136
G-35	El Bejuco Grande	24 de Mayo	01° 20.202'	80° 22.205'	427
G-36	El Bejuco Grande	24 de Mayo	01° 20.317'	80°22.235'	429
G-37	El Cruce-Los Palmares	24 de Mayo	01° .18.829'	80°22.173'	424
G-38	La Guinea	24 de Mayo	01° 20.369'	80° 22.821'	445
G-39	Las Lozas	24 de Mayo	01° 20.078'	80° 24.424'	472
G-40	Las Lozas	24 de Mayo	01° 20.081	80° 24.421	477
G-41	El Bejuco	24 de Mayo	01° 20.232'	80° 26.164	500
G-42	El Carmen	24 de Mayo	01° 20.449''	80° 22.886	466
G-43	La Naranjita	24 de Mayo	01° 25.417'	80° 26.509'	452
G-44	La Naranjita	24 de Mayo	01° 25.134''	80° 25.203	426
G-45	Cuatro Caminos	24 de Mayo	01° 24.847'	80° 24.734'	417
G-46	La Norma	Olmedo	01° 26.358'	80°.11.794'	76
G-47	La Norma	Olmedo	01° 26.268'	80° 14.209	72
G-48	La Pampa	Olmedo	01° 25.934'	80° 14.152'	77
G-49	La Pampa	Olmedo	01° 25.291'	80° 14.032'	62
G-50	La Cruz	Olmedo	01° 23.040'	80° 13.705'	91
G-51	Las Navas	Olmedo	01° 24.994'	80° 13.098'	86
G-52	Las Navas	Olmedo	01° 24.965''	80° 13.201	114
G-53	La Italia Afuera	Olmedo	01° 24.404'	80° 13.762	74
G-54	La Italia Adentro	Olmedo	01° 24.349'	80° 13.863'	63
G-55	La Italia Adentro	Olmedo	01° 24.153'	80°13.927	77
G-56	El Zapote	Olmedo	01° 28.075'	80° 15.253'	111
G-57	El Zapote	Olmedo	01° 28.103'	80° 15.259'	190
G-58	El Zapote	Olmedo	01° 28.308'	80°14.728'	111
G-59	La Canoa	Olmedo	01° 25.350'	80°13.977'	105
G-60	La Canoa	Olmedo	01° 25,729'	80°14,174'	52

Figure 1. Global geographical positioning (GPS) of 60 accessions of the soursop germplasm in southern of Manabí, Ecuador



Characterization

The morphological characterization was carried out using 17 plant descriptors (Bioversity International y CHERLA, 2008), being 9 quantitative (number of fruits per tree, diameter of the canopy (m), tree height (m), number of nodes per meter of branch, leaf length (cm), leaf width (cm), petiole length (cm), petiole thickness (mm), and number of primary leaf veins) and 10 qualitative (trunk color, young branch color, trunk ramification, leaf shape, leaf base shape, leaf apex shape, color of the mature leaves, leaf margin, fruit shape and form of emergencies of the exocarp). Ten observations per tree (accession) were made for each trait, with the exception of the number of nodes per meter of branch in which five observations were measured per tree. These evaluations were carried out during the dry period of the year, which coincides with the fruiting stage of the tree.

Analyses

In terms of quantitative descriptors, a descriptive analysis was made (mean, standard deviation, minimum value, maximum value and variation coefficient), as well as Pearson correlations. In terms of qualitative descriptors, a frequency analysis was carried out and the results were expressed in percentages. Principal component analysis (PCA) was made based on the Pearson correlation matrix selecting descriptors that showing greatest contribution in the morphologi-

cal characterization. The selection criteria of eigenvectors involved the values closest to the highest value and the percentage contribution of each axis to the total variability.

A cluster analysis was performed to achieve the grouping of individuals according to their similarities, including quantitative and qualitative characteristics through the Gower distance matrix and the Ward method as a form of ascending hierarchical aggregation. A discriminant analysis was performed to verify the correspondence of the accessions within the dendrogram conglomerates, the statistical data analyses was made using the INFOStat software (Di Rienzo et al., 2016, free version).

Each tree of the wild studied population was considered as an accession, in which the age of the trees was variable,; however it ensured that all of them were of productive age.

Results and Discussion

Five descriptors (Number of fruits, crown diameter, tree height, leaf petiole length and thickness of leaf petiole) showed coefficient of variation values above 20 %, which is considered by Franco and Hidalgo (2003) as the minimum limit for the expression of variability (Table 2). These authors consider that descriptors with values lower than 20 % should be considered as low variability; in this study the descriptors that did not reach this level were nodes per meter of branch, length of leaf, leaf width and number of primary veins per leaf. Number of fruits was the descriptor that showed the greatest variability (CV: 60, 11). In conditions of commercial cultivation, the amount of fruits per tree is mainly due to the management of the plantation plus the genetic constitution of the trees. However, the locations where the germplasm was studied have the same climate, and the trees don't receive any cultivation work. Therefore, it would be that the number of fruits per tree would be due to the genetic structure of each accession. This character is particularly important because is related to productivity and profitability, being priority in genetic improvement programs (Jameel *et al*, 2015).

Table 2. Quantitative morphological descriptors of the 60 soursop accessions characterized *in situ* in southern of Manabí

DESCRIPTORS	Min	Max	Mean	Std	CV (%)
Number of fruits	20.00	250.00	87.61	52.67	60.11
Crown diameter (m)	2.61	18.00	8.75	3.43	39.15
Tree height (m)	3.00	22.00	10.27	3.60	35.03
Nodes per meter of branch	36.60	65.20	51.13	7.86	15.36
Length of leaf (cm)	7.89	18.04	12.82	1.67	13.05
leaf width (cm)	3.88	7.16	5.40	0.71	13.15
Leaf petiole length (cm)	0.46	2.08	0.84	0.26	30.91
Thickness of leaf petiole (mm)	1.00	2.30	1.64	0.38	23.46
N° of primary veins per leaf	15.00	24.00	18.74	2.06	11.00

Based on the considerations about the variability expressed by Franco and Hidalgo (2003) and Hernández (2013), it can be suggested, that there is greater variability of the Ecuadorian soursop germplasm compared to the germplasm studied by Padmini et al. (2013), in which 448 soursop accessions were characterized, discarded the length of the leaf, the length of the petiole of the leaf (due to low variation coefficient), the shape of the apex and the base of the leaf

(in both case only one form), the margin of the leaf (entire 100 %), and the color of the mature leaf (dark green 100 %), characters that were highly variable in the Ecuadorian germplasm.

No significant correlation coefficients were observed between the morphological descriptors, except between the number of fruits and the canopy diameter, which showed a highly significant positive correlation, although with a medium coefficient ($r = 0.54$). Denoting the implication and importance of the number of fruit in the productivity. It is necessary to carry out more research because this result suggests that trees with a greater diameter of the canopy are more productive in terms of number of fruits than those of vertical growth. As this study was development in wild trees that do not receive any cultivation work, this information would be very valuable in breeding programs.

The analysis of main components allowed us to illustrate the relationship between the quantitative variables studied and their participation in the explanation of germplasm variability. The contribution percentage of the first four components was 74 % of the total variability. The first component (PC1) contributed with 32 % of the variability, followed by the second component (PC2) with 22 %, the third component contributed with 12 % and the fourth 9 %, respectively (Table 3). In the PC1, the descriptors that contributed most to the variability were: leaf width, number of primary veins per leaf, leaf length and petiole length variables. The mentioned variables are related to the uptake of sun energy that is a determining factor in the photosynthetic activity and photoassimilates flow (Meza y Bautista, 1999). In the PC2, the descriptors that contributed most to the variability were: Number of fruits, Canopy diameter and tree height, variables that determine the productivity and structure of the tree.

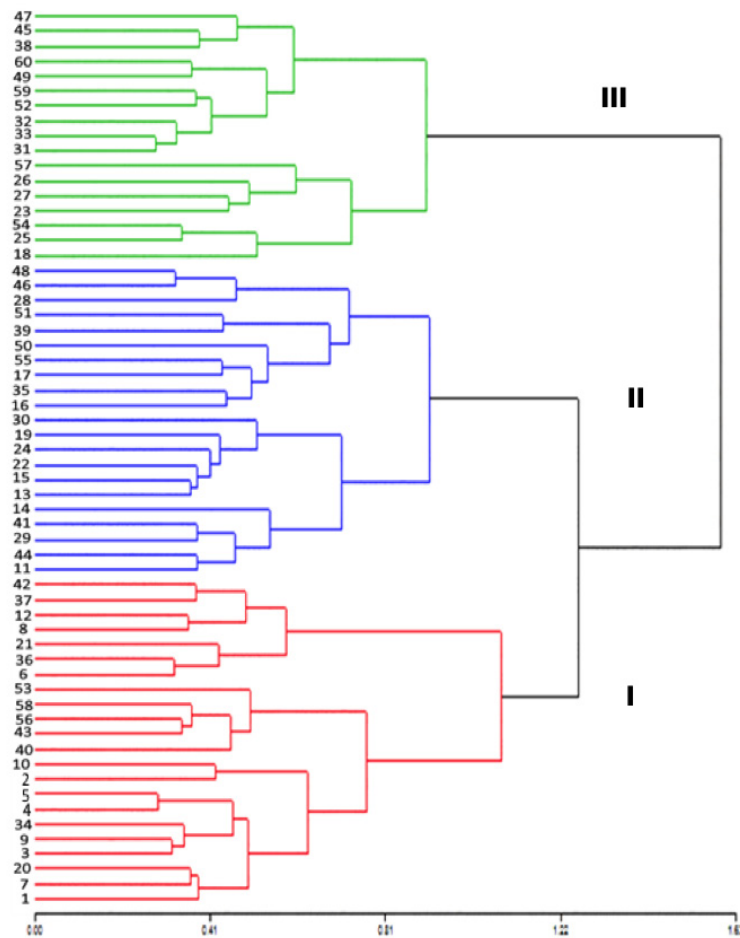
In Colombia, Miranda et al. (2000) observed the formation of five groups and reported only oblong-lanceolate leaves with acute apices, a characteristic that denotes a lower variability of this germplasm in situ with respect to that observed in southern Manabí, in which four types appeared of leaves in terms of their shape and three different types of apices. These authors also observed leaves with average lengths of 12.00 cm and 4.78 cm wide, while in Manabí average values greater than 12.88 cm and 5.45 cm, respectively were observed. The aforementioned authors did not use the descriptors used in the present investigation, where the length and width of the leaf petiole, the number of ribs on the leaf and the type of undulation of the leaf were discriminant.

In base to the expressed by Franco and Hidalgo (2003) and Hernández (2013), about the variability we can suggest the existence of greater variability of the Ecuadorian soursop germplasm versus other germplasms such as the studied by Padmini et al. (2013), who in the characterization of a germplasm of 448 soursop accessions in Sri Lanka, Asia, with the use of 45 characters, discarded the length of the leaf, the length of the petiole of the leaf, the shape of the apex and of the base of the leaf, the undulation of the leaf, and the color of the mature leaf, characters that instead were highly variable in the Ecuadorian germplasm.

The hierarchical cluster analysis of Ward allowed the conformation of three similarity groups (Fig. 2), which expressed a cofenetic correlation of 0.57, which represents that there is adequate reliability in the analyzes.

Table 3. Variability explained in the PCA for the quantitative morphological descriptors

Variables		Contribution porcentaje			
		PC1	PC2	PC3	PC4
Number of fruits		0.47	0.60	-0.40	0.03
Canopy diameter (m)		0.48	0.74	0.04	-0.11
Tree height (m)		0.54	0.63	0.04	0.01
Nodes per meter of branch		-0.08	0.34	0.88	-0.16
Leaf length (cm)		0.63	-0.38	-0.17	-0.39
Leaf width (cm)		0.81	-0.18	0.01	-0.22
Petiole length (cm)		0.62	-0.26	0.18	0.59
Thickness of petiole (mm)		0.53	-0.50	0.20	-0.28
N° of primary veins per leaf		0.66	-0.19	0.15	0.34
Initial eigenvalues	Explained variance (%)	32.00	22.00	12.00	9.00
	% accumulated	32.00	54.00	66.00	74.00

Figure 2. Dendrogram obtained by Ward's hierarchical grouping of the quantitative and qualitative morphological descriptors of 60 *in situ* germplasm accessions of soursop from the central regions of ecuadorian littoral. Cofenetics correlation $r = 0.57$ 

The discriminant analysis showed that only 6.7 %, corresponding to four accessions, had an incorrect classification, that is to say, they presented more similarities with plants from other conglomerates than with those of their own. On the other hand, 93.34 % of the accessions (56 of 60) presented an adequate classification, which indicates that they corresponded to the right conglomerate (Table 4). The group 1 consisted of 22 accessions, group 2 of 21 accessions and group 3 of 17 accessions.

Table 4. Cross classification (apparent error) of the clusters by discriminant analysis of the morphoagronomic descriptors from the *in situ* germplasm accessions of sour sop from the central regions of the ecuadorian Litoral

Conglomerate	Predicted Membership group			Total expected	Error
	1	2	3		
1	21	0	1	22	4.55
2	2	18	1	21	14.29
3	0	0	17	17	0.00
Real total	23	18	19	60	6.67
Correct classification percentage = 93.33					

Conglomerate 1 contains the accessions showing the lowest average number of fruits (57.23), the smallest diameter of the crown (7.03 m) and lowest height (8.51 m). They presented average values of magnitude of the leaf in comparison to the other conglomerates, as well as the lowest number of nodes per meter of branch (50.14). conglomerate 2 included accessions showing the largest number of fruit (121.71) and with the largest canopy diameter (11.70 m) and largest height (12.67 m). It also grouped the accessions with the highest values in terms of the descriptors that determine the magnitude and carrying capacity of sap of the leaf such as leaf length and number of primary veins per leaf. The conglomerate 3 integrated the accessions showing an intermediate amount of number of fruits (84.82), number of nodes per branch (53.20), number of ribs per leaf (17.54), lowest values of leaf length (11.66 cm) and leaf width (4.88 cm).

The present study described six types of trunk coloration and the young branch, four types of shape leaf, two types of the leaf base, three types of the leaf apex, three colorations of the mature leaf and three types of the margin of the leaf blade (Table 5).

Regarding the expression of the qualitative descriptors in the conglomerates conformation, differences were observed in the color of the trunk. Conglomerates 1 and 3 presented mainly greenish-brown color (31.81 % and 35.29 %, respectively), while conglomerate 2 showed dark brown color (28.57 %). The color of the young branch showed a predominance of light brown in the conglomerates 1, 2 (63.64 %, 38.09 %, respectively). Conglomerate 3 had trees with greenish-brown branches color (35.29 %). Trees conformed by a single main stem were in all conglomerates (68.18 %, 61.90 % and 36.29 % in the conglomerates 1, 2 and 3, respectively). Lanceolate shape of leaf was predominant in conglomerates 1 and 3 (95.45 % and 70.59 %, respectively); while conglomerate 2 had less percentage (47.62 %). The acute form of the leaf base was observed in high percentage in all conglomerates (90.91 % conglomerate 1, 100 % conglomerate 2 and 70.59 % conglomerate 3).

Table 5. Qualitative morphological descriptors of 60 accessions *in situ* of soursop germplasm from southern of Manabí, Ecuador

CHARACTER	OBSERVED VARIABILITY (%)					
Trunk colour	Light Brown 20	Brown 11.67	Dark brown 18,33	Brown greenish 30	Brown reddish 15	Brown whitish 5
Young branch color	41.67	25.00	16.67	10.00	1.66	5.00
Trunk ramification						
	One branch 56.67		Two branches 26.67		Three o more branches 16.67	
Leaf shape						
		Ovate 3.33	Elliptic 13.33	Abovate 18,33	Lanceolate 65.00	
Shape of leaf base						
		Acute 88.33		Obtuse 11.67		
Shape of leaf apex						
	Acute 76.67		Rounded 10.00		Acuminate 13.33	
Mature leaf color						
	Light green 15		Green 56.67		Dark green 28.33	
Leaf margin						
	Entire 61.67		Ondulate 10.00		Semi ondulate 28.33	




Despite the major features presented, different frequencies of the qualitative descriptors in the three conglomerates studied constitute an evidence of the existence of phenotypic variability in the soursop germplasm that was *in situ* characterized.

Miranda et al. (2000) in study development in Colombia, observed the formation of five groups using the conglomerate analyses. These authors reported only the presence of oblong-lanceolate shape of leaves with acute apex, denoting a lower variability respect to the variability observed in southern of Manabí which showed four types of leaf shape and three types of apex. The results of this research partially coincide with the results obtained by Constance et al. (2015), who found that the length and width of the leaf and number of fruits were determinants to reveal the variability in 42 soursop accessions.

The lanceolate leaf shape was predominant in this study, coinciding with Castañeda (2014), who found the same predominate shape in the *Annonaceae* species. The presence of ondulate and semi ondulate leaves in these study, was also observed, as well as, four types of leaf shape, two types of leaf base shape, three types of leaf apex shape, and three mature leaf colors.




The most frequent forms of the fruit in the evaluated germplasm were the elongated ovoid and the ovoid, followed by the troncovoid type (Table 6). The rest were distributed among cordiform, spherical and reniform fruits.

Table 6. Predominant forms of the fruits of *in situ* soursop germplasm from southern of Manabí, Ecuador

Ovoid	%	Elongated ovoid	%	Troncovoid	%
	32		33		17

The studied germplasm presented several forms of spines of the exocarp, of which the most common one was the acute apex of up to 5 mm in length and not very dense in the fruit (58 %) (Table 7). This form was followed by those in the form of stingers, very dense in the fruit and with a length up to 10 mm (18 %) and the spines erect with acute apex and rounded at its base with a length up to 2 mm (17 %). The form of spines could be linked to specific genetic structures, so complementary research on this subject should be initiated.

Table 7. Forms of spines of the exocarp that predominate in the *in situ* soursop germplasm from southern of Manabí, Ecuador.

Form of spines of the exocarp		Description
A		Erect spines with acute apex and rounded at its base, with a height up to 2 mm.
B		Spines in the form of stingers, wide at the base and with a height up to 10 mm.
C		Spines erect with acute apex and of rounded base, with a height up to 5 mm.

In general, there are few studies about the characteristics of the exocarp spines and the soursop fruit forms that provide precise details and definitions about them (Moreira et al., 2016). Spines are simply called "spine" and the fruits in most cases it is attributed a cordiform, oval and conical aspect (Benavides, 1997, Miranda et al., 2000, Pinto et al., 2005).

Conclusion

Based on the results found in the wild soursop population in Manabí, it is possible to conclude the existence of high variability, especially in comparison with other similar studies conducted in other regions of the world.

In this study it was possible to observe high values of variation coefficients, ranges, explanation of the variability in the principal components analysis, as well as the diverse phenotypic expression of qualitative characteristics in leaves and fruits, which until now have not been reported so widely by others studies.

The existence of attributes of the plant and the different organs that make it up, especially the number and shapes of the fruit, shapes and dimensions of the leaf, among others, undoubtedly represent some elements of great value to be used in the genetic improvement of this species.

References

- Benavides, G. A. (1997). *Caracterización numérica del germoplasma de guanábana (Annona muricata L.) muestreado in situ en el Pacífico y norte de Nicaragua*. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria-Programa de Recursos Fitogenéticos Nicaragüenses.
- Bioversity International y CHERLA. (2008). *Descriptores para chirimoyo (Annona cherimola Mill)*. Bioversity International, Roma, Italia: Proyecto CHERLA, Málaga, España, 51 pp.
- Castañeda, S. L. (2014). Evaluación morfológica y molecular de accesiones de anonáceas (Anón, chirimoya y atemoya) en condiciones *in situ* de las regiones andinas y Caribe colombiano. *Agrarias*. Tesis de Investigación presentada como requisito parcial para optar al título de Magíster en Ciencias Agrarias, Área de Genética y Fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias., 147 pp.
- Constance, N., Brisibe, E.A., Nkachukwu, P. y Aniedi, E. (2015). Molecular and morphological marker reveal exploitable diversity in soursop (*Annona muricata* L.). *Industrial Biotechnology Congress Biotechnology. Biomater* 5 (2): 41.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. y Robledo. C. W. (2016). InfoStat versión 2016. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina., URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Franco, T. L., e Hidalgo, R. (Eds.). (2003). *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos*. Boletín Técnico n.º 8. Cali, Colombia. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), 89.
- Hernández, V. A. (2013). Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Revista Biociencias*, 2 (3): 113-118.
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología y Hidrología). 2014. Anuario Meteorológico n.º 51, 149 pp. Jameel, M.; Mohan, S. y Johnson, D. (Eds.). (2015). *Advances in Plant Breeding Strategies*. In *Breeding, Biotechnology and Molecular Tools*. Vol. 1. USA: Springer International Publishing, 656 pp.
- Jemimah, O., Obaineh, M. y Muhammad, A. 2016. Comparative Phytochemistry and Antioxidant Activities of Water and Ethanol Extract of *Annona muricata* Linn Leaf, Seed and Fruit. *Advances in Biological Research*. 10 (4): 230-235.
- Love, K., y Paull, R. (2011). Soursop. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawai at Manoa. UH-CTAHR. F-N-22, 6 pp.
- Meza, N., y Bautista, D. (1999). Estimación del área foliar en plantas jóvenes de níspero (*Manilkara achras* (Miller) Fosberg) sometidas a dos ambientes de luz. *Bioagro*, 11 (1): 24-28.
- Miranda, D., Arce, C., Gómez, L., Vasto, D., Arboney, J. y Bravo, A. (2000). Conozcamos el cultivo de Guanábana. Cartilla divulgativa. CORPOICA Regional 6. Caracterización de cultivares de guanábana (*Annona muricata* L.). Guanábana MIC., 252 pp.
- Moreira R. y Héctor E. (2014). Estado actual y perspectivas de desarrollo de la guanábana (*Annona muricata* L.) como cultivo comercial en el sur de Manabí, Ecuador". *Alternativas*. 15 (2), 36-42.
- Moreira M. R., Héctor A. E, Uguña. R. F., Franco F. F. y Rodríguez A. D. (2016). Variabilidad físico-química de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.) de una población *in situ* del sur de Manabí, Ecuador. *Agrrotecnia de Cuba*, 40 (1): 34-46.
- Pro Ecuador. "Boletín Mensual de Comercio Exterior-Ministerio de Comercio Exterior. Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones". 2014. Disponible en: <http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2014/04/BOLETIN-MARZO-ABRIL-INAL.pdf>. (Consultado: 20 de junio de 2016).
- Suratman, A. P., y Mulyani, S. (2015). Assesment of genetic diversity among soursop (*Annona muricata*) populations from Java, Indonesia using RAPD markers. *Biodiversitas*, 16 (2): 247-253.
- Padmini, S. M., Pushpakumara, D. y Samarasekera, R. 2013. Morphological characterization of Soursop (*Annona muricata* L.) Germplasm in Sri Lanka. *Tropical Agriculture Research*, 24 (4): 362-374.

- Pinto, A. C., Cordeiro, M., Andrade, M., Ferreira, F., Filgueira, H., Alves, R. & Kimpara, D., 2005. *Annona* species. International Centre for Underutilized Crop. University of Southampton. SO17 IBJ. UK. 268 pp.
- Zorofchian, S., Fadaeinasab, M., Nikzad, S., Mohan, G., Mohd, H. & Abdul, Y.H. 2015. "*Annona muricata* (Annonaceae): A Review of Its Traditional Uses, Isolated Acetogenins and Biological Activities". *Int. J. Mol. Sci.*, 16:15625-15658. doi: 10.3390/ijms160715625.

Third-party management in software development: proposal of a methodology

(Gestión de terceros en el desarrollo de software: propuesta de una metodología)

Yeison Núñez-Sánchez¹ and Antonio González-Torres²

Abstract

Outsourcing allows organizations to reduce costs, optimize the use of resources, provide added value in services and goods, and concentrate on achieving the strategic objectives of the business. However, many software projects have failed due to the lack of knowledge of the factors involved in its planning. Some of these elements are poor communication with the supplier, weak monitoring of the status of tasks, lack of active participation of users and stakeholders at all stages of the process, and software quality assurance. Consequently, this research aims to aid the management of the outsourcing process and proposes a methodology for its management during system development. The methodology comprises 7 phases, each one with its inputs, tasks, and outputs, which are used by the following stages. In summary, it synthesizes the best practices for the management of third parties.

Keywords

Third party management, outsourcing, software acquisition

Resumen

El outsourcing permite a las organizaciones reducir costos, optimizar el uso de recursos, proporcionar valor agregado en servicios y bienes, y concentrarse en lograr los objetivos estratégicos del negocio. Sin embargo, muchos proyectos de software han fallado debido a la falta de conocimiento de los factores involucrados en su planificación. Entre estos elementos tenemos a la comunicación deficiente con el proveedor, el control débil del estado de las tareas, la falta de participación activa de los usuarios y las partes interesadas en todas las etapas del proceso y el aseguramiento de la calidad del software. En consecuencia, esta investigación tiene como objetivo ayudar a la gestión del proceso de subcontratación y propone una metodología para su gestión durante el desarrollo del sistema. La metodología consta de 7 fases, cada una con sus entradas, tareas y salidas, que se utilizan en las siguientes etapas. En resumen, sintetiza las mejores prácticas para la gestión de terceros.

Palabras clave

Gestión de terceros, tercerización, adquisición de software

1. Introduction

An outsourcing relationship is an agreement in which a contracting company agrees with a supplier to perform some specific functions that usually are not the core activities of the hiring organization. Ideally, the decision of the hiring organization over the tasks to be outsourced considers their criticality, the market situation, the skills of employees, the expected improvements to reach with the outsourcing and cost reductions. Accordingly, the scope of the relationship with the supplier could be traditional or strategic (Franceschini, Galetto, Pignatelli, & Varetto, 2003).

This type of arrangement has shown to have numerous benefits when performed successfully. However, 30 % of companies cancel their outsourcing contracts prematurely, between the 20 and 25 % fail during the first two years of the agreement, and the 50 % do not survive more

1 ULACIT, San José, Costa Rica (ynunezs664@ulacit.ed.cr), ORCID: 0000-0003-0330-2509

2 ULACIT, San José, Costa Rica (agonzalez@ulacit.ac.cr), ORCID: 0000-0001-5427-0637

than the first five years (Grossi & Calvo-Manzano, 2012). Therefore, the scenario for the outsourcing of software development is not encouraging because these frequently face high levels of complexity and uncertainty that are intrinsic to such kind of projects (Whang, 1992).

The leading causes of the failure of outsourcing software development are the inadequate definition of requirements and scope of projects, inappropriate selection of the suppliers and development methodologies as well as the low involvement of stakeholders and end-users from the different levels of the organization in each stage of the development process. Besides, other causes are the lack of adequate tracking of signs of progress and milestones, the absence of proper and proactive communication of the customer with the supplier and a poor definition of the structure of the work team (Selleo, 2016a).

To contribute to the management of outsourcing processes, some researchers have conducted various studies intended to identify and recommend some best practices and propose procedures composed of stages (Erazo-Paruma, Guerrero-Mera, & Correa-Pino, 2014; Perunović & Pedersen, 2007). Those processes share some steps, but they treat superfluously the aspects related to communications, stakeholder management, and quality assurance. Still several challenges require attention, including the definition of a comprehensive guide to lead outsourcing administration.

Therefore, to fill out this gap, this research aims to devise a flow of steps for planning and managing outsourcing processes. The steps listed below for the outsourcing management arise from the analysis and classification of the processes and best practices mentioned above: preparation, supplier selection, development, relationship management, and reconsideration.

Overall, the preparation phase relates to defining the project and tasks to outsource, requirements elicitation, and planning of the outsourcing process, whereas the selection of the supplier associates to the reception of offers, the evaluation of proposals, the selection of the best supplier offer, and the signing of the contract. Besides, the development phase links to software design, programming, testing, and progress tracking of the project.

The relationship management stage relates to periodic meetings, minute meetings, email exchanges, and a proper resolution of conflicts protocol. Meanwhile, the reconsideration phase binds to refinement iterations, requests of changes due to requirements and design modifications, claims for noncompliance with requirement and design, and unsuccessful testing.

This paper is an extension of the paper accepted in INCISCOS 2019 (Nunez-Sanchez Y., 2019) and carries out a literature review (section 1) to develop a methodology with best practices for managing software projects in outsourcing processes (section 2) and presents the conclusions (section 3).

2. Background

Software outsourcing is generally complex, and although there exists a bibliography to support managers, there are still several challenges that require attention. The high-level activities of an outsourcing process consider the identification of the type of project to carry out. It considers what is going to be developed, how it is going to be carried out, and who will be involved during its development. Based on this, it is relevant to consider the following points (Selleo, 2016a) when you want to start an outsourcing process:

- **What tasks or projects to outsource?** There should be clarity about the tasks or projects to outsource and the nature of these.

- **What is required to do?** It intends to define precisely the requirements.
- **How to carry out the tasks or projects?** It involves not only the methodology to use but also the structure of the work team that will participate in its development.
- **Who is going to be involved?** It is essential to know the users, the managers that support the development, and who will participate in the definition of requirements, monitoring, and acceptance.

The definition of internal and external benchmarking is the following:

- **Internal benchmarking:** it consists of analyzing the core competencies of the company and identify the processes to outsource, in accordance with the analysis of costs reduction or the lack of skills of the employees. Then, the type of relationship with the supplier is defined, according to the interests of the client. The relationship established can be a traditional, temporal, strategic or organizational network.
- **External benchmarking:** it analyzes, identifies and selects the supplier to define the levels of the service agreement.

A model for the administration of the outsourcing process can contemplate (Erazo-Paruma et al., 2014) the following steps:

- **Planning:** determines the need for the acquisition, and defines the requirements of the software, identifies the potential suppliers, and specifies the acceptance criteria in conjunction with the acquisition plan. It also sets the priorities and order of the development tasks.
- **Announcement:** it is responsible for announcing the need and requirements of the product to the possible suppliers identified.
- **Supplier selection:** it aims at the selection of the supplier that best fits the system development and complies with the requirements.
- **Contract:** it negotiates the agreements and the relationship with the supplier and includes the formalization of the contract.
- **Monitoring:** it intends to monitor the progress of suppliers in meeting the goals and review their progress according to the agreed costs and deadlines. It carries out this task following the levels of the service agreement. One of the purposes of this stage is to measure the performance of the supplier (Franceschini et al., 2003).
- **Acceptance:** it evaluates the product using the established tests and acceptance criteria.
- **Closure:** it is responsible for verifying the acceptance of all deliverables of the product.
- **Follow-up:** it monitors the performance of the system performance and the response times of the supplier to incidents.

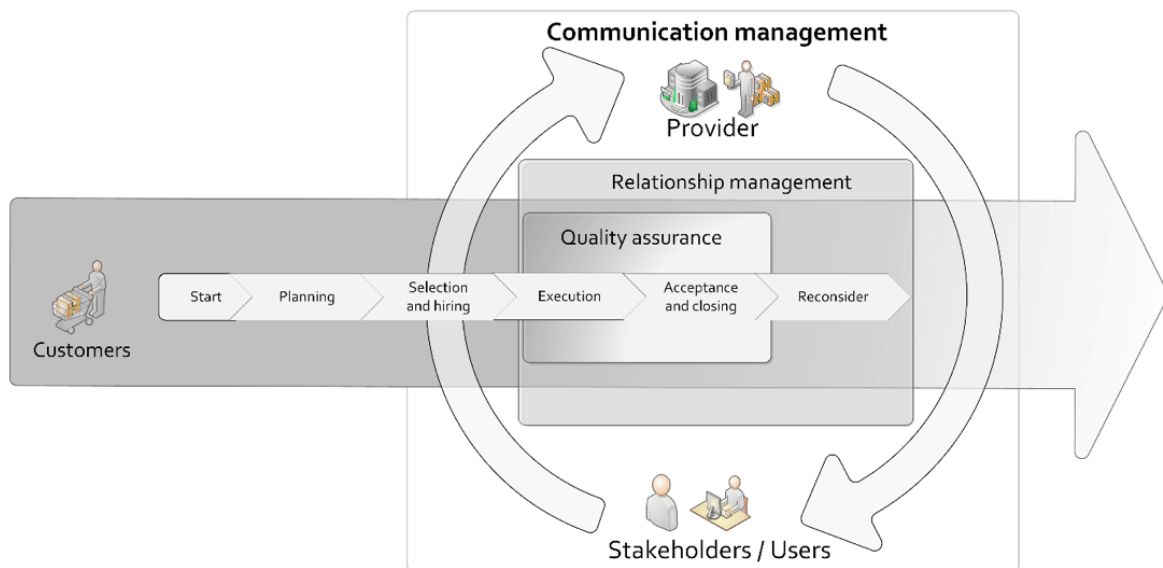
3. Phases for the management of third parties in software development projects

This section presents the proposal of a methodology to aid the management of outsourcing processes based on the review carried out in section 2. The procedure synthesizes the fundamental phases for this type of process. It considers seven stages that contemplate aspects to improve the communication, active participation of the parties, and the quality of the final product:

1. Start
2. Planning
3. Selection and hiring of the supplier
4. Execution
5. Managing the relationship with the provider
6. Acceptance and closing
7. Reconsideration

The flow of the procedure and the relationship between the phases is shown in Figure 1 with a special emphasis on communication management, relationship management, and quality assurance.

Figure 1. Relationship between the phases for managing the outsourcing of software development



It is important to consider the special role of Communication management, Relationship management and Quality assurance. Communication management must be performed during almost all phases of outsourcing (except the Start and Planning phases) and includes relationship management and quality assurance. It aims to guarantee better communication between the customer and the supplier through tools, methods, and techniques that facilitate the exchange of information from the initial stages of the system development.

Concurrently, the administration of the relationship seeks to improve the connection between the supplier, users, and stakeholders to enhance the understanding of needs, monitor progresses during development, and evaluate product deliveries. Similarly, quality assurance must be present from the beginning of the development of the system because it plays a predominant role in the acceptance and closure phase. The following sections explain in detail the phases Start, Planning, Selection and hiring, Execution, Acceptance and closing, and Reconsider, as depicted in Figure 1.

2.1. Start

This phase analyzes the opportunities for outsourcing the development of a system or a part of it, considering some factors such as criticality, the skills of internal personnel, the costs of the process, market situation, and suppliers available. If the result of the analysis is positive, a well-justified proposal should be written, seek internal backup from different levels of the organization (especially at the decision levels), obtain financial support, and start the hiring process. Some of the tasks to consider in this phase are the following:

- **Internal or external development:** it establishes if it is possible to carry out the development of the system internally or externally some factors (Project Management Institute, 2013) should verify:
 - ❑ **Analysis of the organization:** it consists of performing the verification of the core capabilities and economic activity of the business. It analyzes if the delegation of tasks to a third party will bring new expertise and will not cause any drawback to intellectual property or would imply the transference of critical knowledge that could have future financial consequences.
 - ❑ **Determines the added value suppliers can provide:** it studies the capacity of suppliers in meeting the expectations of the project, and their possibilities to satisfy the needs of the customer and of helping to generate value.
 - ❑ **Evaluate risks associated:** it investigates to identify the risks involved in developing the system internally. The decision to outsource depends on the previous factors and the threats to perform the development within the organization and its likelihood to materialize and cause serious issues. If the risk level is high, it is advisable to find an experienced company that can ensure the success of system development and the possibility to make a profit or obtain a competitive advantage with its implementation.
 - ❑ **Comparison of the internal capacity and competences of suppliers:** it determines if the knowledge, experience, management capacity, technical capabilities, and tools of suppliers are better than the internals to carry out the project successfully.
- **Individual analysis of the projects to be outsourced:** it aims to identify the projects to outsource. It studies the efficiency of the organization using as a basis the possible losses of money, expenses, and lack of skills for the development of the system.
- **Statement of the project or constitution act:** it defines the need for outsourcing the project to present it to the top management to obtain its acceptance and commitment. Among the different techniques to perform this task are the following:
 - ❑ Preparation of the general description of the system through meetings, sessions, forums, workshops or brainstorming that involve not only high rankings but also end-users.
 - ❑ User stories.
- **Identification of the stakeholders:** it determines the internal persons who may benefit or result harmed by the development of the system. This task seeks to guarantee the participation of these people in the process.

2.2. Planning

This phase aims to define the scope, requirements, quality factors to evaluate, human resources, the communication means with the supplier, the criteria for the selection of the supplier, the type of contract to use, and the budget. Furthermore, it defines the methods to control the execution of the project and obtain the desired results. The following sections offer an orientation to carry out these tasks:

- **Scope definition:** it provides a high-level overview of the system requirements (Seileo, 2016b) and includes the following elements:
 - ❑ Summary of the desired application or product.
 - ❑ Purpose of the new system, problem (objective or need) it seeks to solve and goals to consider the achievement of success.
 - ❑ List of product features and future users of the system.
 - ❑ Performance requirements, speed, availability, volume, and reliability.
 - ❑ Technology to use, development language, operating system, and systems that must work together with the new application.

There are circumstances in which there is no clarity to define the scope at the beginning of the planning. Therefore, it is convenient to determine it during crucial stages such as the iterations or deliverables acceptance. Additionally, the selection of the type of contract should consider not to affect the final product or its costs.

- **Analysis and definition of functional and non-functional requirements:** it identifies the low-level requirements of the system according to its objectives and the problem it seeks to solve.
- **Budget planning:** it aims to determine the budget components of the outsourcing project indicating the sources and the execution timeline.
- **Definition of the quality assurance plan:** it defines the planning of the quality processes during the life cycle of the project and the requirements, outputs, and feedback channels to use. Some of the phases for the management of software quality are the following (IEEE Computer Society, 2014):
 - ❑ **Planning:** it determines which standards to include in the development process, defines the quality goals, estimates the costs and outlines the schedule to perform the software quality audits and reviews.
 - ❑ **Assurance:** it is responsible to define the technical measures, and procedures for reporting problems, evaluates whether the development methodology is appropriate and execute corrective actions. Furthermore, it verifies that the system fulfills the requirements and objectives, certifies that the expenses are according to the budget and corroborates that the progress conforms to the project schedule.
Then, the evaluation of the quality can consider any of the following categories (Mendoza, Pérez, Grimán & Rojas, 2002):
- **Functionality:** verifies the ability of the system to meet the requirements.
- **Reliability:** corroborates that the results of the system are correct.
- **Usability:** establishes the ease to use of the system and the time users need to understand and learn its use.

- ❑ **Efficiency:** certifies the performance of the system in different scenarios and with distinct work demands and time responses.
- ❑ **Maintainability:** tests the feasibility to modify the system without difficulties or the need to perform cumbersome tasks.
- ❑ **Portability:** attests that the system can run in different operating environments or platforms without the need for changes.
The procedure establishes it as mandatory to select the Functionality category. The selection of additional categories depends on the strategy and goals the organization seeks to meet with the system. This phase also considers the use of metrics to evaluate and estimate product quality.
- **Planning the management of human resources:** it defines the roles for the project management and the successful development of the outsourced system (Erazo-Paruma et al., 2014). These roles may vary according to the organization and project, and Table 1 list to some of them.
- **Preparation of the communications plan:** it determines the flow and communication channel between the customer and the supplier to guarantee the active participation of the interested parties. Furthermore, it should define the tools to use and the collaborators and managers that will be involved in the process. The communications plan should contain the following elements (Project Management Institute, 2013):
 - ❑ Communication requirements of the interested parties.
 - ❑ The information to communicate, including the language, format, content, and level of detail.
 - ❑ Reason to distribute the information.
 - ❑ Deadlines and frequency for the distribution of information and receipt of confirmations and responses.
 - ❑ Responsible for communicating relevant information.
 - ❑ Responsible for authorizing the disclosure of confidential information.
 - ❑ The groups of persons and individuals designated to receive relevant information on the project.
 - ❑ List of methods and tools to transmit information such as memoranda, email and press releases.
 - ❑ Resources assigned for communication activities.
 - ❑ Escalation process to follow for the solution of complex issues. It should include the deadlines for each stage and the designated managers designated.
 - ❑ Methods to update and refine the communications management plan as the project progresses and develops.
 - ❑ Glossary of common terminology.
 - ❑ The flowcharts that describes the information flow, the authorizations sequence, the list of reports, and the meeting plans.
 - ❑ The communication restrictions that arise from the legislation, regulations, technology, or policies.

Tabla 1. Roles of participants in the software outsourcing process

Puesto/Rol	Descripción de responsabilidad
Director (Dir)	It is a knowledgeable person of the processes of the organization and has the responsibility of administering the project.
Procurement Manager (PM)	It is responsible for carrying out, coordinating and contracting the supplier, based on the parameters, and is the direct contact between the customer and the supplier, and centralizes the communication and the flow of information.
Programmer or Software Engineer (SE)	It collaborates with defining the scope and requirements of the system and serves as the technical contact with the supplier.
Contracting Manager (EC)	It is responsible for the legal aspects to establish and negotiate the contract according to the needs defined by the director and users.
Software Quality Engineer (QA)	It verifies, ensures, tests, controls, and communicates the quality of the process and the product based on the plans and agreement with the supplier. Furthermore, it sends the status of the project to the interested parties to identify delays, disagreements, or gaps that may exist for decision-making on time.
Users/stakeholders (U)	It is the interested party of the development of the system, and his active participation in the process is critical to ensure that the final product satisfies his needs.

- **Definition of the type of contract:** it can be one of the following according to the type of project or product:
 - ❑ **Fixed price contracts:** this type of arrangement is appropriate when the requirements specification is accurate. However, they generally establish that subsequent changes imply an increase in costs.
 - ❑ **Reimbursable cost contracts:** the payments cover the costs incurred during the development of the system, plus the fees of the supplier. If the scope of the project is not well defined at its beginning, this type of contract offers flexibility to reorient the provider.
 - ❑ **Contracts for time and materials:** it is a hybrid of the two previous types of arrangements. It is useful for increasing staff and hiring experts or external support in a flexible manner.
However, regardless of the type of contract, the inclusion of incentives is valuable to motivate the developer or supplier.
- **Supplier selection criteria:** it aims to identify the selection and evaluation criteria of suppliers (Grossi & Calvo-Manzano, 2012). It is essential to define the weight of each criterion to calculate the grade of suppliers. Some of these criteria are price, delivery time, flexibility, technical capacity, warranty, references, responsiveness, and experience.
- **Potential suppliers:** its goal is to identify candidate suppliers based on market analysis, the experience of experts, and the previous projects of providers.
- **Acceptance criteria:** includes evaluation of accomplishment of requirements, the technical capabilities, and the quality level established by the customer as the minimums to accept the partial deliverables and the final product.
- **Work statement:** it consists of the requirements and scope of the system. Suppliers can use it to make an analysis and determine their capacity to build a solution.

2.3. Supplier contracting

This step implies the announcement of the need to hire a supplier (i.e., using a tender, direct contracting or invitation), the reception of the proposals from interested suppliers, the evaluation of offers, the selection of a supplier, the preparation and negotiation of the contract and the awarding the contract (Erazo-Paruma et al., 2014).

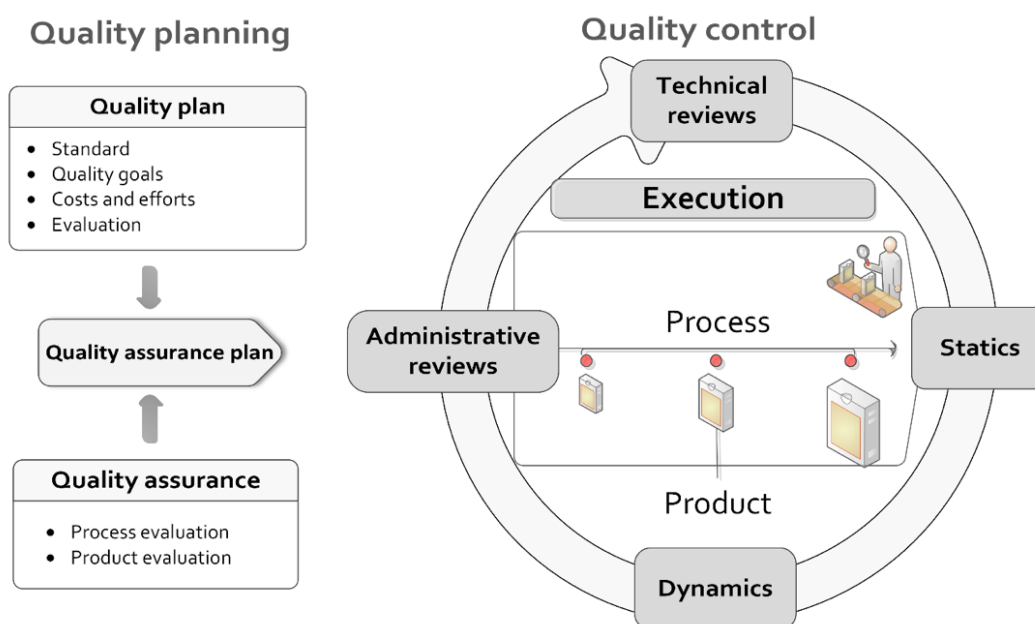
The process to select a supplier can use a matrix with the outcomes of the evaluation criteria to obtain the results per provider and guarantee the best choice.

2.4. Execution

This phase contemplates the development of the system and requires the active participation of the customer. It receives as input the elements of the quality assurance plan and is responsible for evaluating criteria through reviews, audits, and inspections (see Figure 2). These evaluations are carried out throughout the system development cycle to ensure the quality of the product (IEEE Computer Society, 2014) and include:

- **Administration reviews:** it consists of monitoring the progress of the project and the effectiveness of the management of the development process according to the planned schedule.
- **Technical reviews:** these are product evaluations and verifications according to metrics and evaluation categories.
- **Static evaluations:** it consists of examining the documentation (i.e., requirements, design, and model) and the source code of the software without executing it.
 - **Dynamic evaluations:** it determines the compliance of the system with the measures and quality levels and implies the execution of the code before launching the software.

Figure 2. Software quality management



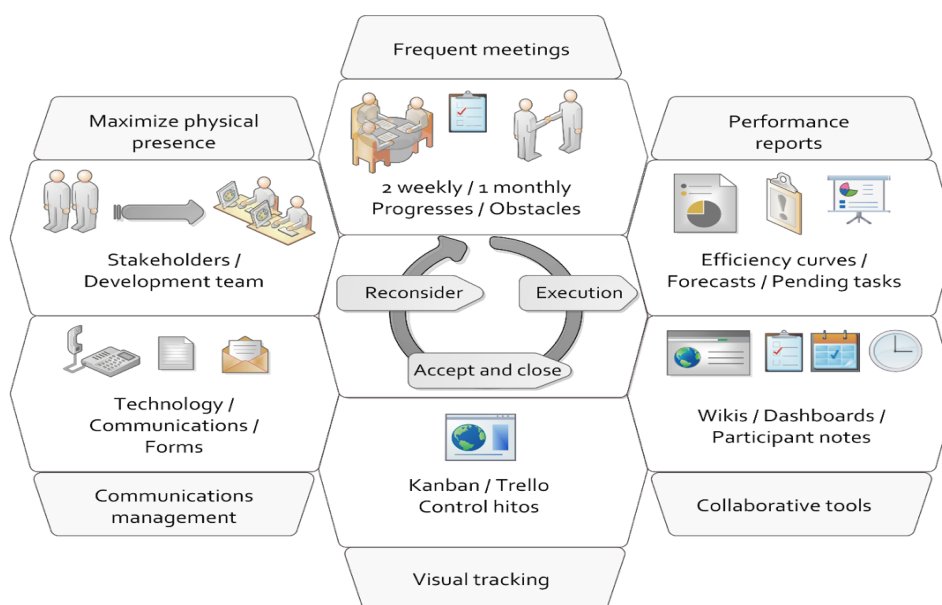
2.5. Relationship management

The supplier relationship management focuses its efforts on the participation of project stakeholders to maximize their presence during the development with the aim of achieving a greater understanding of problems and finding better solutions for the stated needs (see Figure 3).

Besides, it considers the use of collaborative tools and the graphic representation of the fulfillment of tasks to evaluate the project progress. The aim of using these tools is to reduce physical, cultural, and language distances, and to bring customer and supplier participants to work together. This phase manages the problems derived from changes or criteria differences during the development. The tasks that support this phase are the following:

- **Execute the communications management plan:** it aims to outline the activities of the communications management plan, meeting schedule, promote the communication and active participation of stakeholders and involve users in the development process, as well as developing the following actions:
 - ❑ Maximize the physical presence of stakeholders and end-users in the development team to get their feedback, to correct ambiguities in the requirements and achieve greater compliance, and to satisfy the desired functionalities.
 - ❑ Meet at least two times a week formally to answer questions, solve problems, track the progress of the development, verify the compliance of objectives, and the accomplishment of the agreements reached on previous sessions.
 - ❑ The meetings could be virtual because of the locations of members of the team in different places, but it is advisable to hold face-to-face sessions at least once a month. Therefore, a supplier with a local presence is desirable.
 - ❑ Create a list of the contact addresses of the provider and include the emails, phone numbers of managers, the details of the team members to contact for specific issues, and information to arrange videoconferences, and face-to-face meetings.

Figure 3. Supplier relationship management



- ❑ Messages exchanged should be concrete, coherent, complete, clear, concise, and correct, regardless of the means of communication used.
- ❑ Make a visual representation of the workflow for better communication, using a tool such as a Kanban board. So, the involved people can see pending and in-progress tasks to monitor the status of the project.
- ❑ Use collaborative work tools for communicating with the supplier (chats and emails), to carry out the knowledge management (wikis, note management, photo management, online storage, collaborative editions, publication of documents and presentations) and to perform project management (calendar control, follow-up of meetings, events, control of milestones, pending tasks, tools of responsibilities and distribution of work). Furthermore, it is essential to prepare mind maps and collaborative boards, for example, by using Conceptboards and corkboards to annotate concepts and leave notes to project participants.
- **Manage the resolution of conflicts:** the elements that are consider carrying out this task are the following:
 - ❑ **Inform the performance of the supplier:** It aims at collecting and distributing information about the performance of the supplier. It considers the ability of the supplier to understand requirements, its compliance of the schedule, costs, quality goals and management of incidents and risks.
 - ❑ It is necessary to analyze the causes of discrepancies between actual results and expected outcomes. If differences exist, the supplier should provide an action plan to meet the goals and deliverables agreed upon for the project.
 - ❑ **Present the findings:** this report includes performance measures carried out with the participation of stakeholders and users. This considers the review of incidents, problems, feedback, and opportunities for improvement.
 - ❑ **Identify effects:** this step looks to identify the changes that may cause incidents and affect the service during the next phase of the project execution.
 - ❑ **Evaluate external factors to the process:** it is responsible for evaluating events that are not linked directly to the software project but could affect its development and, therefore, require special attention from the supplier.
 - ❑ **Manage conflict resolution:** it aims to solve and negotiate discrepancies and manage variations due to requirements not initially contemplated that alter the scope of the project objectives.

2.6. Acceptance and closing

This phase emphasizes the reception and evaluation of deliverables, partial and final, based on the acceptance criteria. These must be aligned with the testing goals and planned quality levels. The basic tasks of this phase are the following:

- Receive the final delivery of the system, perform the corresponding tests, evaluate it based on the acceptance criteria and assess the results of the evaluation.
- Receive the final delivery of the system, perform the corresponding tests, evaluate it based on the acceptance criteria, and assess the results of the evaluation.

- Prepare a detailed report If non-conformities are identified and call for actions to proceed with the corrections.
- Manage pending invoices and payments.
- Confirm the acceptance of all deliverables if the project finished successfully.
- Evaluate the supplier, and report the lessons learned to use them as a reference in future projects.

2.7. Reconsideration

This phase carries out an evaluation based on experience and the information collected during the development of the project, and considers performing the following activities:

- Perform evaluations of the scope of projects, the service, and contracts on an annual basis. It appraises the current needs of the business and ensures that the return value is according to the investment and the business market. After this assessment, some adjustments align the projects with the strategic goals of the organization.
- Adjust the requirements and planning when there exists a perception of dissatisfaction with the execution of the project, although the supplier is providing the service following the required service levels, and it is fulfilling the evaluation criteria.
- Reconsider changing suppliers when there is evidence of non-compliance with the requirements, service levels, and other critical factors for the success of the project. Assess the impact that this decision may cause to the organization and make a balance of the benefits and consequences.
- Perform the back sourcing of the project when contracting an external organization for its development does not add value to the business or return on investment. It is a strategic decision that also considers the impact on costs and business opportunities for the organization. This type of decision is independent of the levels of compliance of the supplier in performing its functions and fulfilling the service level agreements and timing goals.

Figure 4 shows the phases described above for the third-party management of software development, the roles of people involved in each phase, and the inputs and outputs expected.

3. Conclusions

The management of relations is critical when contracting suppliers for the development of software systems. So, this work focused on the development of a methodology to facilitate the management of an outsourcing project.

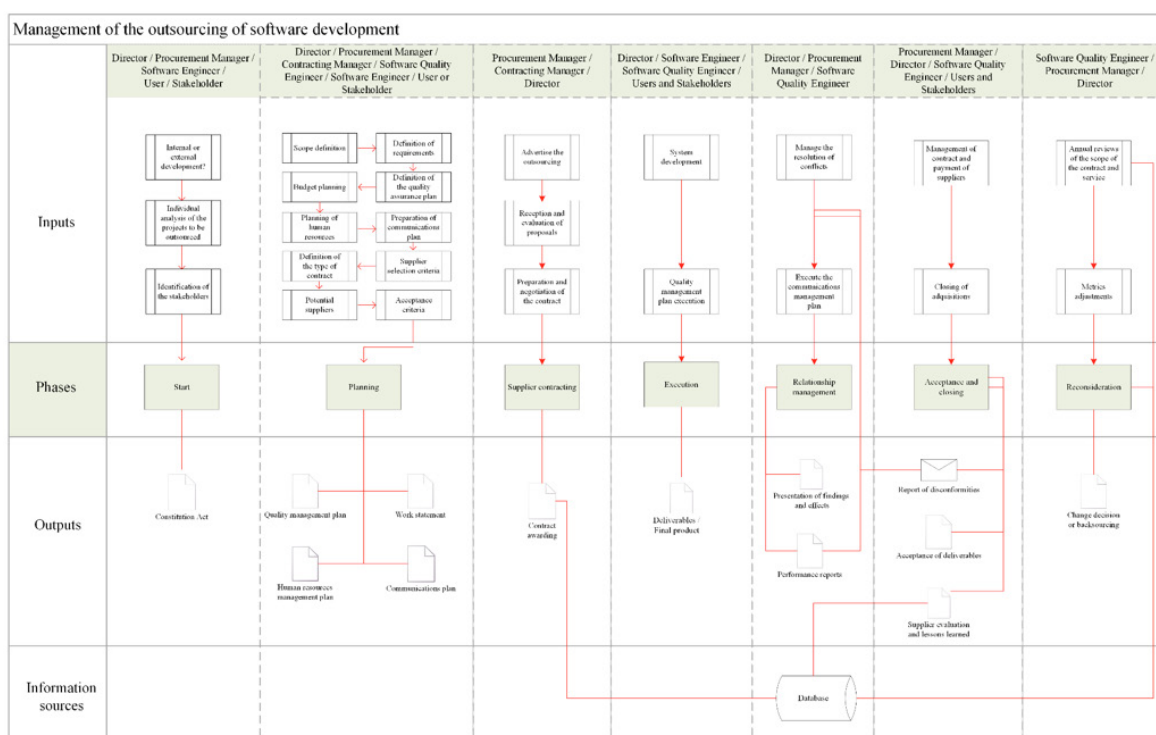
The methodology is a synthesis of the processes and best practices for the management of outsourcing. It summarizes fundamental aspects about the phases, tasks, and outputs in each of the stages of an externalization project. Therefore, it aims to be a useful tool to provide an overview of the factors to consider during the planning and development of software projects contracted to third parties.

The methodology essential elements are the planning of the management of the relationship with suppliers, the communications, and the quality assurance during the outsourcing process since the system conception to its acceptance. Furthermore, one of the virtues of the

methodology is its visual synthesis. It provides a clear overview of the activities to consider and the route to follow for understanding the process and aiding the communication with the management.

Future work will evaluate the use of collaborative tools and project management to identify the best options to integrate into an outsourcing process. Besides, it is going to consider the development of a methodology to contribute to perform requirements elicitation accurately, considering the active participation of users and stakeholders.

Figure 4. Outsourcing management methodology for software development



References

- Erazo-Paruma, L. R., Guerrero-Mera, G. L., & Correa-Pino, F. J. (2014). Método para la adquisición de software en pequeñas organizaciones. *Revista UIS Ingenierías*, 13 (1): 33-46.
- Franceschini, F., Galetto, M., Pignatelli, A. & Varetto, M. (2003). Outsourcing: guidelines for a structured approach. *Benchmarking: An International Journal*, 10 (3): 246-260.
- Grossi, L., & Calvo-Manzano, J. A. (2012). Mejora de procesos en el ámbito de adquisición: Un modelo de decisión para la selección de Proveedores de TI. *CISTI (Iberian Conference on Information Systems & Technologies / Conferência Ibérica de Sistemas E Tecnologias de Informação) Proceedings*: 483-488.
- IEEE Computer Society. (2014). {SWEBOK}, Guide to the Software Engineering Body of Knowledge. Retrieved from, <https://www.computer.org/web/swebok>
- Mendoza, L. E., Pérez, M. A., Grimán, A., & Rojas, T. (2002). Algoritmo para la Evaluación de la Calidad Sistemica del Software. In *Proceedings of Second Ibero-American Symposium on Software Engineering and Knowledge Engineering (JIISIC'02), Salvador, Brasil, Octubre, 2002* (85-96).

- Nunez-Sanchez Y., G.-T. A. & U.-B. A. (2019). Methodology for the management of outsourcing in software development processes. In *2019 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*.
- Perunović, Z., & Pedersen, J. L. (2007). Outsourcing process and theories. In *Proceedings of the Eighteenth Annual Conference (POMS), 4 a 7 de mayo, Dallas, Texas, 2007* (Vol. 3).
- Project Management Institute, I. (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (guía del {PMBOK}®)* (quinta). Project Management Institute, Inc.
- Selleo. (2016a). A Practical Guide to Outsourcing Your Software Development. Retrieved from <http://selleo.com/wp-content/uploads/2014/08/software-outsourcing-guide.pdf>
- Selleo. (2016b). A Practical Guide to Outsourcing Your Software Development.
- Whang, S. (1992). Contracting for Software Development. *Management Science*, 38 (3): 307-324. <https://doi.org/10.1287/mnsc.38.3.307>

Diseño, evaluación y validación de un sistema de tratamiento de efluentes del proceso de curtido de pieles: caso Pieles del Sur E.I.R.L.

(Design, evaluation and validation of an effluent treatment system for the leather tanning process: case Pieles del Sur E.I.R.L.)

Victor Muñoz Paz¹, Víctor Longa Cuayla², Alejandra Carreño Arispe³, José Aguilar Franco⁴

Resumen

En el presente proyecto se diseñó un sistema de tratamiento para los efluentes del proceso de curtido de pieles; este sistema se evaluó a partir de la realización de ensayos de laboratorio para asegurar su viabilidad, y se validó el tratamiento mediante el análisis de efluentes provenientes de la planta ya instalada. El sistema tiene tres unidades: la primera es un pretratamiento que permite la oxidación de sulfuros para los baños de pelambre y calado, así como la precipitación de cromo para los baños de piquelado y curtido; la segunda es un tratamiento físico-químico para los efluentes generales del proceso que permite obtener efluentes tratados y sólidos decantados; la tercera es un tratamiento de lodos que permite obtener lodos acondicionados y de bajo volumen a ser recolectados para su disposición final. El análisis de los efluentes tratados demostró una reducción considerable en la concentración de químicos contaminantes que permite reutilizar el agua y acerca a la empresa al cumplimiento de los niveles máximos permisibles.

Palabras clave

Curtido de pieles; tratamiento de efluentes; contaminación.

Abstract

In this project a treatment system for the effluents of a leather tanning process was designed. This system was evaluated based on laboratory tests to ensure its viability, and the treatment was validated by analyzing effluents from the plant already installed. The system has three units: the first one is a Pretreatment that allows the oxidation of sulphides for the liming and draught baths, as well as the precipitation of chromium for the leather tanning baths; the second one is a Physical-Chemical Treatment for the general effluents of the process that allows to obtain treated effluents and decanted solids; the third is a sludge treatment that allows to obtain conditioned and low volume sludge to be collected for final disposal. The analysis of treated effluents showed a considerable reduction in the concentration of polluting chemicals that allows reusing the water and brings the company closer to compliance with the maximum levels allowed.

Keywords

Leather tanning; effluent treatment; environmental pollution.

1. Introducción

El curtido es el proceso de transformación de la piel de diferentes animales en cuero, para ello se añade un producto curtiente que sea capaz de penetrar en su estructura para bloquear los grupos aminos de la estructura coloidal; esto evita su degradación y aumenta el entrecruzamiento de las moléculas para obtener una estructura inerte a los efectos dispersantes del agua. Las etapas de producción requieren un alto consumo de agua, generando un alto nivel de efluentes líquidos que requieren de tratamiento (Artiga, 2005).

1 Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú (victor.munoz@ucsp.edu.pe).

2 Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú (vjlonga@ucsp.edu.pe).

3 Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú (alejandra.carreno@ucsp.edu.pe).

4 Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú (jaaguilar@ucsp.edu.pe).

La generación de este tipo de efluentes afecta directamente a la calidad del medio ambiente, razón por la cual el Gobierno de Perú ha generado una normativa que tiene por objetivo minimizar los efectos negativos de operaciones productivas como las que se dan en el proceso de curtido, entre otras: Decreto Supremo n.° 019-97-ITINCI "Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera", el Decreto Supremo n.° 003-2002-PRODUCE "Límite Máximo Permisible de Efluentes para Alcantarillado de las Actividades de Cemento, Cerveza, Papel y Curtiembre", el Decreto Supremo n.° 021-2009-VIVIENDA "Valores Máximos Admisibles de las Descargas de Aguas Residuales no Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario".

La empresa peruana Pieles del Sur E.I.R.L. desarrolla las actividades de curtido de pieles, proceso productivo que antes del desarrollo del sistema de tratamiento propuesto demostró tener elevadas concentraciones de contaminantes y agentes químicos tóxicos en sus efluentes, tales como: cromo, sulfuro, SST (Sólidos en Suspensión Totales), DBO5 (demanda bioquímica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno) y nitrógeno amoniacal. Los resultados fueron obtenidos de diferentes monitoreos ambientales realizados a solicitud de la empresa para verificar el cumplimiento de las normas peruanas.

En general, los métodos tradicionales de producción de cueros en Perú incluyen metodologías que no aplican procesos de tratamiento óptimos para los contaminantes involucrados. Es así que, por ejemplo, estos métodos en promedio consumen entre el 60 % y el 80 % del cromo utilizado para el proceso de curtido, generando aguas residuales con altas concentraciones de cromo (Córdova, Vargas, Cesare, Flores y Visitación, 2014).

Los principales tipos de tratamiento para este tipo de aguas residuales se dividen principalmente en físico-químicos y biológicos. Los tratamientos físico-químicos incluyen operaciones como: desbaste, eliminación de sulfuros, homogeneización, decantación primaria, separación por flotación, coagulación-flotación, espesamiento, y secado de lodos; los tratamientos biológicos aplican procesos aeróbicos y anaeróbicos, e incluyen el tratamiento de lodos. Otra alternativa cuya utilización va en aumento es la utilización biorreactores de membrana (Artiga, 2005). Estos tratamientos tienen como objetivo la reducción de los niveles de contaminantes y agentes químicos tóxicos hasta niveles aceptables.

De acuerdo con la experiencia sobre oxidación y precipitación de compuestos sulfurosos descrita por Abia, Rejo y Vieira (2003), para el tratamiento de 1 kg de sulfuro se requiere de aproximadamente 4.9 kg de KMnO_4 en un medio alcalino de pH 8; la adición de una solución polímero aniónico al 0.75 % en peso permitirá recuperar 37.6 kg de residuos sólidos en 1 m^3 de agua residual, obteniéndose una oxidación teórica de casi 100 %. La desventaja de este proceso es el elevado uso de agentes químicos, generando gran cantidad de contaminantes sólidos. Es posible la sustitución del KMnO_4 por H_2O_2 , siendo que para 1 kg de sulfuro se requiere de 12.9 l de esta solución al 30 % en peso, vertiendo luego una solución de polímero aniónico al 1 % en peso, para separar los SST, obteniendo 1.1 kg de SST en 1 m^3 de efluente resultante. La desventaja es el incremento de la temperatura durante la reacción (Abia, Rejo y Vieira, 2003).

Para lograr la oxidación de sulfuros es posible inyectar aire (60 m^3 por 1 m^3 de efluente aproximadamente), en un entorno de pH 13. La adición de 3.2 mg de MnSO_4 por 1 mg de sulfato permitirá alcanzar una remoción promedio de 98.9 % (Salas, 2005). Por otro lado, dado que los sulfuros presentan una baja solubilidad con iones metálicos, lograr su precipitación es posible en un medio de pH entre 8.5 y 8.0; se requerirá de 8.7 kg de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ por 1 kg de sulfuro, ade-

más de una solución polímero aniónico al 2 %, en peso, para obtener 9.3 kg de SST por 1 m³ de efluente tratado. La precipitación de los sulfuros llega al 98 % (Abia, Rejo y Vieira, 2003).

Por otro lado, según Moral (2010), la precipitación de cromo puede lograrse a partir de la utilización de NaOH como agente precipitante, incluyendo una etapa de floculación posterior. La utilización de NaOH para la precipitación de cromo es un método que requiere de aproximadamente 5 g/l, habiéndose realizado estudios que sugieren que la utilización de complejantes de cromo reduce la dosis a 0.5 – 3.5 mg/L (Córdova et al., 2014). Otra experiencia de precipitación de cromo sugiere la utilización de 3 tipos de agentes: Na₂CO₃, Ca(OH)₂ y NaOH, alcanzando remociones de cerca del 99.7% con dosificaciones de 2.3 – 3.3 g del segundo, y 2.6 a 3.5 g del tercero por 1 g de cromo presente; en este caso, la variación de ciertos parámetros en el experimento genera el incremento de hasta 4 veces las dosis para alcanzar el resultado descrito (Ortiz, 2013).

Respecto a las operaciones de coagulación, los coagulantes más utilizados en este tipo de efluentes son: Ca(OH)₂, Al₂(SO₄)₃ y FeCl₃. Según las pruebas realizadas por Islam, Misbahuzzaman, Kamruzzaman y Chakrabarty (2011), el segundo, y una mezcla de este con el tercero generan resultados altos de remoción de diferentes agentes contaminantes. En el caso de floculantes, Haydar y Anwar (2009) realizan un experimento de tratamiento de efluentes de curtiembre empleando floculantes aniónicos y catiónicos en concentraciones de 5 mg/l, además de 100 mg/l de Al₂(SO₄)₃ para los primeros, y 160 mg/l de este mismo compuesto para los segundos. En el caso de los efluentes de la industria del cuero, la utilización de floculantes en el tratamiento químico permite reducir casi el 50 % de la utilización de coagulantes. Al utilizar un polímero catiónico se necesita de menos floculante, pero puede disminuir la cantidad de remoción de SST que se puede obtener debido a que en la reacción química estos dos entran en un conflicto para llenar los espacios de los coloides del efluente (Haydar y Anwar, 2009).

El objetivo del presente trabajo fue diseñar y evaluar un sistema de tratamiento de efluentes para la empresa Pieles del Sur E.I.R.L., basado en los resultados obtenidos por experiencias previas (revisión bibliográfica), así como en los resultados de pruebas y ensayos de laboratorio realizados con los efluentes de la empresa para asegurar que el sistema permita la mejora de la calidad de estos. Además, una vez implementado, obtener y presentar resultados del análisis de efluentes tratados para demostrar la aplicabilidad de la propuesta. El trabajo se desarrolló en el marco del Concurso de Proyectos de Innovación de Empresas individuales – PITEI de Innóvate Perú - Ministerio de la Producción, a través del Contrato 493-PITEI-2016.

2. Metodología

2.1. Material estudiado y parámetros analizados

El material analizado en el presente estudio corresponde a muestras de los efluentes obtenidos del proceso productivo de curtido de pieles para determinar su calidad antes y después del tratamiento. Los ensayos de laboratorio para desarrollar el diseño y evaluación del sistema consistieron en el análisis del nivel de oxidación de sulfuros, precipitación de cromo y prueba de jarras para diferentes alternativas de pre-tratamiento y tratamiento físico-químico. Los parámetros analizados y las correspondientes normas aplicados en los ensayos tras la implementación del sistema propuesto se detallan en la tabla 1:

Tabla 1. Parámetros analizados en los efluentes tratados

Ensayo	Unidad	L.C.M (*)	Norma de Referencia	Título
Aceites y grasas	mg/l	1.20	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Cromo	mg/l	0.20	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 E. / Part 3111 B, 23 rd Ed. 2017	Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method
Cromo Hexavalente	mg/l	0.010	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-CrB, 23 rd Ed. 2017	Chromium. Colorimetric Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	2.0	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	5	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH ₃ /l	0.10	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ D, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method
pH	Unidad de pH	0.01	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	5	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Sulfuro	mg/l	0.020	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-S ₂ - D, 23 rd Ed. 2017	Sulfide. Methylene Blue Method
Temperatura	°C	0.01	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B. 23rd Ed. 2017	Temperature. Laboratory and Field Methods

Fuente: Informe de Ensayo n.º: IE-19-3730, Analytical Laboratory E.I.R.L.

(*) Límite de cuantificación del método

2.2. Sistema de tratamiento propuesto

El sistema de tratamiento propuesto consta de cuatro procesos en tres unidades de tratamiento, las cuales permitirían la remoción de DBO y DQO en un 50 % y 70 %, respectivamente; además de reducir las concentraciones de cromo y sulfuro a valores menores a 1mg/l (figura 1).

A. **Unidad de pretratamiento:** consta de un sistema de oxidación de sulfuros para tratar los baños de pelambre y calado, y de un sistema de precipitación de cromo para el tratamiento de los baños de piquelado y curtido.

Los baños de pelambre y calado son descargados a un caudal promedio de 15 m³/h en una canaleta instalada al ras del piso debajo de los botales, direccionando el efluente al filtro de pelos para eliminar pelos y sólidos de gran tamaño. A continuación, el efluente es dirigido a una trampa de grasa con una capacidad de 3 m³, en el que permanece por aproximadamente 11.4 minutos para separar mediante flotación la grasa del efluente. Este último es entonces dirigido a un tanque de recirculación de baños de pelambre con una capacidad de 8 m³ a un caudal de 5 m³/día; los efluentes permanecen en el tanque un máximo de 2 días para poder ser recirculados o con-

tinuar con el proceso. Posteriormente, los efluentes pasan al tanque de oxidación de sulfuros que tiene una capacidad de 40 m³, en el que mediante la inyección de aire comprimido por una rampa de aireación se removerán los sulfuros por aproximadamente 8 horas.

Los baños de piquelado y curtido se descargan a un caudal promedio de 15 m³/h en una canaleta instalada al ras del piso debajo de los botales, direccionando el efluente a un primer filtro de bolsa que recolecta residuos gruesos y parte de las impurezas presentes. Después, el efluente se traslada a un tanque de precipitación de cromo con capacidad para 10 m³, en el que se sedimentan las aguas con cromo por aproximadamente 2 horas mediante decantación y la acción de un agitador de revolución baja. El efluente obtenido pasa por un segundo filtro de bolsa al mismo caudal que el primero, lo que permite separar el efluente de residuos sólidos con restos de cromo.

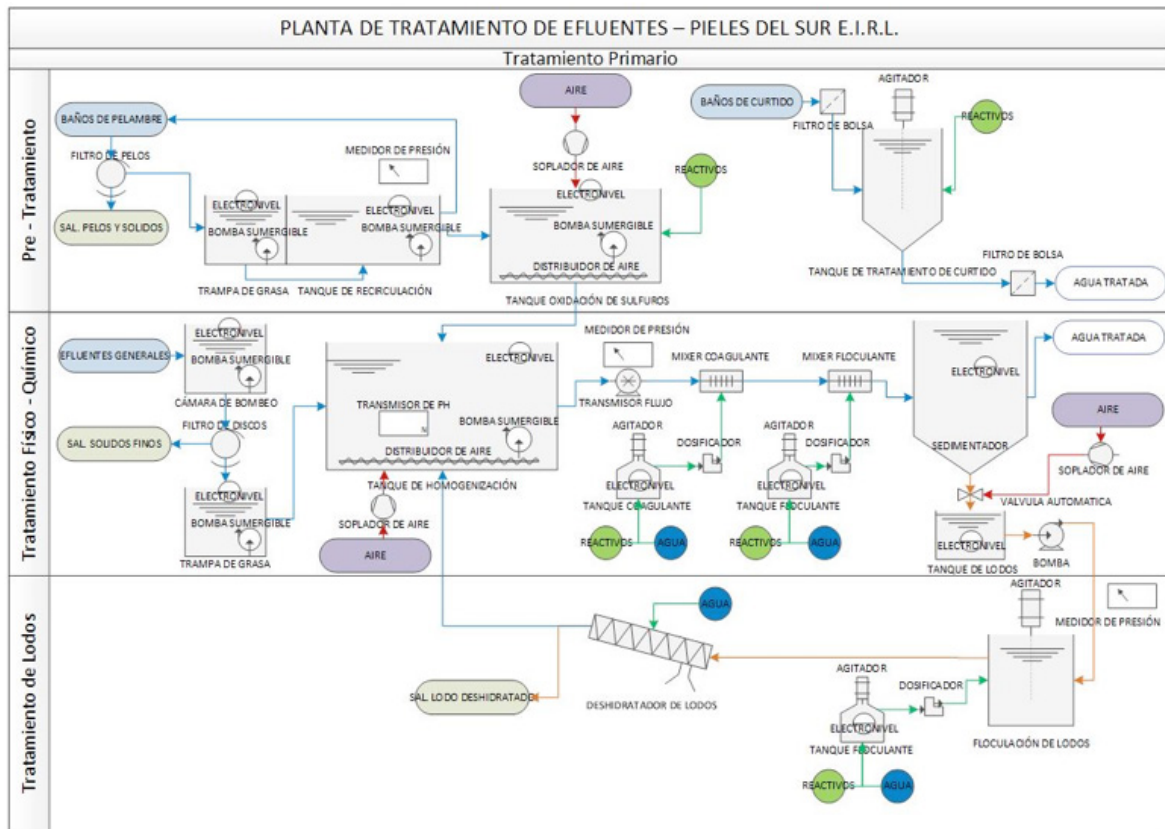
- B. **Unidad de tratamiento físico-químico:** recibe los efluentes generales del proceso de curtiembre y los de la Unidad de pretratamiento.

Los baños generales se descargan a un caudal promedio de 15 m³/h en la canaleta instalada al ras del piso, debajo de los botales, siendo estos direccionados hacia una cámara de bombeo de 8 m³. El flujo de salida del efluente es el mismo gracias a la acción de una bomba sumergible que lo direcciona hacia un microfiltro de discos que remueve parte de los sólidos existentes. Luego, empleando una trampa de grasa de 6 m³, se separa la grasa a un caudal de 21 m³/h por los siguientes 17 minutos aproximadamente. Estos efluentes, junto con los provenientes del tanque de oxidación de sulfuros, son contenidos en el tanque de homogeneización de 1000 m³, el cual trabaja a un caudal promedio de 10 m³/h para, mediante inyección de aire por una rampa de aireación, separar los SST y parte del Nitrógeno Amoniacal por las siguientes 10 horas. Una vez aireados y homogeneizados, los efluentes son enviados al mixer de coagulación y floculación, agitadores estáticos de espiral colocados en las tuberías para mezclar el coagulante y floculante a un caudal no menor de 1 m³/min. El efluente resultante es desaguado en el decantador primario o sedimentador de 20 m³, en donde permanece aproximadamente por 1.3 horas a un flujo continuo de 10 m³/h para remover el DBO₅ y DQO contenidos en los flóculos formados, obteniendo el efluente tratado y sólidos decantados que son enviados al tratamiento de lodos.

- C. **Unidad de tratamiento de lodos:** recibe los sólidos decantados del tratamiento físico-químico.

Los lodos resultantes son recibidos en un tanque de almacenamiento de lodos de 2 m³ a un caudal promedio de 5 m³/h, donde permanecen por aproximadamente 24 minutos. A través de una válvula de lodos y una bomba de lodos se trasladan los lodos a un tanque floculante para ser mezclados con sales y polímeros, obteniendo un lodo adensado de fácil extracción. Este último, que tiene entre 2 % y 3 % de contenido de sólidos, pasa por un sistema mecanizado de deshidratación de lodos, obteniendo un lodo acondicionado y de bajo volumen, listo para su disposición final.

Figura 1. Esquema del sistema de tratamiento de efluentes



Fuente: Proyecto Convenio n.º 493-Innovate Perú PITEI.

El diseño del sistema de tratamiento de efluentes propuesto fue evaluado a partir de ensayos de laboratorio para garantizar la reproductibilidad del modelo antes de su implementación. Se realizó:

- **Pretratamiento de efluentes de pelambre:** análisis de una muestra de los efluentes de pelambre para conocer el máximo contenido de sulfuros, así como un ensayo de oxidación de sulfuros en este tipo de efluentes. El ensayo, que se realizó en un depósito de 4 l de capacidad, implicó la inyección de aire, empleando como referencia la oxidación máxima posible mediante H₂O₂ y MnSO₄.
- **Pretratamiento de efluentes de curtido:** utilización de agentes basicantes de NaOH (las dosis se determinaron mediante ensayos de 4 tipos de tratamiento) para lograr la insolubilización del cromo, logrando su precipitación en forma de una lechada densa de color celeste, dejando un sobrenadante transparente que evidencia la no presencia de sales de cromo.
- **Tratamiento físico químico de efluentes generales:** realización de pruebas de jarras para determinar si los procesos de coagulación / floculación son viables para tratar los efluentes de la empresa. Las pruebas se realizaron con 6 agentes, 2 agentes coagulantes que son sales cargadas y 4 floculantes que son polímeros orgánicos e inorgánicos

con carga positiva, negativa y neutra. Las pruebas realizadas se hicieron para determinar la mejor combinación de agentes químicos que permita la separación del efluente en sobrenadante y flóculos sedimentados, y posteriormente determinar qué combinación dará la mejor separación de fases en las dosis; para esto último se preparó un diseño experimental factorial que involucro a las distintas concentraciones de los insumos.

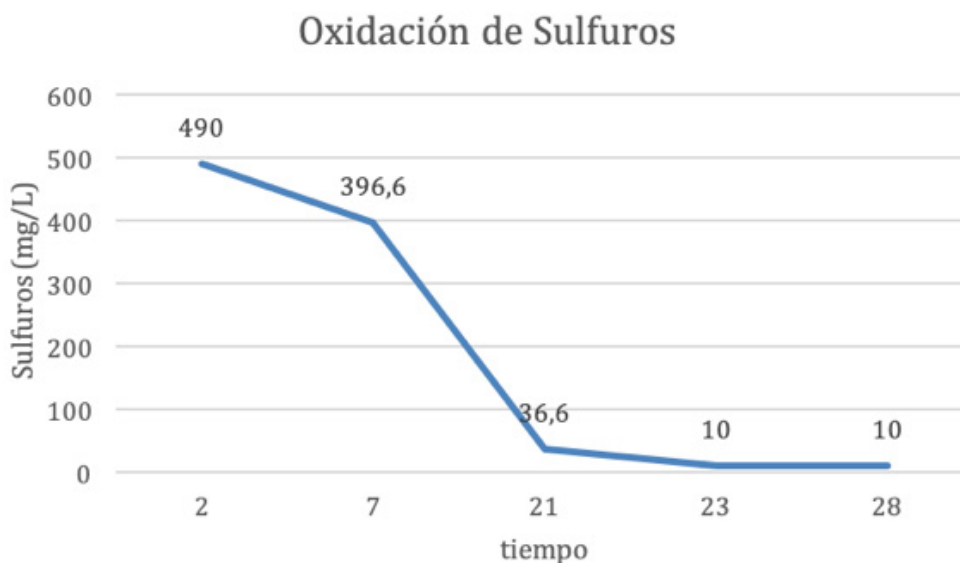
3. Resultados y discusión

3.1. Resultados de los ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio permitieron garantizar la reproductibilidad del modelo diseñado antes de su implementación:

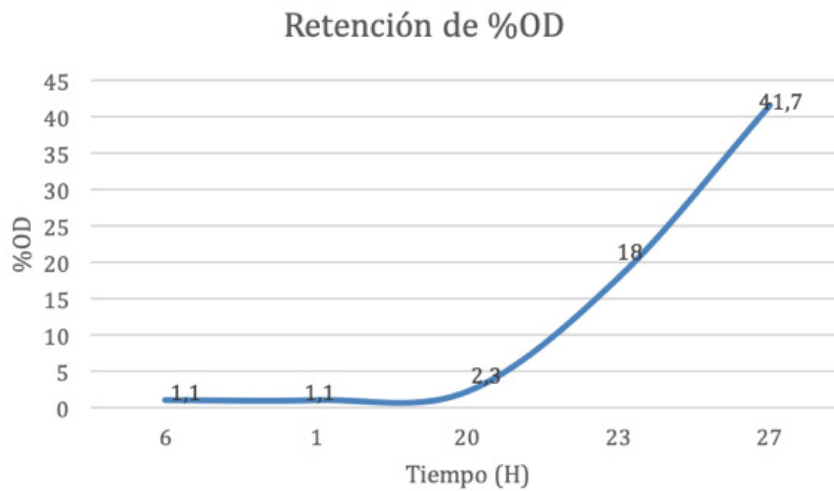
- El ensayo de oxidación de sulfuros permitió crear una curva de oxidación presentada en la figura 2, en la cual se observa el tiempo necesario para la reducción de la concentración de sulfuros de 490 mg/l a 10 mg/l. El caudal de entrada para esta oxidación fue de 1.700 ml/min, lo cual indica que el requerimiento de oxígeno es alto; es importante mencionar que el tiempo de contacto de las microburbujas de aire en la unidad experimental es mínimo, mientras que en el caso de la poza donde se llevará a cabo la oxidación el tiempo de contacto será mayor, disminuyendo considerablemente los requerimientos de aire a ser inyectado. Por otro lado, en la figura 3 se puede evidenciar el incremento de oxígeno disuelto a medida que a medida que se reduce el contenido de sulfuros, siendo el nivel máximo alcanzado de 41.7 %, lo cual implica la mínima presencia de estos compuestos en los efluentes ya oxidados.

Figura 2. Curva de oxidación de sulfuros



Fuente: Ensayos de pretratamiento y tratamiento de efluentes en la empresa Pieles del Sur-Arequipa.

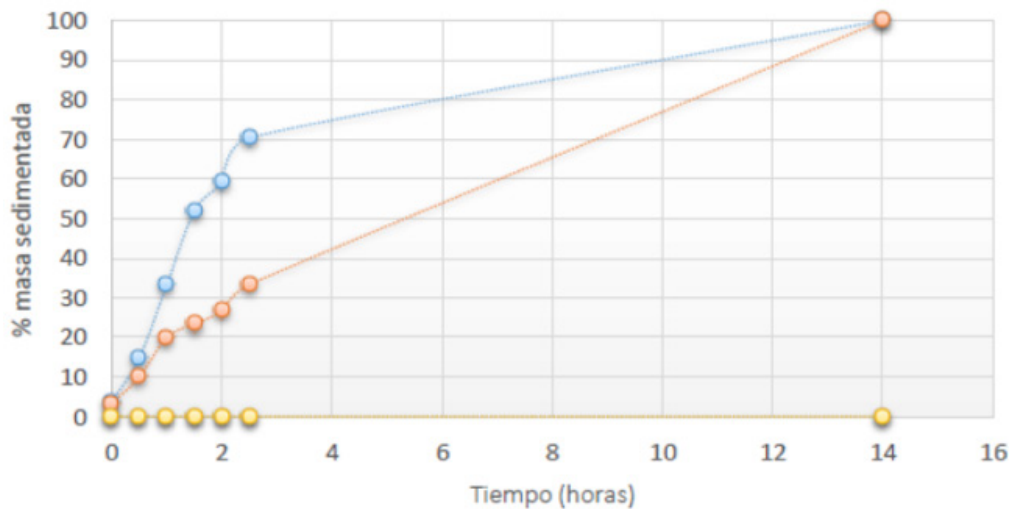
Figura 3. Porcentaje de requerimiento de oxígeno disuelto en función al tiempo



Fuente: Ensayos de Pre-tratamiento y tratamiento de efluentes en la empresa Pieles del Sur-Arequipa.

- El ensayo de precipitación de cromo evidenció durante la utilización de agentes basificantes que el mayor nivel de remoción de cromo se alcanzó al llegar a un pH de 9.5. Los 4 tipos de tratamiento permitieron una reducción de la turbidez de los efluentes de 871 NTU a 325 NTU en el tratamiento 1 (12 g/l), 1 NTU en el tratamiento 2 (6 g/l), 126 NTU en el tratamiento 3 (3 g/l), y 173 NTU en el tratamiento 4 (1.5 g/l); se denominó tratamiento 5 a un ensayo sin basificantes (sin variación de turbidez). La figura 4 muestra el porcentaje de sedimentación lechada de cromo para los tratamientos 1, 3 y 4 (curva roja), tratamiento 2 (curva azul), y tratamiento 5 (curva amarilla); de acuerdo con estos resultados, a las 14 horas se alcanza una sedimentación máxima de casi 100 % en ambos casos.

Figura 4. Sedimentación de la lechada de cromo con respecto al tiempo



Fuente: Ensayos de Pre-tratamiento y tratamiento de efluentes en la empresa Pieles del Sur-Arequipa.

- El ensayo del tratamiento físico químico se evaluó en función al nivel de DQO y de turbidez del efluente analizado; sin embargo, esta última variable no era un indicador adecuado por sí solo, ya que una determinada combinación de agentes podría generar un alto nivel de reducción de turbidez, mas no de DQO. La tabla 2 muestra los resultados de las 2 combinaciones con mejores resultados:

Tabla 2. DQO y turbidez en muestra de Floccpol003 + PAC y Floccpol003 + FeCL3

Tratamiento	DQO (mg/l)	Turbidez (NTU)
Floccpol003 + PAC	3.150	7
Floccpol003 + FeCL3	1.766	68

Fuente: Ensayos de pretratamiento y tratamiento de efluentes en la empresa Pieles del Sur-Arequipa.

Los resultados del análisis de una muestra de efluentes en blanco arrojan un nivel de DQO de 5.133 mg/l y de turbidez de 542 NTU, evidenciando que, mediante el segundo tratamiento de la tabla 3 es posible lograr una reducción de aproximadamente el 65 % de la concentración de DQO.

3.2. Resultados del sistema de tratamiento

Los resultados del último monitoreo de agua realizado sobre el sistema de tratamiento ya instalado y en operación se muestran en la tabla 3, en la que se comparan los valores de los parámetros a la entrada (punto de muestreo: cámara de ecualización) y a la salida (punto de muestreo: descarga del decantador) de la planta de tratamiento.

Tabla 3. Resultados de monitoreo de agua con el sistema implementado

Ensayo	Unidad	L.C.M	Entrada	Salida
Aceites y grasas	mg/l	1.20	6.20	10.20
Cromo	mg/l	0.20	12.69	0.72
Cromo hexavalente	mg/l	0.010	<0.010	<0.010
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	2.0	2253.0	910.5
Demanda química de oxígeno	mg/l	5	4377	1969
Nitrógeno amoniacal	mg N-NH3/l	0.10	124.50	115.00
pH	Unidad de pH	0.01	7.22	7.11
Sólidos suspendidos totales	mg/l	5	1660	174
Sulfuro	mg/l	0.020	<0.020	<0.020
Temperatura	°C	0.01	18.7	16.6

Fuente: Informe de Ensayo n.º: IE-19-3730, Analytical Laboratory E.I.R.L.

Las mayores reducciones de se dieron en los niveles de cromo y de sólidos suspendidos totales, equivalentes al 94.3 % y 89.5 %, respectivamente. El nivel de DBO se redujo en un 59.6 %, mientras que el de DQO en un 55.0 %. Finalmente, el nitrógeno amoniacal y pH tuvieron reducciones menores equivalentes al 7.6 % y 1.5 %; en el caso de los aceites y grasas se evidenció un incremento del 64.5 %, respecto del valor obtenido en la entrada.

4. Conclusiones y recomendaciones

La realización de ensayos de oxidación de sulfuros, precipitación de cromo y prueba de jarras permitieron el diseño y evaluación del sistema antes de su implementación, seleccionando las operaciones e insumos que permitieron mejorar los resultados esperados respecto a la calidad de los efluentes.

Con la aplicación del sistema de tratamiento se alcanzaron altos niveles de reducción de diferentes contaminantes y agentes tóxicos, principalmente: cromo (94.3%), sólidos suspendidos totales (89.5 %), DBO (59.6 %) y DQO (55 %), demostrando que el tratamiento propuesto tiene un efecto altamente positivo en la calidad de los efluentes.

Finalmente, el tratamiento propuesto está basado en el tipo de tratamiento físico-químico, siendo recomendable evaluar la aplicación de un tratamiento biológico posterior que permitiría el cumplimiento de los parámetros exigidos por la normativa vigente aplicable.

Referencias

- Abia, L., Rejo, M., y Vieira, R. (2003). La eliminación de sulfuros en el tratamiento de efluentes industriales peligrosos. *Ingeniería Química - Dialnet* (406): 2013-220.
- Artiga, P. (2005). *Contribución a la mejora del tratamiento biológico*. Tesis de Doctorado. Universidad de Santiago de Compostela.
- Córdova, H., Vargas, R., Cesare, F., Flores, L. y Visitación, L. (2014). Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza acomplejantes de cromo. *Revista De La Sociedad Química Del Perú, Scielo*, vol. 80 (3): 183-191. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000300005
- Haydar, S., y Anwar, J. (2009). Coagulation-flocculation studies of tannery wastewater using combination of alum with cationic and anionic polymers. *Journal Of Hazardous Materials-Science Direct*, 168 (2-3): 1035-1040. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389409003501?via%3Dihub>
- Islam, N., Misbahuzzaman, K., Kamruzzaman, A. y Chakrabarty, M. (2011). Efficiency of different coagulants combination for the treatment of tannery effluents: A case study of Bangladesh. *African Journal of Environmental Science and Technology-Researchgate*, 5 (6): 409-419. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/267194179_Efficiency_of_different_coagulants_combination_for_the_treatment_of_tannery_effluents_A_case_study_of_Bangladesh
- Moral, A. (2010). Depuración de Cromo III en aguas residuales que contienen alta carga proteica. *10 Congreso Nacional Del Medio Ambiente CONAMA10-Researchgate*, 1-10. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/267335276_Depuracion_de_Cromo_III_en_aguas_residuales_que_contienen_alta_carga_proteica
- Ortiz, N. (2013). *Recuperación y reutilización de cromo de las aguas residuales del proceso de curtido de curtiembres de San Benito (Bogotá), mediante un proceso sostenible y viable tecnológicamente* Tesis de Maestría. Universidad de Manizales. Colombia.
- Salas, G. (2005). Eliminación de sulfuros por oxidación en el tratamiento del agua residual de una curtiembre. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química-UNMSM*, 8 (1): 49-54. Recuperado de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing_quimica/v08_n1/pdf/a08v8.pdf

CFD Analysis of a solar flat plate collector with different cross sections

(Análisis CFD de un colector de placa plana con distintas secciones transversales)

Anthony Xavier Andrade,¹ William Quitiaquez Sarzosa,² Luis Fernando Toapanta³

Abstract

Low and medium solar heating systems used for domestic and industrial applications, such as water and space heating, usually utilize solar flat plate collectors in order to absorb solar thermal energy converting it into heat and then transferring the heat to a fluid (usually water or air) that flows through it. The aim of this study is to evaluate the solar flat plate collector's efficiency and the fluid behavior inside the pipeline with three different cross sections, whose hydraulic diameters are 10, 5.12 and 6.16 mm, by using ANSYS Fluent. The results obtained from the Computational Fluid Dynamics (CFD) tool showed that the collector with the Type I cross section reached temperatures up to 330 K at the pipe outlet obtaining an efficiency of 68 %, higher than those of Types II and III, whose efficiencies were 51 % and 60 %, respectively. Type I cross section also presented the lowest values in both speed and pressure drop, these being 0.266 m/s and 108.3 Pa, respectively.

Keywords

Solar collector, cross section, efficiency, ANSYS Fluent, CFD.

Resumen

Los sistemas de calefacción solar utilizados para propósitos industriales y domésticos como sistemas de calentamiento de agua y sistemas de calefacción, generalmente utilizan colectores solares de placa plana para absorber la energía solar térmica convirtiéndola en calor para luego transferir el calor a un fluido (generalmente agua o aire) que circula a través de él. El presente artículo evalúa la eficiencia del colector solar de placa plana, así como el comportamiento del fluido (agua o aire) dentro de la tubería con tres diferentes secciones transversales, cuyos diámetros hidráulicos son 10, 5.12 y 6.16 mm, utilizando ANSYS Fluent. Los resultados obtenidos con herramienta Computational Fluid Dynamics (CFD) mostraron que el colector con la sección transversal Tipo I alcanzó temperaturas de hasta 330 K en la salida de la tubería, obteniendo una eficiencia del 68 %, superior a la de los Tipos II y III, cuyas eficiencias fueron de 51 % y 60 %, respectivamente. La sección transversal del Tipo I también presentó los valores más bajos, tanto en velocidad como en caída de presión, con valores de 0.266 m/s y 108.3 Pa, respectivamente.

Palabras clave

Colector solar, sección transversal, eficiencia, ANSYS Fluent, CFD.

1. Introduction

Due to the environmental crisis and growing demand for energy, the development and implementation of renewable energy has become a matter of great importance. Solar energy is a promising source of energy due to its free availability and low operating costs, along its being a non-polluting source (Li, Liu, Guo, & Zhou, 2017; Kannan & Vakeesan, 2016). Solar energy can be used in solar water heating systems, pool heaters and other heating systems (Ingle, Pawar, Deshmukh, & Bhosale, 2013). Within solar energy systems, the main component is the solar collector, which is a heat exchanger that absorbs and captures incident solar radiation converting

1 Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador (aandradec1@est.ups.edu.ec), <https://orcid.org/0000-0002-3494-1963>.

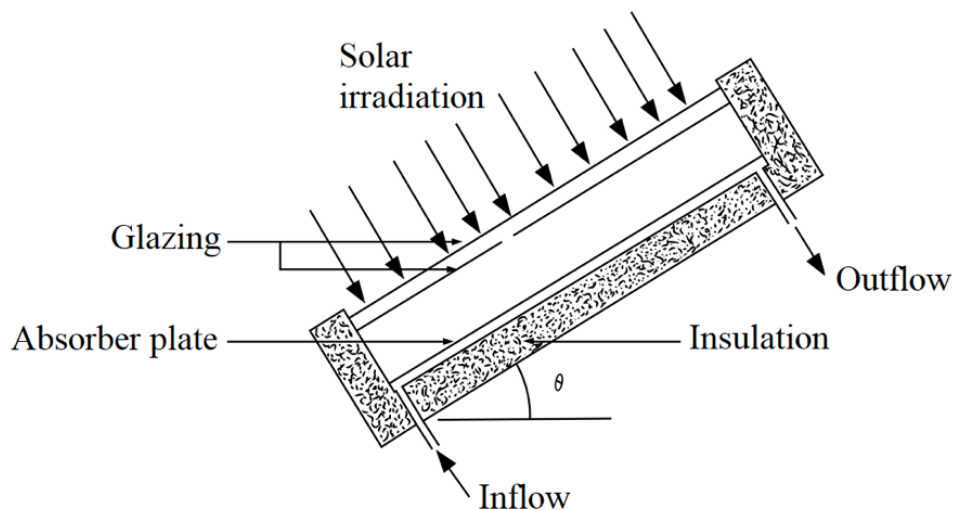
2 Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador (wquitiaquez@ups.edu.ec).

3 Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador (ltoapanta@ups.edu.ec).

it into heat and then transferring the heat to a fluid (usually water or air) that flows through the collector.

Although solar flat plate collectors produce lower temperatures, they have the advantage of being simpler in design and having lower maintenance costs and thus are the most used collectors for solar heating systems in the residential and industrial sectors (Ingle, Pawar, Deshmukh & Bhosale, 2013; Birhanu, Ramayya & Shunki, 2016). A typical flat plate collector consists of an insulated metal box with a glass or plastic cover, and a dark-colored absorber plate (Karanth, Madhwesh, Kumar, & Manjunath, 2015), as shown in Figure 1.

Figure 1. Schematic diagram of a flat plate collector. (Mesa, 2006)



According to Matrawy & Farkas (1997), the configuration of a solar collector is an important factor that determines its thermal performance. A solar collector with a serpentine tube works better than a conventional collector with parallel tubes due to the earlier appearance of turbulent flow that improves the application of heat transfer and increases its maximum efficiency from 62 % to 65 %. Myrna & Beckman (1998) concluded that the internal heat transfer coefficient, which increased approximately 3 % when a serpentine flat plate collector was used, was the main reason for the performance difference between a conventional flat plate collector and a serpentine flat plate collector. Eisenmann, Wiese, Vajen & Ackermann (2000) conducted experiments on two serpentine flat plate collectors, which had the same shape and geometry. In the first collector, the serpentine tube was welded directly to the absorber plate; whilst in the second collector, the serpentine tube and the plate were joined without thermal fusion. Both collectors were placed under the sun in identical weather conditions and their performances were compared. The efficiency of the first collector increased from 2 % to 2.5 %.

Investigations by Prakash, Vishnuprasad & Ramana (2013) and Madhukeshwara & Prakash (2012) showed that the use of special surface coatings improves the optical properties of the collector, the operating temperatures and the performance of the system. Sopian, Syahri, Abdullah, Othman & Yatim (2004) experimentally studied the performance of a new design of solar water heater, where the collector and storage tank were integrated into the same unit. The temperatures registered in the storage tank oscillated between 60 and 63 °C with a radiation of 700 W/m² and the efficiency of the system was 45 % with an ambient temperature of 31 °C.

Prasad, Byregowda & Gangavati (2010) conducted an experimental study on a water heater with a flat plate collector and a solar tracking mechanism increasing the system's thermal efficiency by 21 %, approximately. Meanwhile, Basavanna & Shashishekar (2013) analyzed a flat plate solar collector with triangular pipes obtaining an increase in the water outflow temperature up to 330 K. Shelke & Patil (2015) analyzed the effect of variations in tube shapes for flat plate solar water heater. They compared the outlet temperature between an elliptical tube and a circular tube, concluding that elliptical tube gives the maximum outlet temperature of water for the same heat flux and inlet temperature. The outlet temperature difference between circular and elliptical tube was 4.17 °C.

Selmi Al-Khawaja & Marafia (2008) simulated and analyzed a flat plate solar collector using a Computational Fluid Dynamics (CFD) software. An experimental model was built and experimental tests were performed to validate the CFD model, obtaining good results. The simulated temperature curve has the same behavior as that experimental one and they are similar. A numerical and experimental investigation of the flow and temperature distribution in a solar collector was performed by Ranjitha, Somashekar, & Jamuna (2013), they investigated the influence of the tube shape and the absorber plate effect on flow and thermal distribution with CFD simulations. The comparison between CFD simulations and the experimental measurements showed only 5 % deviation.

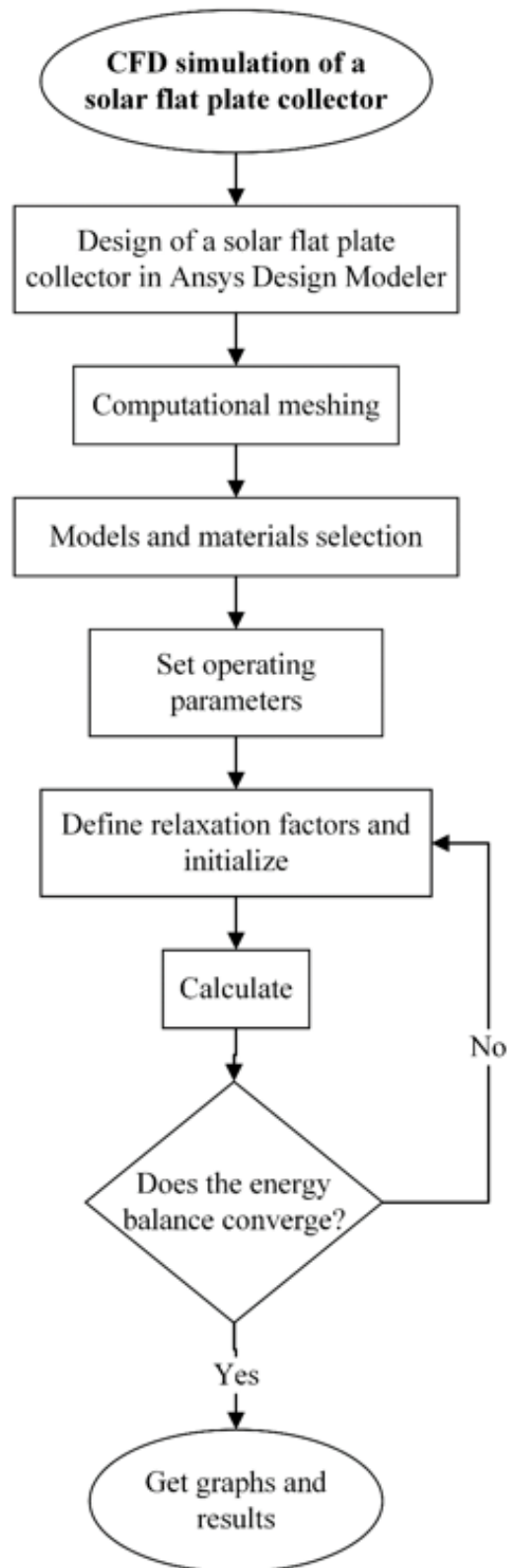
Muhammed & Benny (2015) analyzed the performance of a flat plate solar collector using ANSYS Fluent. They investigated the effect of certain important parameters such as mass flow, material of the absorber plate and variations in the shape of the collector tubes by comparing the inflow and outflow temperature of the fluid. Meanwhile, also using ANSYS Fluent, Mukesh (2016) compared the CFD solutions of different used forms of absorber plates in flat plate collectors. The plate with the best results was selected to be manufactured. They concluded that CFD analysis is an effective tool for researchers to simulate several models in different operating conditions, without manufacturing them comparing their results, saving time and money.

Vasudeva, Manjunath & Yagnesh (2011) analyzed the performance of a flat plate solar collector by using the Discrete Transfer Radiation Model (DTRM). They observed that the heat transfer to the fluid due to solar radiation increased when mass flow rate increased, while the temperature of the absorber plate decreased. Additionally, Marroquin, Olivares, Jiménez, Zamora & Encinas (2013) performed the CFD simulation of two collectors with different cross sections, with a rectangular and a circular cross section. Both showed a temperature increase up to 62.5 °C. The authors also determined the Reynolds number for each collector; collector A presented a variation of $25 < Re < 115$, whilst collector B showed a variation of $200 < Re < 225$, concluding that collector B was the most efficient since it presented a more uniform flow.

There are not a lot of investigations about cross sections of the solar collector, through which the fluid flows, the selected sections were chosen according to a thermal analysis. CFD model proposed in the present investigation was validated with the simulation performed by Gunjo, Mahanta & Robi (2017) in their research entitled "CFD and experimental investigation of flat solar water heating system under steady state condition". Figure 2 shows the used process to carry out the presented investigation.

The aim of this study is to investigate the effect of operating parameters on the performance of a solar flat plate collector with different cross sections component of a direct expansion solar assisted heat pump (DX-SAHP). A mathematical description of the system governing equations is presented, and the effect of different cross sections was analyzed.

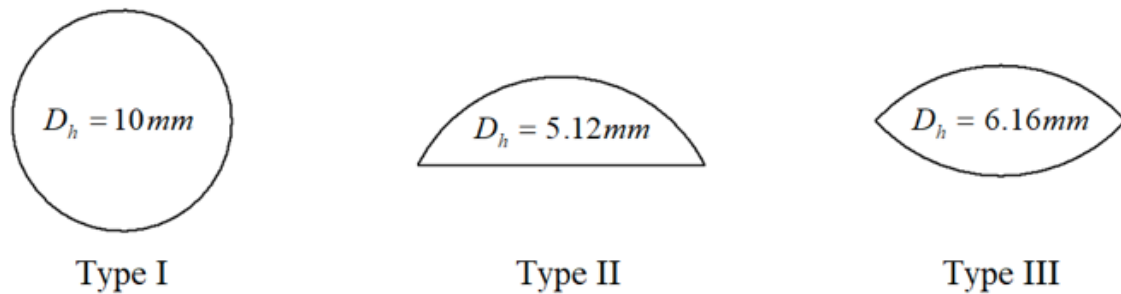
Figure 2. Flow chart of the CFD simulation



2. Numerical modelling

This study analyzed three geometries for the cross section of a pipe of a conventional flat plate collector, as shown in Figure 3. The behavior of the fluid and performance of the solar collector are studied using the three configurations.

Figure 3. Types of cross sections



2.1. Governing equations

For the CFD analysis, ANSYS Fluent 16 was used to determine the water outflow temperature, as well as the heat distribution in the plate by solving the equations of continuity, momentum and energy (ANSYS Fluent Theory Guide 12.0, 2009; ANSYS Fluent User Guide, 2012):

- Continuity equation

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

The source S_m is the added mass to the continuous phase from the second dispersed phase.

- Moment equation

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla_p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

Where $\vec{\tau}$ is the stress tensor:

$$\vec{\tau} = \mu \left[\left(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T \right) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad (3)$$

- Energy equation

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\bar{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \bar{J}_j + (\bar{\tau}_{eff} \cdot \bar{v}) \right) + S_h \quad (4)$$

In Equation 4,

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (5)$$

2.2. Computational domain

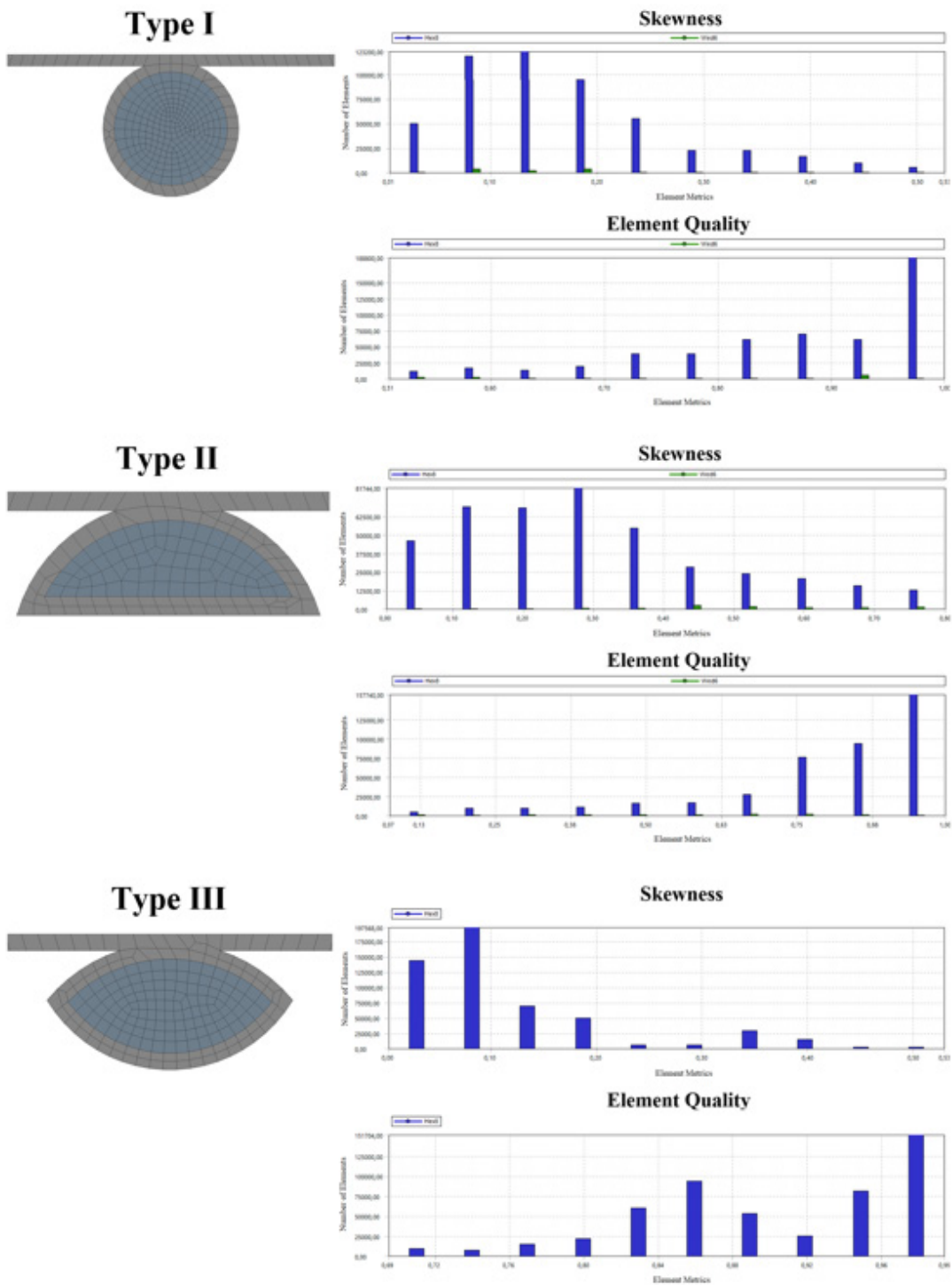
The length, width and thickness measurements of the collector are 1.6, 0.1 and 0.001 m, respectively, whilst the dimensions of the pipe cross section vary according to the type of the used section. Table 1 shows the main characteristics of the collector used in this investigation.

Table 1. Collector specifications

Description	Specification
Length of absorber plate	1.6 m
Width of absorbent plate	0.1 m
Thermal conductivity of absorber plate	387.6 W/m-K
Density of plate material	8954 kg/m ³
Plate thickness	0.001 m
Pipeline thickness	0.001 m

Domain discretization was done considering a structured grid consisting of hexahedral elements of 0.8 mm for the fluid part and 1 mm for the solid part. The number of registered elements in the mesh for the computational domain consisting of water, water pipe and absorber plate are 523200 for Case I, 425780 for Case II and 515088 for Case III. Figure 4 shows the used 3D meshes for the different sections, as well as their skewness and their element quality.

Figure 4. Computational meshing



2.3. Simulation conditions

The analysis was carried out based on the following assumptions:

- The physical and thermal properties of the absorber plate, pipe and water are independent of the temperature.
- Water is a continuous and incompressible.
- The flow is stable and has characteristics of laminar flow.
- The heat loss from the bottom of the plate and the tube is by convection, which depends upon wind speed

A constant heat flux (solar radiation) is applied to the upper part of the plate, whilst the lower part is established as a convective surface where the convective heat transfer coefficient is obtained by (Gunjo et al., 2017):

$$h_{conv} = 2.8 + 3 v_w \quad (6)$$

Where:

h_{conv} Convective heat transfer coefficient, W/m²-K
 v_w Wind speed, m/s

The efficiency of the solar collector is determined by:

$$\eta = \frac{\dot{m} c_p (T_o - T_i)}{I A_c} \quad (7)$$

Where:

\dot{m} Mass flow of fluid, kg/s
 c_p Specific heat of the fluid, J/kg-K
 T_i Fluid inflow temperature, K
 T_o Fluid outflow temperature, K
 I Solar radiation, W/m²
 A_c Effective area of the collector, m²

The parameters of solar radiation, ambient temperature, water inflow temperature and mass flow used in the computational model are shown in Table 2.

Table 2. Operating parameters

Parameter	Value
Solar radiation	1200 W/m ²
Mass flow	0.0125 kg/s
Room temperature	310 K
Water inflow temperature	305 K
Wind speed	2 m/s

3. Results and discussion

Figures 5, 6 and 7 show the temperature variation in (i) the upper part of the plate, (ii) the pipe outflow, and (iii) along the water pipe divided in sections, obtained from the CFD simulation.

Figure 5. Temperature variation in the upper part of the plate

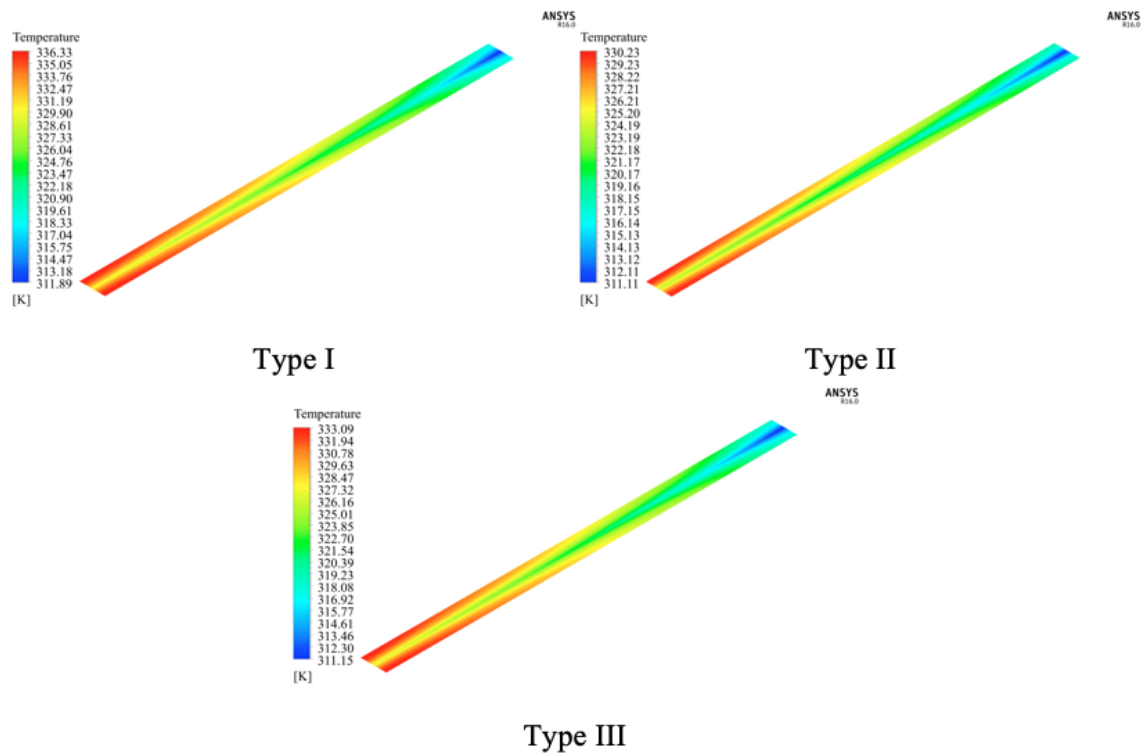
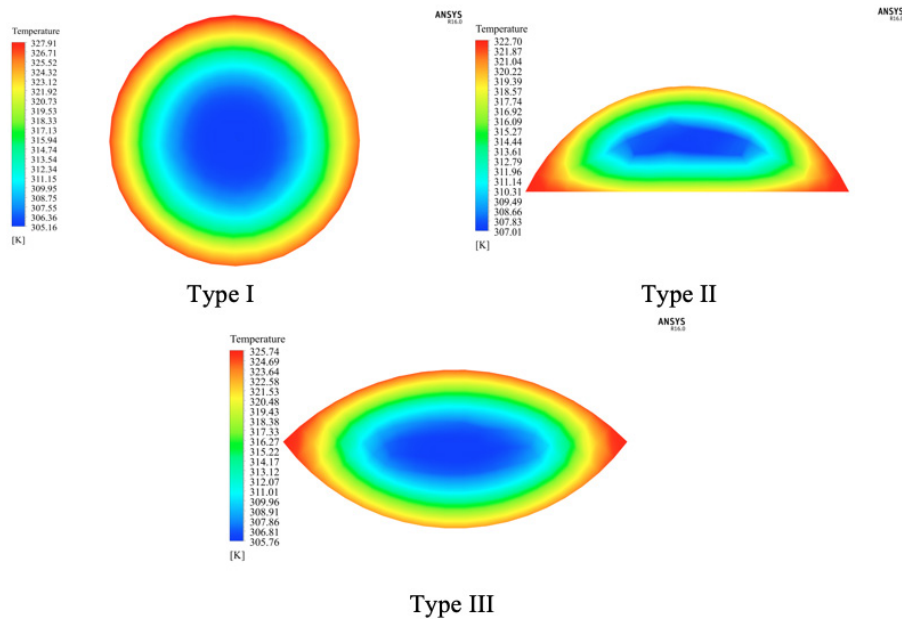


Figure 5 shows the temperature variation in the upper part of the absorber plate for each of the different cross sections. The absorber plate with Type I cross section obtained a variation of 25 K, whilst the plates with Type II and Type III cross sections showed a variation of 19 and 22 K, respectively. This is because the fluid that flows through the pipe absorbs some of the heat from the absorber plate, which causes these temperature differentials.

Figure 6. Temperature variation of the water at the pipe outflow



Temperature distribution at the pipe outflow for the different sections is presented in Figure 6. The solar collector with the Type II cross section had the most uniform temperature distribution as it obtained a variation of only 15 K, followed by the Type III and Type I cross section, with a variation of 20 and of 22 K, respectively.

Figure 7. Temperature variation of the water along the pipe

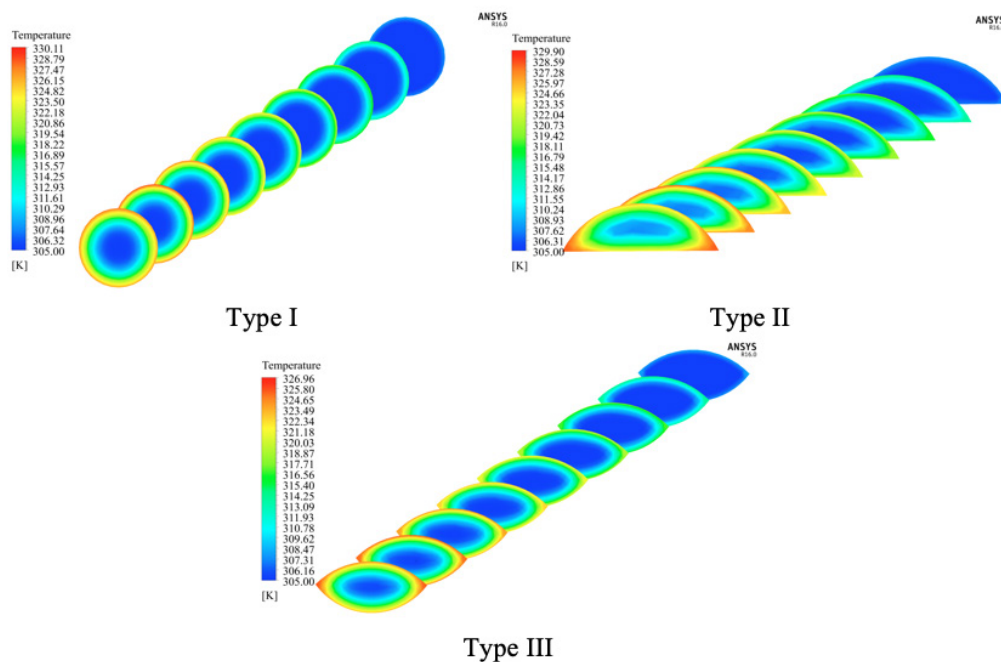


Figure 7 shows the temperature variation of the water along nine different sections of the pipe. The working fluid increases its temperature as it circulates through the pipe. In these three cases, the external part of each geometry presents the higher temperature due to this part is in direct contact with the inner part of the pipe, which permits to absorb greater amount of heat. The fluid into the Type I cross section got the highest temperatures among all of the three sections, reaching values up to 330 K at the pipe outflow.

Figure 8. Variation in fluid temperature

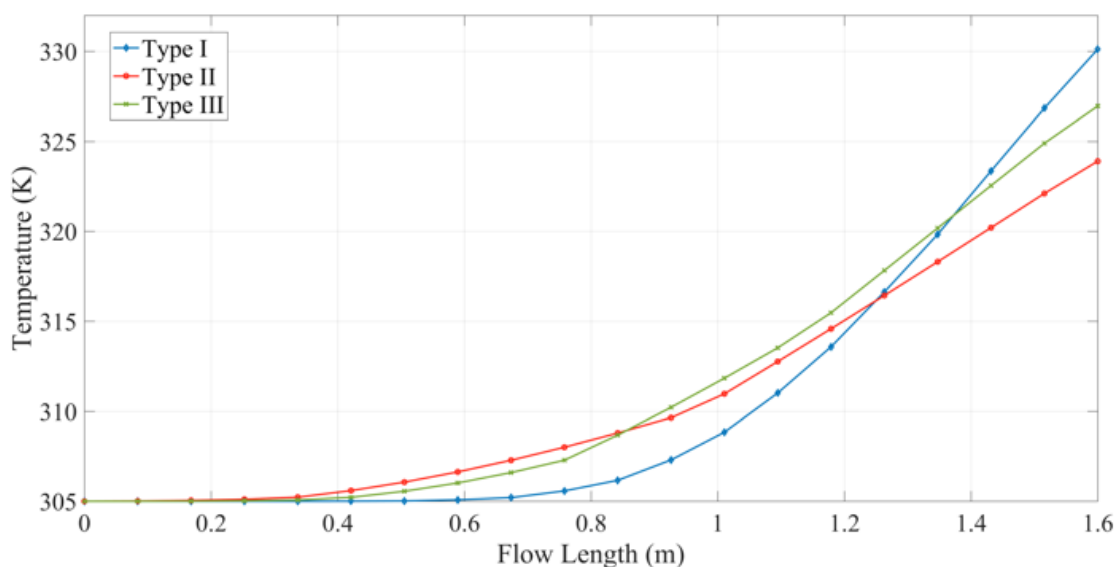


Figure 9. Fluid pressure drop

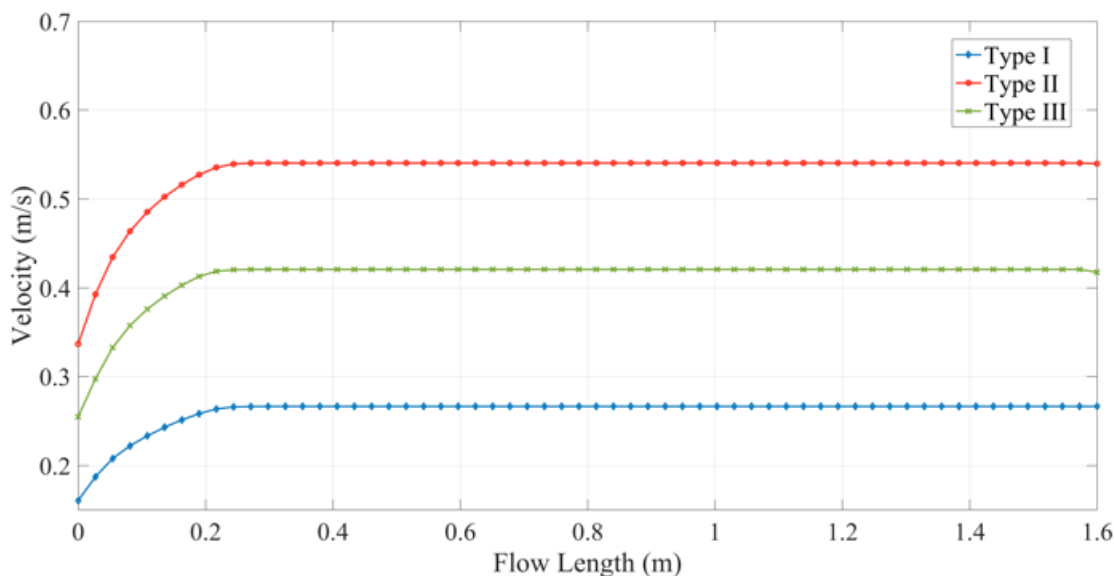


Figure 10. Variation of fluid speed

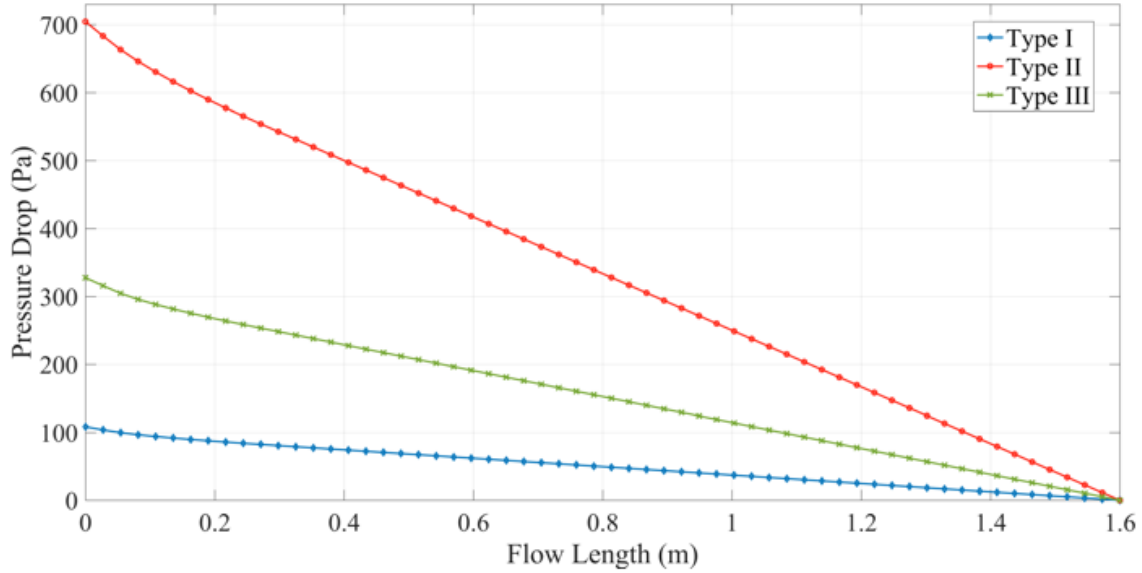


Figure 11. Variation of Reynolds number

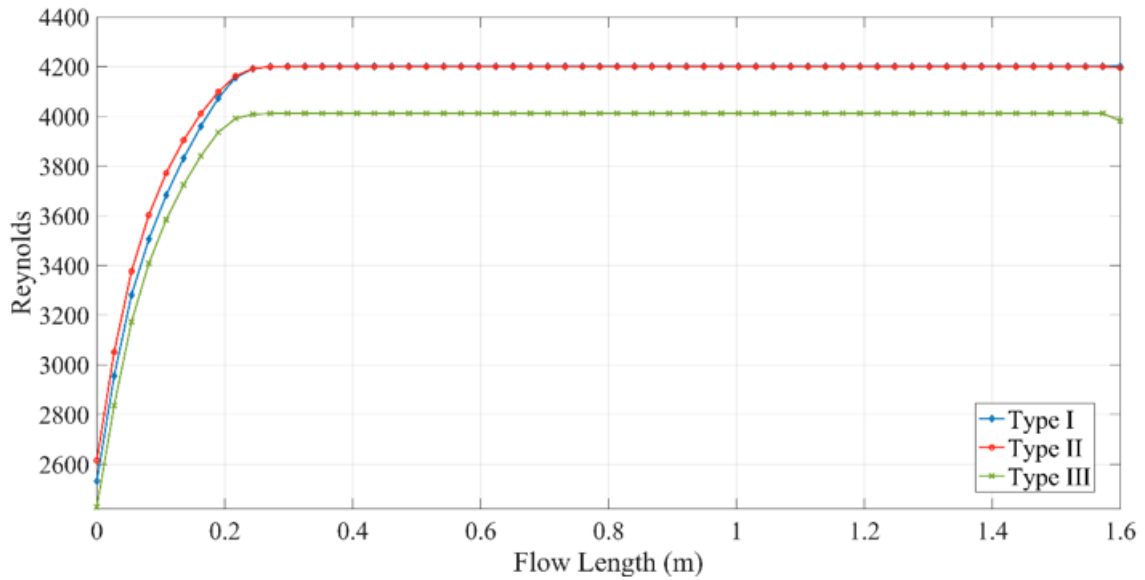


Figure 8 shows the temperature variation of water along the pipe. The collector with a Type I cross section had the best performance due to it presented the lowest speeds, as shown in Figure 10, which decreased the pressure drop (Figure 9) and improved the heat transfer from the environment to the fluid. Meanwhile, the collectors with Type II and Type III cross sections obtained maximum temperatures of 323.9 and 326.96 K, respectively. The variation of fluid speed also affects the Reynolds number (Figure 11). Type I and Type II present similar Reynolds

number despite of their difference between their velocities and hydraulic diameters, obtaining a value of 4200, while Type III presents a Reynolds number of 4011.

4. Conclusions

The CFD results of the solar flat plate collector with different cross sections, simulated under the same operation conditions and in a steady state showed that the collector with the Type I cross section had the best performance, where the fluid reached temperatures up to 330 K at the pipe outflow and obtaining an efficiency of 68 %, higher than Type II and Type III, which presented efficiencies of 51 and 60 %, respectively. In addition, this cross section presented the lowest values in both speed and pressure differential, 0.266 m/s and 108.3 Pa respectively. However, the collector with the Type II cross section was the one that presented a more uniform temperature distribution at the pipe outflow, obtaining a variation of only 15 K, followed by the Type III and the Type I with a variation of 20 and 22 K, respectively.

References

- ANSYS Fluent Theory Guide 12.0. (2009, Abril).
- ANSYS Fluent User Guide. (2012, Noviembre).
- Basavanna, S., & Shashishekar, K. (2013). CFD Analysis of triangular absorber tube of a solar flat plate collector. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 2 (1): 19-24.
- Birhanu, G., Ramayya, A. & Shunki, G. (2016). Computational Fluid Dynamic Simulation and Experimental Testing of a Serpentine Flat Plate Solar Water Heater. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7 (10): 320-333.
- Eisenmann, W., Wiese, F., Vajen, K. & Ackermann, H. (2000). Experimental investigations of serpentine-flow flat-plate collectors. *Philipps-Universität Marburg, D-35032 Marburg, Germany*.
- Gunjo, D. G., Mahanta, P. & Robi, P. S. (2017). CFD and experimental investigation of flat plate solar water heating system under steady state condition. *Renewable Energy*, 106: 24-36.
- Ingle, P., Pawar, A., Deshmukh, B. & Bhosale, K. (2013). CFD Analysis of Solar Flat Plate Collector. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3 (4): 337-342.
- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: -A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62: 1092-1106.
- Karanth, K., Madhwesh, N., Kumar, S. & Manjunath, M. (2015). Numerical and experimental study of a solar water heater for enhancement in thermal performance. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4 (3): 548-553.
- Li, Q., Liu, Y., Guo, S. & Zhou, H. (2017). Solar energy storage in the rechargeable batteries. *Nano Today*, 16: 46-60.
- Madhukeshwara, N. & Prakash, E. (2012). An investigation on the performance characteristics of solar flat plate collector with different selective surface coatings. *International Journal of Energy & Environment*, 3: 99-108.
- Marroquín-De Jesús, Á., Olivares-Ramírez, J. M., Jiménez-Sandoval, O., Zamora-Antuñano, M. A. & Encinas-Oropesa, A. (2013). Analysis of Flow and Heat Transfer in a Flat Solar Collector with Rectangular and Cylindrical Geometry Using CFD. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 14 (4): 553-561.
- Matrawy, K. K. & Farkas, I. (1997). Comparison study for three types of solar collector for water heating. *Energy Conversion and Management*, 38: 861-869.
- Mesa, F. (2006). *Colector solar de placa plana*. Bogotá: Energía Solar.

- Muhammed Yarshi, K. A. & Benny, P. (2015). Analysis of Heat Transfer Performance of Flat Plate Solar Collector using CFD. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, 4 (10): 3576-3580.
- Mukesh Manilal, K. (2016). Design, CFD Analysis and Fabrication of Solar Flat Plate Collector. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3 (1): 1000-1004.
- Myrna, D. K. S., & Beckman, W. (1998). Analysis of serpentine collectors in low flow systems. *Solar Energy Laboratory University of Wisconsin-Madison 1500 Engineering Drive Madison, WI 53706*.
- Prakash, B., Vishnuprasad, B. & Ramana, V. (2013). Performance study on effect of nano coatings on liquid flat plate collector: An experimental approach. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 2 (4): 379-384.
- Prasad, P., Byregowda, H. & Gangavati, P. (2010). Experiment Analysis of Flat Plate Collector and Comparison of Performance with Tracking Collector. *European Journal of Scientific Research*, 40 (1): 144-155.
- Ranjitha, P., Somashekar, V. & Jamuna, A. (2013). Analysis of Solar Flat Plate Collector for Circular Pipe Configuration by using CFD. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2(12), 3356-3362.
- Selmi, M., Al-Khawaja, M. & Marafia, A. (2008). Validation of CFD simulation for flat plate solar energy collector. *Renewable Energy*, 33 (3): 383-387.
- Shelke, V., & Patil, C. (2015). Analyze the Effect of Variations in Shape of Tubes for Flat Plate Solar Water Heater. *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)*, 3 (4): 118-124.
- Sopian, K., Syahri, M., Abdullah, S., Othman, M. & Yatim, B. (2004). Performance of a non-metallic unglazed solar water heater with integrated storage system. *Renewable Energy*, 29 (9): 1421-1430.
- Vasudeva Karanth, K., Manjunath, M. & Yagnesh Sharma, N. (2011). Numerical Simulation of a Solar Flat Plate Collector using Discrete Transfer Radiation Model (DTRM) – A CFD Approach. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 3.

Red neuronal artificial para estimar un índice de calidad de agua

(Artificial neural network to estimate an index of water quality)

Lenin Quiñones Huatangari,¹ Luis Ochoa Toledo,² Nicolás Kemper Valverde,² Oscar Gamarra Torres,³ José Bazán Correa,⁴ Jorge Delgado Soto¹

Resumen

La red neuronal artificial (RNA) es un modelo computacional que emula el sistema neuronal biológico en el procesamiento de información; los modelos que se originan son adecuados con el propósito de describir pronósticos para tiempos prolongados, además de relaciones no lineales. Se utiliza esta herramienta con el fin de predecir parámetros físico-químicos y microbiológicos que influyen en la calidad de agua. La Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos propuso un índice de calidad de agua, conocido como NSF WQI. Este artículo describe el diseño, entrenamiento y uso del modelo de la red neuronal perceptrón de tres capas para el cálculo del NSF WQI del río Utcubamba y sus afluentes. Empleando el *software* Matlab y aplicando el algoritmo de entrenamiento de Levenberg-Marquardt, se encontró que la arquitectura óptima de la RNA es 6-12-1, además, el porcentaje para los conjuntos de entrenamiento, validación y prueba fue de 70 %, 10 % y 20 %, respectivamente. El rendimiento de la RNA se ha evaluado utilizando la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el coeficiente de correlación (R). Se mostraron correlaciones altas (mayores que 0.94) entre los valores medidos y predichos. Finalmente, la RNA propuesta ofrece una alternativa útil para el cálculo y la predicción del índice de calidad de agua en relación con el oxígeno disuelto (OD), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitratos, coliformes fecales, potencial de iones hidrógeno (pH) y la turbidez.

Palabras clave

Índice de calidad de agua; redes neuronales artificiales; perceptrón multicapa; parámetros físico químicos.

Abstract

The artificial neural network (RNA) is a computational model that emulates the biological neural system in information processing. The originating models are suitable for the purpose of describing long-term specifics, in addition to nonlinear relationships. This tool is used to predict physical chemical and microbiological parameters that influence water quality. The United States National Sanitation Foundation proposed a water quality index, known as the NSF WQI. This article describes the design, training and use of the three-layer neural perceptron neural model for the calculation of the NSF WQI of the Utcubamba River and its tributaries. Using the Matlab software and applying the Levenberg-Marquardt training algorithm, the optimal RNA architecture was found to be 6-12-1, plus the percentage for the training, validation, and test sets of 70 %, 10 %, and 20 % respectively. RNA performance has been evaluated using the root of the root mean square error (RMSE) and the correlation coefficient (R). High correlations (greater than 0.94) were made between the measured and predicted values. Finally, the RNA proposal offers a useful alternative for the calculation and prediction of the water quality index in relation to dissolved oxygen (DO), biochemical demand for oxygen (BOD), nitrates, fecal coliforms, potential for hydrogen ions (pH) and turbidity.

Keywords

Water quality index; artificial neural networks; multilayer perceptron; physical-chemical parameters.

1 Universidad Nacional de Jaén, Jaén, Perú (lenin.quinones@unj.edu.pe, jorge.delgado@unj.edu.pe).

2 Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México (luis.ochoa@icat.unam.mx, nicolas.kemper@icat.unam.mx).

3 Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Chachapoyas, Perú (oscar.gamarra@untrm.edu.pe).

4 Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú (jbazanc@yahoo.com).

1. Introducción

Las aguas superficiales están sometidas a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto, además de la presencia de materia orgánica natural) y de origen antrópico (descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros). El deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su reducción, por lo que la evaluación de la calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizando el suministro de agua segura. Una herramienta común son los índices de calidad de agua (ICA), existe información de que en Alemania, en 1848, ya se realizaban algunos intentos por relacionar la presencia de organismos biológicos con la pureza del agua. En los últimos 130 años, varios países europeos han desarrollado y aplicado diferentes sistemas para clasificar la calidad de las aguas (Torres, Cruz y Patiño 2009).

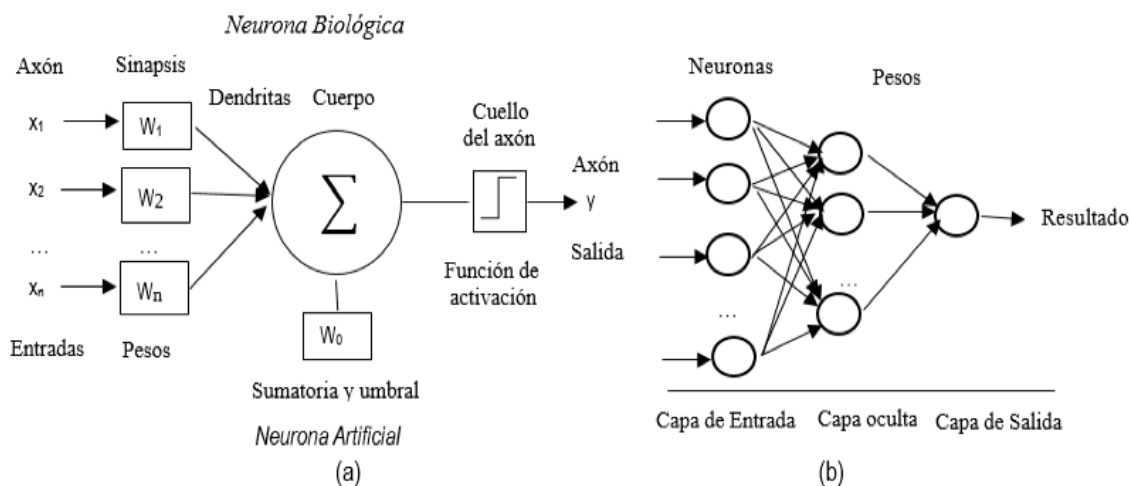
La RNA es un modelo computacional capaz de imitar las características básicas del cerebro humano como la autoadaptabilidad, autoorganización y la tolerancia a errores. Durante las últimas dos décadas, sus aplicaciones han crecido de manera exponencial en casi todas las áreas de investigación, debido a que permiten resolver problemas que son susceptibles a la estadística convencional, por consiguiente, los modelos que se originan son adecuados para describir pronósticos para tiempos más prolongados, además de relaciones no lineales, por ende, es difícil prescribir la relación matemática exacta entre los parámetros. Se puede resumir, que han sido ampliamente adoptadas para la identificación, análisis, pronóstico, reconocimiento del sistema y optimización del diseño de modelos (López y Fernández 2008).

La RNA perceptrón multicapa (MLP) es un tipo de red, en el que su arquitectura consta de diversas capas, de nodos o neuronas interconectados, cada una de los cuales está conectado a todas las neuronas en la capa siguiente (ver figura 1). La capa de entrada, es en la cual se presentan los datos a la red neuronal, mientras que la capa de salida contiene la respuesta de la red neuronal. Además, posee capas intermedias, denominadas capas ocultas, estas pueden existir entre la capa de entrada y la capa de salida para permitir que estas redes representen y computar complicadas asociaciones entre patrones. Todas las neuronas ocultas y de salida procesan sus entradas multiplicando cada entrada por su peso, sumando el producto, y luego procesando la suma usando una función de transferencia no lineal para generar un resultado. Entre otros, el sigmoide es una de las funciones de transferencia más utilizada (López y Fernández 2008).

Entrenar una RNA es buscar un conjunto de pesos asociados a cada neurona con el fin de que la red pueda, a partir de datos de entrada, generar una salida; en el caso del aprendizaje supervisado, se tiene un conjunto de datos, pero no se conoce la función o relación matemática que los representa. Este proceso es iterativo, en el cual se va refinando la solución hasta alcanzar un nivel de operación suficientemente bueno (Gómez Rojas et al., 2004). La mayoría de los métodos de entrenamiento utilizados en las redes neuronales con conexión hacia delante consisten en proponer una función de error que mida el rendimiento actual de la red en función de los pesos. El objetivo del método de entrenamiento es encontrar el conjunto de pesos que minimizan (o maximizan) la función. El método de optimización proporciona una regla de actualización de los pesos que en función de los patrones de entrada modifica iterativamente los pesos hasta alcanzar el punto óptimo de la red neuronal (Federico Bertona, 2005). En la literatura especializada, encontramos diversos algoritmos con capacidad de entrenar redes neuronales:

descenso del gradiente, método de Newton, gradiente conjugado, cuasi-Newton, Levenberg-Marquardt, etc. (Sancho Caparrini, 2017).

Figura 1. (a) Similitudes entre la red neuronal biológica y RNA. (b) Red perceptrón multicapa



En este sentido, el empleo de las redes neuronales artificiales en el campo de recursos hídricos se ha vuelto cada vez más usual, es así que se ha propuesto un protocolo sistemático para el desarrollo y la documentación de las RNA, el cual se utilizó para revisar críticamente la calidad de los procesos de desarrollo e informes de modelos de RNA empleados en 81 artículos de revistas desde 2000, en los que la herramienta se ha utilizado para modelar la calidad del agua potable (Wu, Dandy y Maier 2014). Otros trabajos relevantes que se expresan brevemente son: se ha empleado RNA para predecir y pronosticar parámetros físico-químicos y microbiológicos que influyen en la calidad de agua (Chau 2006). Para predecir una variedad de parámetros de calidad del agua en Hilo Bay, Océano Pacífico, donde se aplicaron diferentes combinaciones de parámetros de calidad del agua como parámetros de entrada para predecir los valores diarios de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto (Alizadeh y Kavianpour 2015). Modelos de predicción fueron desarrollados para alcalinidad, pH, calcio, dióxido de carbono, temperatura, dureza total, turbidez, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica tienen una capacidad de generalización aceptable, estos modelos pueden ser utilizados por operadores de planta de tratamiento de agua y tomadores de decisiones (Solaimany-Aminabad, Maleki y Hadi 2013). Sin embargo, Thambavani D y Uma (2014) describen el diseño y la aplicación del modelo de MLP de tres capas con alimentación directa y totalmente conectado para calcular el índice de calidad del agua (WQI) para Batlagundu, Dindigul District, Tamilnadu en la India, la arquitectura de red óptima fue 8-3-1, los parámetros de entrada fueron el pH, OD, EC, TDS, TA, TH, Ca, Mg y el algoritmo de entrenamiento fue el de descenso de gradiente. Las RNA se vienen empleando para estimar algún parámetro de calidad de agua de ríos, en función de otros parámetros físico químicos, ver tabla 1.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue emplear las redes neuronales artificiales para estimar el índice de la calidad del agua. La red neuronal propuesta emplea herramientas computarizadas, además nos faculta a usar razonamientos aproximados con base en información de campo y previa coordinación con expertos.

Tabla 1. Diseño, entrenamiento e implementación de redes neuronales artificiales perceptrón multicapa empleadas para estimar parámetros de calidad de agua de ríos

Diseño de la red			Parámetros		Implementación	Referencia
Algoritmo entrenamiento	Función de activac	#capas/ Neuronas	Entrada	Salida	País/río	
Levenberg-Marquardt	Lineal a tramos	3 capas (11-23-1)	pH, ST, T-Alk, T-Hard, Cl, PO ₄ , K, Na, NH ₄ N, NO ₃ N, COD	OD	India/Gomti	(Singh et al., 2009)
	Tangsig	3 capas (11-11-1)		DBO		
Regla generalizada de aprendizaje delta	Tangente hiperbólica o sigmoidea (tanh(x))	4 capas (141-90-30-1)	Salinidad, flujo y nivel en diferentes puntos del río	Salinidad	Australia/Murray	(Maier y Dandy, 1996)
Descenso de gradiente	Lineal a tramos	4 capas (1-25-4-1)	Conductividad	SDT	Malasia/Johor	(Najah et al., 2009)
		4 capas (1-25-4-1)	Sólidos Disueltos Totales	Cond		
		3 capas (1-3-1)	Sólidos Totales Suspendidos	Turb		
Filtros de Kalman	Tangente hiperbólica o sigmoidea (tanh(x))	3 capas (9-26-1)	ECw, OD, Q, T, SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ +K ⁺ , TP, pH, NH ₄ ⁺	Nitratos	Grecia/Strymon	(Diamantopoulou et al., 2005)
		3 capas (7-8-1)	Q, Sulfatos, Na ⁺ , +K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻	Conduct Eléctrica	Grecia/Strymon	
		3 capas (10-10-1)	NO ₃ ⁻ , ECw, Q, T, SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ +K ⁺ , TP, pH, Cl ⁻ , NH ₄ ⁺	OD	Grecia/Strymon	
Descenso de gradiente	Logaritmo sigmoideo (logsig(x))	3 capas (8-3-1)	COD, HN ₃ -N, CL-A, NO ₂ -N, T, NO ₃ -N, OD, Qw	DBO	Turquía/Melen	(Dogan et al., 2009)
Levenberg-Marquardt	Sigmoidea Tangente hiperbólica	3 capas (4-10-2)	TSS, TS, pH, T	DBO, COD	Iran/Tehran	(Zare Abyaneh, 2014)

Las razones que han motivado a realizar el presente estudio son tres: la primera, desde el punto de vista científico es relevante la validación de un modelo basado en una RNA para estimar un índice de calidad de agua frente a la realidad física que se ha obtenido en estudio

previo en la cuenca del río Utcubamba. Segunda, desde el punto de vista funcional, al tener una herramienta computacional confiable en tiempo real para estimar la calidad del agua del río Utcubamba, las instituciones del Estado puede emplearla para realizar operaciones o proponer políticas ambientales que permitan mejorar la calidad del agua, y finalmente, la tercera es emplear modelos de minería de datos, por razones de facilidad de implementación, con un costo relativamente inferior al de los matemáticos como el del índice de calidad de agua NSF WQI, el mismo que necesita más parámetros.

2. Materiales y métodos

Metodología

La metodología empleada fue de tipo analítica y consistió en tres fases: (1) Se recolectó y excluyó data sobre parámetros concerniente a calidad de agua del Río Utcubamba, del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. (2) Se implementó un modelo que estimó un índice de calidad de agua para el río Utcubamba de la región Amazonas basado en RNA; para este fin se empleó el *software* Matlab. (3) Finalmente, se validó el modelo, la cual consistió en comparar los residuos obtenidos entre los datos dados por el modelo y los datos recolectados en campo.

Base de Datos para estimar un índice de calidad de agua

Se realizó una base de datos tomando en cuenta los resultados de los parámetros de calidad ecológica del agua en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas, Perú; reportados en la publicación del INDES-CES. Para este estudio previo, la recolección de las muestras de agua se realizó con la estación de lluvias (a lo largo del mes de octubre de 2014), se establecieron cuarenta y tres (43) estaciones de muestreo a lo largo de la cuenca principal y en los tributarios más importantes e influyentes en la misma. Además, para la recogida de muestras para el análisis físico químico (15 parámetros) y microbiológico (4 parámetros) se siguió el protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales, establecido por la Dirección General de Salud Ambiental del Perú, mientras que para el análisis de las parámetros físico químicos y microbiológicas se hizo lo propio con los procedimientos dados en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Gamarra et al., 2018).

La base de datos creada tuvo dos fines, el primero fue determinar el índice de calidad de agua y el segundo fue entrenar, validar y emplear la red neuronal artificial propuesta. Estuvo constituida por 16 instancias concernientes a la misma cantidad de puntos de muestreo; los mismos que fueron considerados debido al tipo de dato ordinal de los diez parámetros tomados en cuenta en el presente estudio, debido a que, para estimar el índice de calidad de agua, se necesitaba este tipo de valores. Cada instancia constó de diez (10) valores, siendo estos: temperatura, oxígeno disuelto, DBO_5 , sólidos disueltos totales, fosfatos, nitratos, pH, coliformes fecales y turbiedad. En la figura 2, se puede observar la zona de estudio y los dieciséis puntos de muestreo.

Figura 2. Zona de estudio y 16 puntos de muestreo considerados sobre la cuenca del río Utcubamba.



El índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF WQI)

En Estados Unidos, la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF, por sus siglas en inglés) desarrolló el NSF WQI en 1970 mediante el uso de la técnica de encuesta Delphi. Este índice tiene la característica de ser un índice multiparamétrico basado en tres estudios, donde cada una de los nueve parámetros tiene un peso específico de acuerdo con su importancia, relacionada a la calidad del agua. Estos pesos se muestran en la tabla 2, los cuales son aplicados con los parámetros para generar la media ponderada que constituye el ICA (Behar et al., 1997).

El índice NSF WQI fue calculado mediante la ecuación (1), con el propósito de probar la precisión de la red neuronal artificial para estimar el índice de calidad, por lo tanto, en términos de minería de datos, estos datos obtenidos vendrían a ser la verdad absoluta (*ground truth*).

Tabla 2. Pesos relativos a los parámetros que conforman el NSF WQI

Parámetro	NSF WQI
Temperatura	0.10
Oxígeno disuelto	0.17
DB05	0.10
Sólidos Disueltos Totales	0.08
Turbiedad	0.08
Fosfatos	0.10
Nitratos	0.10
pH	0.12
Coliformes fecales	0.15

Si denotamos por I_i al subíndice correspondiente a la variable ' I ' y por w_i su ponderación respectiva, el ICA es expresado por:

$$ICA = \sum_{i=1}^9 w_i I_i \quad (1)$$

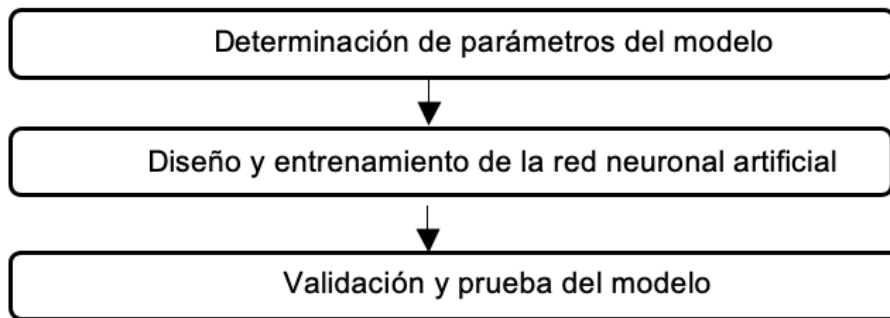
La clasificación de la calidad del agua, empleando el ICA, las cuales se expresan en cinco categorías, dependen del rango numérico dado: Muy mala (0-25), mala (26-50), media (51-70), buena (71-90) y excelente (91-100). Para el cálculo de este índice se utilizó la herramienta de forma online (Water Research Center, 2018).

Procedimiento para determinar la arquitectura y validación de la RNA

Al emplear una red neuronal, se consideran tres etapas. La primera consiste en el diseño, en el que se elige el tipo de red neuronal a utilizar (la arquitectura o topología), el número de neuronas que la compondrán, función de activación y el algoritmo de entrenamiento. La etapa de entrenamiento, en donde se le presenta a la red neuronal una serie de datos de entrada y datos de salida, para que a partir de ellos pueda aprender, gracias al uso del algoritmo de entrenamiento y, finalmente, el uso que consiste en suministrarles las entradas pertinentes de la red donde esta genera las salidas en función de lo que ha aprendido en la fase de entrenamiento (Dogan

et al., 2009). El procedimiento empleado para determinar la arquitectura y validación de la red neuronal artificial, consideró estas etapas, ver figura 3.

Figura 3. Procedimiento para determinar la arquitectura y validación de la RNA



Determinación de parámetros del modelo: siete parámetros se han contemplado en la presente investigación. Seis parámetros físico-químicos, los cuales son: oxígeno disuelto y la DBO, debido a que son parámetros químicos de la calidad del agua, nitratos, que es el parámetro que proporciona la información de nutrientes del agua. Además de los coliformes fecales, que es el parámetro biológico que determina el grado de contaminación por microorganismos termo tolerantes, por ende, parte de la calidad sanitaria del agua y, por último, el pH y la turbidez, ya que son parámetros físicos de la calidad del agua, estos parámetros (Srivastava et al., 2013) los propone para estimar un índice de calidad de agua mediante lógica difusa. Por otro lado, otro parámetro contemplado fue el NSF WQI. A fin de evitar impactos negativos en el empleo de la red neuronal es necesario durante la preparación inicial de los datos, estandarizar los datos, es decir, convertir los datos a una forma no dimensional de rango de variabilidad uniforme (Dawson y Wilby, 2001).

La cantidad de instancias de la base de datos disponible para modelar fue de dieciséis, que se asignaron de forma aleatoria en tres conjuntos, denominados de entrenamiento, validación y prueba, la distribución de estos es el 70 %, 10 % y 20 % de los datos ha sido propuesta en el trabajo de May y Sivakumar (2009).

Diseño y entrenamiento de la RNA. El fin fue predecir el estado de la calidad del agua del río Utcubamba (NSF WQI) en términos de seis parámetros físico-químicos, además de considerar los tipos de redes empleadas en estudios previos, ver tabla 1. Este estudio empleó una RNA supervisada y del tipo unidireccional denominado perceptrón de tres capas: La capa de entrada consta de seis parámetros físico-químicos, una capa oculta y el NSF WQI en la capa de salida.

La RNA almacena el conocimiento acerca del problema en términos de pesos en las interconexiones. El proceso de determinar los pesos a la RNA es denominado entrenamiento. La RNA es entrenada con un conjunto de entradas y salidas conocidas. Al principio del entrenamiento, los valores iniciales de los pesos son asignados aleatoriamente. Los pesos son sistemáticamente cambiados por el algoritmo de entrenamiento de forma tal que para una entrada la diferencia entre los resultados de la RNA y los datos actuales son pequeños. Un amplio número de criterios estadísticos están disponibles para comparar la bondad/suficiencia de algún modelo dado. La evaluación estadística del comportamiento usada para el entrenamiento en el presente trabajo fueron la raíz cuadrada media del error (*RMSE*) y el coeficiente de correlación (*R*). Estos valores han sido determinados empleando la ecuación (2) y ecuación (3) (Singh et al., 2009).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - q_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})(q_i - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 (q_i - \bar{q})^2}} \quad (3)$$

Donde $\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$, $\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$, Q son los valores observados y q los valores calculados.

Gazzaz et al. (2012) sostienen que el número de neuronas de la capa oculta debería estar dentro del intervalo $[\frac{l}{2}, 4l]$, donde l/O es el número de neuronas de la capa de entrada y salida, respectivamente. Por otro lado, Palani et al. (2008) han propuesto que estas neuronas no deberían ser de ninguna manera menor que el máximo de $\frac{l}{3}$ y 0. En nuestro caso, $l=6$ y $O=1$. Por ello, reemplazando los valores en las ecuaciones, se obtiene que el total de las neuronas ocultas se encuentra dentro del intervalo $[2, 24]$.

El procedimiento que se empleó para obtener la arquitectura óptima de la RNA, fue: (1) Entrenar tres corridas cada red de tres capas, donde las neuronas de entrada fueron 6, de salida 1 y las ocultas cada valor del intervalo $[2, 24]$, usando el Toolbox del *software* Matlab, cabe señalar que se utilizó únicamente el conjunto de entrenamiento. (2) Determinar el promedio de los resultados en las tres corridas de los estadísticos $RMSE$ y R , esto debido a que, en la etapa de entrenamiento, se utilizan datos en forma aleatoria para cada corrida. (3) Escoger el número de neuronas que compondría la capa oculta, bajo el criterio que el promedio de R (más cercano a uno) debe ser el mejor y el $RMSE$ el menor, con respecto a todos los promedios encontrados. Estas dos características deben cumplirse al mismo tiempo. (4) La arquitectura óptima de la RNA de tres capas, estuvo compuesta por seis parámetros en la capa de entrada, un parámetro en la capa de salida y la cantidad de neuronas determinadas en el paso (3) en la capa oculta.

En esta etapa, al obtener la arquitectura óptima la RNA es considerada entrenada.

Validación y prueba de la RNA: La validación de la RNA fue realizada mediante dos pasos: (1) Se ejecutaron tres corridas de la red con arquitectura óptima, usando el Toolbox del *software* Matlab, vale indicar que se utilizó únicamente el conjunto de validación. (2) Determinó el promedio de los resultados en las tres corridas de los estadísticos $RMSE$ y R , esto debido a que, al ejecutar las tres corridas, se utiliza datos en forma aleatoria para cada corrida.

El desempeño o prueba de la RNA se realizó de manera análoga al proceso de validación, con la particularidad que los datos donde se empleará el modelo serán en el conjunto prueba.

3. Resultados

La RNA construida fue entrenada usando el algoritmo de Levenberg-Marquardt, empleó la función de transferencia no lineal (tansig) se utilizó, tanto en la capa oculta como en la externa. Se determinó la distribución óptima, ver tabla 3, consistente de seis neuronas en la capa de entrada, doce neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida, el mismo que proporcionó un mejor modelo de ajuste para los tres conjuntos de datos. El coeficiente de correlación (R) para el entrenamiento, validación y los conjuntos de prueba fue de 0.979, 1 y 0.940,

respectivamente. Los valores respectivos de *RMSE* para los tres conjuntos de datos fue 2.562 para entrenamiento, 1.546 la validación y 1.997 la prueba.

Tabla 3. Desempeño de los parámetros de la RNA para estimar la calidad del agua del río Utcubamba (Perú)

Estructura RNA	Entrenamiento (70 %)		Validación (10 %)		Predicción (20 %)	
	RMSE	R	RMSE	R	RMSE	R
6 -12-1	2.652	0.979	1.546	1	1.997	0.940

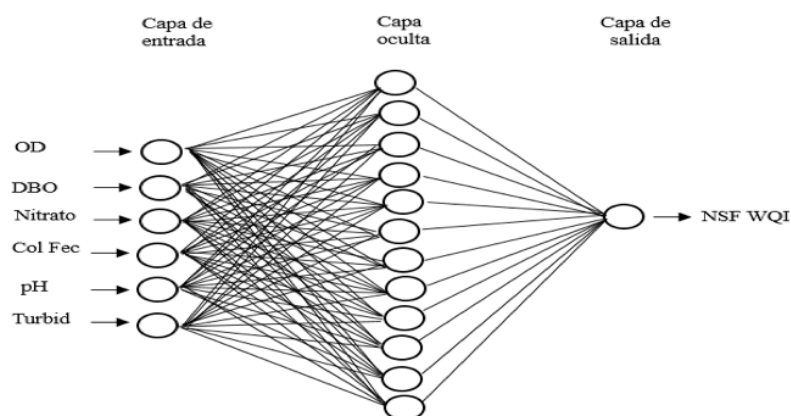
4. Discusión

Los datos que se han utilizado para diseñar, emplear y usar la red neuronal artificial, constó de dieciséis puntos de muestreo del río Utcubamba y sus afluentes, los mismos que fueron sustraídos del trabajo previo, realizado por Gamarra et al. (2018). La recolección de estas muestras de agua se realizó con la estación de lluvias (a lo largo del mes de octubre de 2014).

Se empleó la RNA del tipo perceptrón multicapa para estimar el índice de calidad de agua (NSF WQI), tomando como referencia los trabajos previos (ver tabla 1), considerando como parámetros de entrada a los parámetros: OD, DBO, nitratos, coliformes fecales, pH y turbidez. Diferentes modelos de redes neuronales fueron construidos y examinados para determinar el número óptimo de neuronas en la capa oculta, además de encontrar el porcentaje de distribución óptimo que correspondería a los conjuntos de entrenamiento, validación y pruebas para las muestras.

La arquitectura de la RNA óptima para estimar el índice de la calidad del agua de río (NSF WQI) se muestra en la figura 4. Con el trabajo de Thambavani D y Uma (2014), se coincidió en la aplicación del modelo de red neuronal perceptrón de tres capas para calcular el índice de calidad del agua (WQI) para Batlagundu, Dindigul District, Tamilnadu en la India. Sin embargo, existen diferencias con el trabajo mencionado, como la arquitectura de red óptima (8-3-1), los parámetros de entrada, las cuales fueron el pH, OD, EC, TDS, TA, TH, Ca, Mg, el algoritmo de entrenamiento (retro propagación) y el WQI empleado es calculado bajo la normativa del país donde se realizó el estudio.

Figura 4. Red Neuronal Artificial para estimar el índice de calidad del agua del río Utcubamba (Perú)



Se determinó que la distribución óptima, obteniendo el valor de R mayores que 0.94 y el $RMSE$ menor que 2.65, para la distribución de los conjuntos de entrenamiento, validación y prueba de la RNA, es el 70 %, 10 % y 20 %; esta distribución es la misma encontrada en el trabajo de May y Sivakumar (2009).

5. Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo, se propone un modelo basado en redes neuronales artificiales para el cálculo del índice NSF WQI, el mismo que permite determinar el índice de la calidad del agua del río Utcubamba y sus afluentes (Perú). La red neuronal artificial que se empleó ha sido el perceptrón de tres capas, el algoritmo de entrenamiento fue el de Levenberg Marquardt. El presente estudio muestra que la red neuronal artificial óptima que tiene la arquitectura 6-12-1 es capaz de capturar a largo plazo las tendencias observadas a la tediosa variable como es determinar el índice de la calidad del agua (NSF WQI), tanto en el tiempo como en el espacio.

Se destacan a las redes neuronales como una herramienta efectiva para el cálculo del índice de la calidad del agua del río Utcubamba, se concluye que estas podrían también ser utilizadas en otras áreas para mejorar la comprensión del río, tales como las tendencias de la contaminación. La RNA puede ser vista como un poderoso predictor, además de ser otra alternativa a las técnicas de modelado tradicionales.

Referencias

- Alizadeh, M. J., y Reza Kavianpour, M. (2015). Development of wavelet-ANN models to predict water quality parameters in Hilo Bay, Pacific Ocean. *Marine pollution bulletin*, 98 (1-2): 171-178.
- Behar, R., Zúñiga de Cardozo, Ma. C. y Rojas, O. (1997). Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la NSF: casos ríos Cali y Meléndez. *Revista Ingeniería y Copetitividad*, 1 (1): 17-27.
- Chau, K. (2006). A review on integration of artificial intelligence into water quality modelling. *Marine Pollution Bulletin*, 52 (7): 726-733.
- Dawson, C. W., y R. L. Wilby. (2001). Hydrological Modelling Using Artificial Neural Networks. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 25 (1): 80-108.
- Diamantopoulou, M. J., Papamichail, D. M. y Antonopoulos, V. Z. (2005). The Use of a Neural Network Technique for the Prediction of Water Quality Parameters. *Operational Research*, 5 (1): 115-125.
- Dogan, E., Sengorur, B. y Koklu, R. (2009). Modeling biological oxygen demand of the Melen River in Turkey using an artificial neural network technique. *Journal of Environmental Management*, 90 (2): 1229-1235.
- Federico Bertona, L. (2005). Entrenamiento de redes neuronales basado en algoritmos evolutivos [Tesis de grado en Ingeniería Informática, Universidad de Buenos Aires]. <http://laboratorios.fi.uba.ar/lsi/bertona-tesisingenieriainformatica.pdf>
- Gamarra, O., Corroto, F., Rascón, J. y Chávez, J. (2018). *Calidad ecológica del agua en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas, Perú (Primera). Primera*. Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Gazzaz, N. M., Yusoff, M. K., Zaharin Aris, A., Juahir, H. y Firuz Ramli. M. (2012). Artificial neural network modeling of the water quality index for Kinta River (Malaysia) using water quality variables as predictors. *Marine Pollution Bulletin*, 64 (11): 2409-2420.
- Gómez Rojas, G. A., Henao López, J. C. y Salazar Isaza, H. (2004). Entrenamiento de una red neuronal artificial usando el algoritmo simulated annealing. *Scientia Et Technica*, X: 13-18.

- Flórez López, R., Lévy Mangin, J. P. y Fernández Fernández, J. M. (2008). *Las redes neuronales artificiales*. Netbiblo: Tirant lo Blanch.
- Maier, H. R., y Graeme C. Dandy. (1996). The use of artificial neural networks for the prediction of water quality parameters. *Water Resources Research* 32 (4): 1013-1022.
- May, D., y Muttucumar S. (2009). Prediction of urban stormwater quality using artificial neural networks. Faculty of Engineering - Papers (Archive): 296-302.
- Najah, A., Elshafie, A., Karim, O. A. y Jaffar, O. (2009). Prediction of Johor River water quality parameters using artificial neural networks. *European Journal of Scientific Research*, 28 (3): 422-435.
- Palani, S., Liong, S.-Y., y Tkalich, P. (2008). An ANN Application for Water Quality Forecasting. *Marine Pollution Bulletin*, 56 (9): 1586-1597.
- Sancho Caparrini, F. (2017). Entrenamiento de Redes Neuronales: Mejorando el Gradiente Descendiente. <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=165>.
- Singh, K. P., Basant, A., Malik, A. y Jain, G. (2009). Artificial neural network modeling of the river water quality—a case study. *Ecological Modelling*, 220 (6): 888-895.
- Solaimany-Aminabad, M, Maleki, A. y Hadi, M. (2013). Application of artificial neural network (ANN) for the prediction of water treatment plant influent characteristics. *Journal of advances in environmental health research*, 1 (2): 89-100.
- Srivastava, P., Burande, A. y Sharma, N. (2013). Fuzzy Environmental Model for Evaluating Water Quality of Sangam Zone during Maha Kumbh 2013. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*. Recuperado 24 de septiembre de 2018 <https://www.hindawi.com/journals/acisc/2013/265924/>.
- Thambavani D., S., y Uma, M. (2014). Numerical Study of Back Propagation Learning Algorithms for Forecasting Water Quality Index. *IJERST*, 3 (3): 1548-1555.
- Torres, P., Hernán Cruz, C. y Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8 (15 Sup. 1): 79-94.
- Water Research Center. (2018). Water Quality Index Calculator. Recuperado 9 de noviembre de 2018 (<https://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>).
- Wu, Wenyan, G., Dandy, C. y Maier, H. R. (2014). Protocol for developing ANN models and its application to the assessment of the quality of the ANN model development process in drinking water quality modelling. *Environmental Modelling & Software*, 54: 108-127.
- Zare Abyaneh, H. (2014). Evaluation of multivariate linear regression and artificial neural networks in prediction of water quality parameters. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 12 (1): 40.