



Ingeniantes

Año 4, No. 1, Vol. 1

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla

ISSN 2395-9452

Temáticas

Tierra, Energía, Biológicos, Bioquímica, Medio Ambiente, Gestión Educativa, Mecánica de Materiales, Ciencias de la Computación, Calidad y Sistemas de Manufactura.

Ingeniantes

Año 4/ No. 1 / Vol. 1

Información Legal

Ingeniantes, año 4, No. 1, Vol 1. diciembre 2016 - mayo 2017, es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web citt.itsm.edu.mx. Editor responsable: M.I.I Erika Adrianne Bandala Martínez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-062512501200-203, ISSN 2395-9452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología del ITSM, M.I.I. Erika Adrianne Bandala Martínez, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 31 de mayo de 2017.

Actualmente indexada en la base de datos del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal LATINDEX, con número de registro 25671.

Se autoriza cualquier reproducción parcial de los contenidos o imágenes de la publicación siempre y cuando sea sin fines de lucro y para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente dando los créditos a los autores del artículo.

El contenido de los artículos publicados es responsabilidad de los autores y no representa el punto de vista del editor de la revista Ingeniantes.

The logo for LATINDEX features the word "latindex" in a red, lowercase, serif font. A stylized graphic of a person with arms raised is integrated into the letter "i", with a small orange circle above it.

Mayo 2017

Directorio

Dr. José Alberto Gaytán García

Director General, ITSM, Veracruz, México

M.S.I. Ana Lilia Sosa y Durán

Subdirectora Académica, ITSM, Veracruz, México

M.A. José Edgar Soto Meneses

Director de Planeación y Vinculación, ITSM, Veracruz, México

M.C. Reyes Pérez y Cano

Director de Servicios Administrativos, ITSM, Veracruz, México

Lic. Lidia Herrera Domínguez

Subdirectora de Vinculación, ITSM, Veracruz, México

Ing. Carlos Yossio Nakase Rodríguez

Subdirector del Sistema Abierto, ITSM, Veracruz, México

Cuerpo Editorial

Editor General

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Editor

M.I.I. Erika Adrienne Bandala Martínez

Comité de Revisión

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras, US

Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN

Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT

Dra. Susana López Cuenca, COECYTJAL

Dr. José de Jesús Ibarra, COECYTJAL

Dr. Abel García Barrientos, UASLP

Dr. José Jasson Flores Prieto, CENIDET

Dr. Jesús P. Xamán Villaseñor, CENIDET

Dr. Andrés Blanco Ortega, CENIDET

Dr. José Luis Marín Muñiz, Colegio de Veracruz

Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON

Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM

Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM

Dr. Luis Alberto Morales Rosales, UMICH

Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM

Dr. Luis Mejía Macario, ITSM

Dr. Isidro Rodríguez Montoro, ITSM

Dr. Saúl Santiago Cruz, ITSM

M.I. Fernando Jurado Pérez, ITESI

M.I.A. Roberto Ángel Meléndez Armenta, ITSM

M.I.A. Luis Enrique García Santamaria, ITSM

M.I. Daniel Aguayo Siqueiros, ITSM

M.C. Luis Carlos Sandoval Herazo, ITSM

M.I.M. Jorge Roa Díaz, ITSM

Diseño Editorial

Lic. Erik Balderas González, ITSM, México

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, ITSM, México

Ing. José Aurelio Carrera Melchor, ITSM, México

Distribución

Publicación electrónica disponible en

citt.itsm.edu.mx/ingeniantes

Correo electrónico: revista.ingeniantes@itsm.edu.mx

<http://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=25671>

Ingeniantes

Contenido

Implementation of the SERVPERF model in a university using multivariate statistic's tools 03

Manuel Baro Tijerina, Carmen Lorena Posada, Gerardo Duran Medrano, Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes

Evaluación de seis variedades de alfalfa con potencial productivo en tres comunidades del estado de Durango 09

D. Cisneros Arreola, M.I. Mata Escobedo, M. Cisneros González, Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana

Efectos de Rhizobium sp., y Azospirillum sp., inoculados a la planta de chayote (Shechium edules Jacq Sw.) 15

Janelive Duarte Ortiz, Evaristo López Guerrero, Instituto Tecnológico Superior Juan Rodríguez Clara; Norma Anabeli Coria Gil, Araceli Montiel Flores, María Alva Ángel Lara, Universidad Veracruzana

Estudio de alteración del peso en el Mármol tipo Café Tabaco mediante una prueba de humedad-sequedad 22

Adolfo Manuel Morales Tassinari, Javier Guevara Rivera, Pedro Cruz Ortega, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez; Jorge Arturo Hernández Zárate, Instituto Tecnológico de Veracruz.

Estudio sobre técnicas de ensambles electrónicos libres de soldadura 29

José Ramón Villarreal Alfamirano, CIATEQ Guadalajara

Análisis de esfuerzo y deformación en matriz de policarbonato con insertos de refuerzo sometida a compresión _____ 38

Cifflalín Aurelia Ortiz Hermosillo, Instituto Tecnológico de Matamoros

Un enfoque para la gestión de contenido semántico en aplicaciones del Internet de las cosas (IoT) _____ 44

Alan Omar Urías Osuna, Ricardo Quintero Meza, Luis Carlos Santillán, Emir Manjarrez, Instituto Tecnológico de Culiacán

Obtención de Lixiviados de lombricomposta a partir de diferentes tipos de residuos orgánicos empleando Eisenia foetida _____ 52

Daniel Gerardo Bencomo Trejo, Margarita Sayuri Sáenz Rodríguez, Martín González Moncada, Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes

Predicción de heladas en cultivos usando redes neuronales en la zona de Salvatierra Guanajuato _____ 59

Villaseñor Aguilar Marcos Jesús, Montecillo Puente Francisco Javier, Sámano Abone Obed Noé, Zuñiga Maldonado Walter Manuel, López Enriquez Renato, Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra



Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

Implementation of the SERVPERF model in a university using multi-variate statistic's tools



Colaboración

Manuel Baro Tijerina, Carmen Lorena Posada, Gerardo Duran Medrano, Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes

ABSTRACT: *The quality of services has been a subject of interest to several authors. Due to the complexities of measuring an intangible asset, various scales attempting to measure and compare customer expectations against the perceptions of a service have emerged. Among the models used in the efficient measurement of quality services, is the SERVPERF model, which measures the perception of the service received by the customer within five dimensions, generating indicators to implement improvements. In this research, the SERVPERF model was applied to a university, and through this model, an improvement proposal for increasing the service quality provided by the institution was determined. On the other hand, ours can check the correct operation SERVPERF model for measuring the quality perceived by customers, with the use of qualitative variables and the Cronbach coefficient; the proposals and improvement in the service's quality will be significant for the university.*

KEYWORDS: *Cronbach coefficient, customer satisfaction, experience of quality, measurement of service quality, perception of quality, qualitative variables, scale, service, servperf, servqual.*

INTRODUCTION

Due to the special nature and characteristics of services over products, quality service cannot be measured in the same manner as tangible products. In service, the important thing is the quality perceived by the client that can be broken down into different dimensions, so that a more operational concept is created for the organization. On the other hand, measuring the quality of service differs substantially from the measurement of product quality, being more difficult to assess and having to consider two aspects: the process and the result of service [1].

The quality of service concept reveals a shift from the classic concept of quality in an objective sense to a subjective concept of quality based on customer perception. Nowadays, the quality is defined by the customer. Quality is what the consumer says it is, and the quality of a particular product or service is what the consumer perceives it is, or what is the same, the quality is what the customer says it is from their perception [2]. The tolerance zone is delimited by two levels of service: the desired service, the service level that the customer expects, and the right service, the level of service that the customer considers acceptable.

Among the most used in measuring customer expectations models are the SERVQUAL and SERVPERF models, in this study we chose to use the SERVPERF model because this model only takes into account customer perceptions, which decreases the number of items to be performed and provides simple interpretation [3]. On the other hand, measuring the quality of service in an educational institution and analyze the results using statistical models, allows for the generation of improvement strategies.

The structure of this research is as follows: Section 2 presents the conceptualization of experience of quality. Section 3 the Customers' Expectations of Service is shown. Section 4 presents the SERVPERF Model, Section 5 presents the Cronbach's Alpha. Section 6 shows the methodology. Section 7 the results of the research are shown. Section 8 presents the conclusions. Finally, references are shown in Section 9.

MATERIAL AND METHODS

2. EXPERIENCE OF QUALITY

Service Quality is crucial in any organization as it helps create the bond between the business and its clients [4]. In today's competitive business environment, service quality is very important to attract and retain customers. This is due to the fact that customers derive their perceptions of service quality on the levels of satisfaction they experience with a particular business [5]. Businesses need to be able to satisfy customers and meet their expectations of service quality in order to gain competitive advantage [4]. Thus, marketers need to continually assess customers' expectations of service quality in order to avoid customer dissatisfaction [6].

Service quality is a measure of how well the service level delivered matches customer expectations. Service quality results from customers' expectations of what the service provider should offer and how the provider actually performs to meet those expectations [7]. Thus, delivering service quality means ensuring consistency in service delivery performances on a daily basis. According to Kotler (2007: 68) service quality is very important to attract and retain customers. This is due to the fact that customers derive the perceptions of service quality on the levels of satisfaction they experience with the particular business [8].

3. Customer's Expectations of Service

Customer expectations are beliefs about service delivery that function as standards or reference points against which performance is judged. Customers hold different types of expectations for service performance. Customers compare their perceptions of service delivery with these reference points when evaluating service quality, therefore, knowing what customers expect is critical in gaining competitive advantage. Failure to understand the levels of service customers expects can mean losing a customer to competitors who are able to meet customer's expectations and therefore be at a risk of losing business [9].

4. SERVPERF Model

Cronin and Taylor (1992) in their empirical work presented the framework of Parasuraman, Zeithaml and Berry (1985, 1988), with respect to conceptualization and measurement of service quality, and propounded a performance-based measure of service quality called 'SERVPERF', illustrating that service quality is a form of consumer attitude. They argued that SERVPERF was an enhanced means of measuring the service quality construct. Their study was later replicated and findings suggest that little if any theoretical or empirical evidence supports the relevance of the E-P= quality gap as the basis for measuring service quality [10]. In equation form, SERVPERF service quality can be expressed as:

lled 'SERVPERF', illustrating that service quality is a form of consumer attitude. They argued that SERVPERF was an enhanced means of measuring the service quality construct. Their study was later replicated and findings suggest that little if any theoretical or empirical evidence supports the relevance of the E-P= quality gap as the basis for measuring service quality [10]. In equation form, SERVPERF service quality can be expressed as:

$$Q_i = \sum_{j=1}^k W_j P_{ij} \quad \text{Eq. (1)}$$

Where:

Q_i = perceived quality by individual i ;

k = number of attributes;

P_{ij} = perception of individual " i " with respect to performance of a service firm on attribute " j ".

W_j = attribute importance " j " in quality perception.

5. Cronbach's Alpha

There are various types of reliability coefficients. Cronbach's (1951) alpha is one of the most commonly used reliability coefficients and for this reason the properties of this coefficient will be emphasized here. Cronbach's (1951) alpha was developed based on the necessity to evaluate items scored in multiple answer categories. Cronbach (1951) derived the alpha formula from the KR-20 formula:

$$KR - 20 = \frac{k}{(k - 1)} \left[1 - \sum \frac{p_i q_i}{\sigma_{total}^2} \right] \quad \text{Eq. (2)}$$

Where:

K = the number of items

P = the proportion of people with score 4

q = the proportion of people with score 1

σ = the variance of the total measurement

When items are perfectly correlated, and have mixed signs, the sum of item variances will be greater than the total score variance. When the individual score variance is greater than total score, internal consistency is non-existent between the item scores; therefore, the items are measuring different concepts. In general, as items are more correlated, shared variance increases, increasing internal consistency; therefore increasing the magnitude of the alpha coefficient [11].

6. Methodology

In this section, once the concept of quality experience is presented, the methodology for the implementation of the model SERVPERF at a university is demonstrated through the five dimensions perceived by customers.

1. Select and specify the dimensions and attributes that underlie the service of quality provided by the university.

2. Provide information on the level of dimensions: tangibility, reliability, responsiveness, assurance, and empathy in public services.

3. A survey to collect primary data, which give information on what the size and perception of the service will be.

4. The sampling rate is determined for the information collection. In this application, simple random sampling was selected.

5. The number of observations according to the range of the ratio and deriving this equation n is calculated with:

$$\frac{k}{k_1} * 1 \frac{s_i^1}{s_{sum}^2} \quad \text{Eq. (3)}$$

Where:

$Z(\alpha / 2)$ = the value of the standard deviations.

p = the proportion of expected success of the population.

q = the failure rate of the population or phenomenon to study.

e = the allowable error in the number of observations.

6. To assess the reliability of the measurement instrument, it was analyzed by Cronbach's alpha. Within this category of coefficients, Cronbach's alpha is undoubtedly the most widely used by researchers. Alfa estimated lower limit of the reliability coefficient and is expressed by the equation:

Where

k = the number of test items.

S_i = the variance of the items.

S_{sum} = the variance of the total test.

7. The questionnaire used in this study is based on the SERVPERF model, measuring satisfaction using only perception, through 12 items, using a Likert response scale of 4 points where more means a higher level. Also, 4-level Likert scale was used to avoid the central points.

8. The questionnaire is applied and the data is analyzed to verify what is significant.

9. Data was standardized to use the mean μ instead of mode as a measure of central tendency and analyze data as normal.

10. With the data standardized, the Mahalanobis distance is applied in order to establish significant factors, it is to say, the Euclidean distance.

11. Based on the results of the Euclidean distance, improvement proposals for increasing the students quality experience are carried out at a confidence level of 95%.

12. Based on the results of Euclidean distance at confidence level of 95%, improvement proposals for increasing the degree of service satisfaction are created.

7. Results of the Research

The dimensions selected to develop the SERVPERF model are: the aspect of the company, facilities attractive visually, the service and responsiveness. According to this dimensions, the questionnaire applied was:

- 1) The university has functional facilities to provide a good service?
- 2) The university facilities are suitable to be comfortable during the hours that remain in it?
- 3) Were the syllabi completed in your classes of this semester?
- 4) If an academic problem occurs, the teachers have disposition to fix it?
- 5) Did the teachers gave good lessons?
- 6) Is the teacher's knowledge appropriate?
- 7) Did the teachers cared about your specific needs?
- 8) The university provides personal attention?
- 9) Is the University education quality adequate?
- 10) If you have any administrative problem, the solution that you received satisfied your needs?
- 11) Does the administrative staff offer fast and a quality service?
- 12) According to your needs, does the University have adequate hours?

Subsequently the observations number was estimated according to the confidence interval of the proportion. The used formula is as follow:

$$n = \frac{p(1-p)Z_{\alpha}^2}{e^2} = \frac{1.96^2(0.95) * (0.5)}{(0.07)^2} = 37 \quad \text{Eq. (4)}$$

The number of observations to perform is 37 to guarantee a confidence level of 95%.

On other hand to assess the reliability of the measuring instrument we proceeded with an analysis of the internal consistency by calculating the Cronbach's alpha. Within this category of coefficients, Cronbach's alpha is undoubtedly the most widely used by researchers. Alfa estimates the lower limit of reliability coefficient and is expressed by the equation:

$$\frac{k}{k_1} * 1 \frac{s_i^1}{s_{sum}^2} \quad \text{Eq. (5)}$$

The next table shows the matrix by items to estimate the Cronbach alpha:

Table 1: Results Matrix

Questionnaire	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12
1	2	3	3	3	3	3	2	2	1	2	3	2
2	2	3	3	3	3	3	2	3	1	2	3	3
3	2	3	3	3	3	3	2	3	1	2	3	3
4	3	2	3	3	2	4	3	3	3	3	2	2
5	3	3	3	3	2	4	3	3	3	4	4	3
6	3	2	3	3	4	4	4	3	2	3	2	2
7	3	3	2	3	4	3	2	3	3	2	4	3
8	3	3	2	3	4	3	2	3	3	3	3	2
9	3	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	4
10	3	3	2	3	4	3	3	2	4	4	3	3
11	1	1	2	3	3	2	3	2	2	3	3	3
12	3	3	2	3	3	4	2	3	3	3	2	3
13	3	4	4	2	3	4	4	3	4	3	2	2
14	3	2	1	3	3	2	3	2	2	2	3	4
15	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3
16	3	3	4	1	3	3	4	4	4	3	3	3
17	3	3	4	3	4	3	2	2	3	3	3	3
18	4	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3	2
19	2	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3
20	4	3	2	3	4	4	3	4	2	3	3	3
21	3	2	4	4	3	3	3	2	3	3	4	2
22	3	2	3	3	3	3	2	3	2	3	3	4
23	3	2	3	3	3	3	3	2	2	3	3	4
24	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	3	4
25	3	3	4	3	4	3	3	3	2	2	2	4
26	3	3	4	1	4	3	3	1	3	3	3	4
27	3	3	4	2	4	4	4	2	3	4	3	3
28	3	3	4	3	4	3	4	4	3	3	3	3
29	3	3	3	4	3	3	3	4	2	3	3	4
30	3	2	3	3	2	3	3	4	3	2	3	2
31	4	3	3	3	3	3	2	4	2	3	3	3
32	4	2	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3
33	4	3	3	4	3	2	3	3	3	2	2	4
34	4	4	4	4	3	4	3	2	3	3	3	3
35	4	4	4	4	3	4	3	2	3	3	3	3
36	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	2	3
37	4	4	2	4	3	3	3	2	3	2	3	2
38	3	4	3	2	3	3	3	1	2	3	3	3
39	4	4	3	2	4	3	2	4	3	2	2	3
40	4	4	3	2	4	3	2	3	3	3	3	4

Then, using the matrix table showed above, the correlation coefficient was estimated for each item. The results of the analysis are shown below:

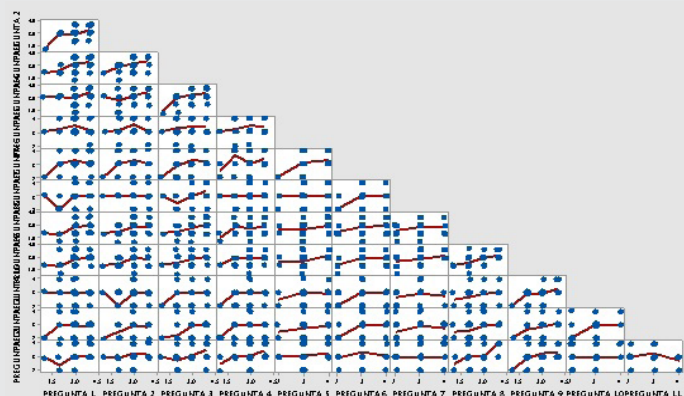


Fig. 1: Correlation Matrix

The figure 1 presents the correlation between the analyzed items and the obtained responses in the number of the questionnaires applied. According to the correlation matrix, it was obtained that there is an adequate correlation by items, due this, the expected values of correlation must be higher than the 0.70.

Table 2: Cronbach Alpha

Variable	Mean	StDev	Total	Corr	Corr	Alpha
Item 1	32.650	4.258	0.3575	0.4646	0.7945	
Item 2	32.850	4.222	0.4075	0.3411	0.7899	
Item 3	32.725	3.974	0.6536	0.5672	0.7628	
Item 4	32.775	4.098	0.4828	0.3413	0.7830	
Item 5	32.450	4.350	0.2899	0.4325	0.7989	
Item 6	32.625	4.295	0.3478	0.2421	0.7948	
Item 7	32.825	4.314	0.3350	0.4039	0.7956	
Item 8	33.075	4.047	0.5460	0.4101	0.7757	
Item 9	33.000	4.051	0.6715	0.6215	0.7636	
Item 10	32.950	4.314	0.3748	0.4855	0.7925	
Item 11	33.000	4.285	0.4046	0.3903	0.7900	
Item 12	32.600	4.260	0.4335	0.2935	0.7878	

According to the results of Cronbach's alpha for each item ≥ 0.7 it is assumed that the applied questionnaire measures the necessary dimensions of SERVPERF model to estimate the quality of service. In addition Cronbach's alpha global, that is, the overall average of the coefficients is equal to 0.8006 or 80.06% expressed as a percentage indicating a good fit of the data to be measured.

Once the analysis of the Cronbach coefficient has been accepted, and proving that the items measure the required dimensions, the data of each item were normalized in order to establish the main factors, as shown below.

With the results of the coefficients, the data is standardized to use the average μ and standard deviation σ as the parameters, in other words the data are normalized to estimate the Mahalanobis distance. A standardization of data was performed to convert qualitative variables to quantitative type, using Minitab 17, allowing the change of parameters. The standardization of data was carried out by:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \rightarrow N((0,1)) \quad \text{Eq. (6)}$$

The standardized data table shown below:

Table 3: Standardized data

[illegible]

On the other hand, once applying the data standardization as shown in Table 5, the significant factors of customers are determined according to the 5 dimensions established in section 6. Next the standardized data, the Mahalanobis distance is estimated to determine the significant items using Minitab 17 as shown:

Table 4: Principal Component Factor Analysis of the Correlation Matrix

Unrotated Factor Loadings and Communalities						
Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Communality
Item 1	0.462	-0.671	-0.096	0.321	0.096	0.786
Item 2	0.513	-0.335	-0.435	0.387	-0.048	0.717
Item 3	0.749	-0.249	-0.007	-0.207	0.291	0.750
Item 4	0.603	-0.003	-0.296	-0.246	0.028	0.512
Item 5	0.399	0.465	0.541	0.252	-0.208	0.775
Item 6	0.448	0.359	0.205	0.399	0.480	0.761
Item 7	0.450	-0.220	0.487	-0.430	0.418	0.848
Item 8	0.671	-0.012	0.086	0.242	-0.269	0.589
Item 9	0.772	0.065	0.243	0.027	-0.229	0.712
Item 10	0.501	0.432	-0.467	-0.350	-0.061	0.782
Item 11	0.516	0.546	-0.372	0.048	0.137	0.724
Item 12	0.550	-0.215	0.191	-0.296	-0.468	0.692
Variance	3.8292	1.5544	1.3173	1.0350	0.9122	8.6481
% Var	0.319	0.130	0.110	0.086	0.076	0.721

Table 5: Factor Score Coefficients

Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5
Item 1	0.121	-0.432	-0.073	0.311	0.106
Item 2	0.134	-0.215	-0.331	0.374	-0.052
Item 3	0.196	-0.160	-0.005	-0.200	0.319
Item 4	0.157	-0.002	-0.225	-0.237	0.031
Item 5	0.104	0.299	0.411	0.244	-0.228
Item 6	0.117	0.231	0.156	0.385	0.527
Item 7	0.118	-0.142	0.370	-0.416	0.458
Item 8	0.175	-0.008	0.065	0.234	-0.295
Item 9	0.202	0.042	0.185	0.026	-0.251
Item 10	0.131	0.278	-0.354	-0.338	-0.067
Item 11	0.135	0.352	-0.282	0.047	0.150
Item 12	0.144	-0.138	0.145	-0.286	-0.514

As can be seen the dispersion of data on the effect of each item on the perception of quality is distributed equivalently, in other words, the 12 questions that include the 5 dimensions of the model SERVPERF be addressed in order to ensure an optimal experience quality.

Once found the significant factors improvement strategies were established according to each dimension based on:

Table 6: Results and Proposal of Improvement

Dimension Improvement	Problem	Proposed improvement
Good presentation	Variation in presentation	To establish uniform for working days.
Easily locatable	It is not well located Parking missing	Carry out publicity campaign and delivery of information leaflets Expanding car park
Good relationship	Inadequate service	Training and standardize staff for the service rendered equal.
Interests of students	Lack of interest in students	Train teachers and administrative staff in order to ensure a quick response to the student's needs.
Clear and understandable information	The information is not transmitted adequately at all levels	Due to the structure of the university it is necessary to create a real time electronic information system for all staff and students.
Security service	Adequate	No improvement is necessary.
Telephone contact	Adequate	No improvement is necessary.
Instruments and procedures	Adequate	No improvement is necessary.

According to the analysis shown, it is observed that the most significant factors as the results are the lack of standardized work, by the administrative and teaching staff, and the absence of effective communication, which can occur through an electronic communication system, to ensure that the administrative staff, teachers and students are informed about developments within the university and most importantly, students are listened and their needs are met.

8. Conclusions

According to the analysis, it was shown that the significant factors based on the results obtained, are, the lack of standardized work by the administrative and teaching staff, besides the lack of effective communication at all levels, which can be treated with the implementation of an electronic communication system, which ensures that the administrative staff, teachers and students are aware

of the events within the university and students are heard and that their needs are met. Furthermore you can verify the proper functioning of the model SERVPERF in measuring customer expectations, based on qualitative data and making a transformation to treat them as quantitative data.

9. Bibliography

[1] L.E. M. Ibarra and E. V. M. Casas, "Aplicación del modelo Servperf en los centros de atención Telcel, Hermosillo: una medición de la calidad en el servicio," *Contaduría y Adm.*, vol. 60, no. 1, pp. 229-260, 2015.

[2] A. M. Smith, "Measuring Service Quality: is SERVQUAL now Redundant?," *J. Mark. Manag.*, vol. 11, no. 1-3, pp. 257-276, 1995.

[3] K. M. Elliott, "Servperf Versus Servqual: a Marketing Management Dilemma When Assessing Service Quality.," *J. Mark. Manag.*, vol. 4, pp. 56-61, 1994.

[4] S. Kamal, Y. Aqeel, and S. Khan, "City University of Science and Information Technology Peshawar Pakistan," pp. 279-290, 2014.

[5] M. A. Phiri and T. Mcwabe, "Customers' Expectations and Perceptions of Service Quality : the Case of Pick N Pay Supermarket Stores in Pietermaritzburg Area , South Africa," *Intenrational J. Res. Soc. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 96-104, 2013.

[6] B. A. A. G. A. EL-refae, "The Relationships between Service Quality, Satisfaction, and Behavioral Intentions of Malaysian Spa Center Customers," *Int. J. Bus. Soc. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 198-206, 2012.

[7] R. Johnston, "The Determinants of Service Quality - Satisfiers and Dissatisfiers," *Int. J. Serv. Ind. Manag.*, vol. 6, no. 5, pp. 53-71, 1995.

[8] M. G. D. a RíosVázquez, M. N. J., González, A. A., Carrasco, M. A. C., Vázquez, M. J. P., & Ríos, "SERVQUAL: Evaluación en el servicio de las áreas de Catastro e Ingresos del Ayuntamiento de Cajeme "," 2008.

[9] V. Zeithalm, M. J. Bitner, and D. Gremler, "Customer expectations of service," in *Services Marketing*, 2013, pp. 54-75.

[10] M. Adil, O. F. M. Al Ghaswyneh, and A. M. Albkour, "SERVQUAL and SERVPERF: A Review of Measures in ServicesMarketing Research," *Glob. J. Manag. Bus. Res. Mark.*, vol. 13, no. 6, pp. 64-76, 2013.

[11] K. Allen, "Explaining Cronbach's Alpha," *Informal Present. given Dur.*, 2005.



Tierra, *Medio Ambiente* y Energía

Ingeniantes

Evaluación de seis variedades de alfalfa con potencial productivo en tres comunidades del estado de Durango

RESUMEN: En las regiones del Valle del Guadiana y Nuevo Ideal en Durango, México, se cultivan distintas variedades de alfalfa. En la mayoría de los casos, el productor desconoce aquellas variedades que por calidad y rendimiento se adaptan a las condiciones climáticas y edáficas que prevalecen en su sitio de producción. Por ello, se establecieron parcelas experimentales en tres comunidades: Montemorelos, Llano Hermoso y Nuevo Porvenir, evaluándose seis variedades de alfalfa (Júpiter, Sundor, Cuf 101, Alta Verde, Genex, Maya) para determinar calidad y rendimiento bajo diferentes ambientes. Por rendimiento, destacaron Júpiter y Sundor; en esta variable Júpiter supera en un 16.41% a Cuf 101, lo cual equivale a una diferencia de 440 kg en materia seca (MS) por corte. En la evaluación por comunidades, Montemorelos, superó a Llano Hermoso y Nuevo Porvenir, en un 22.42% y 25.73% respectivamente en la producción de forraje por corte. Para contenido de Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Ácido (FDA); Alta Verde y Sundor, presentaron los valores más elevados de Proteína Cruda (18.2% y 18.18% respectivamente) y menor contenido de FDN y FDA. Por comunidad, Montemorelos superó a las demás en PC, presentando el valor más elevado (19.55%), y menor contenido de FDN y FDA (34.14% y 25.21% respectivamente).

PALABRAS CLAVE: Alfalfa, rendimiento, proteína, FDN, FDA, variedad.



Colaboración

D. Cisneros Arreola, M.I. Mata Escobedo, M. Cisneros González, Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana

ABSTRACT: Several alfalfa varieties are cultivated into the regions of the Valle del Guadiana and Nuevo Ideal, in the state of Durango, México. In most of the cases, farmers are not aware about which ones are suitable for every weather and edaphic conditions in the production site. In order to evaluate six alfalfa varieties (Jupiter, Sundor, Cuf 101, Alta Verde, Genex, Maya), experimental plots were established in three communities: Montemorelos, Llano Hermoso and Nuevo Porvenir. Experiments were developed for the determination of the quality and performance of every alfalfa variety under different environmental conditions. Jupiter and Sundor highlighted in their performance. First variety exceeds by 16.41% to Cuf 101, this means that there is a difference of 400 kg of dry matter (DM) in every cut. On the evaluation of production, Montemorelos community exceeded in dry matter for every cut to Llano Hermoso and Nuevo Porvenir by 22.42% and 25.73%, respectively. For the content of crude protein, ADF (Acid Detergent Fiber), and NDF (Neutro Detergent Fiber); Alta Verde and Sundor had the highest percentages of protein (18.2% and 18.18% respectively), and less ADF and NDF percentages. In comparison with other communities, Montemorelos had the highest percentages of crude protein (19.55%), NDF (34.14%), and of ADF (25.21%).

KEYWORDS: Alfalfa, performance, protein, NDF, ADF, variety.

INTRODUCCIÓN

El Estado de Durango se caracteriza por ser productor de ganado bovino tanto productor de leche como de carne. Por lo anterior, es fundamental la producción forrajera en particular para la ganadería lechera, la cual demanda elevadas cantidades de alfalfa como forraje base para su alimentación. De acuerdo a los datos presentados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [1], en Durango se cultivan 30,048.5 (ha) con una producción de aproximadamente 2,603,511.5 toneladas (t) de alfalfa verde y un ren-

dimiento promedio por ha de 86.70 t. Esta cantidad resulta ser insuficiente para mantener la producción del hato lechero, por lo cual se importa lo faltante de otros Estados como Chihuahua y Coahuila.

La zona de mayor producción de alfalfa en el estado de Durango, abarca los municipios de Gómez Palacio, Lerdo, Nazas y Mapimí, que en conjunto con otros municipios siembran 19,615 ha. Por otra parte, en la Región de los Llanos, principalmente en los municipios de Durango, Nombre de Dios y Guadalupe Victoria, la superficie solo llega a las 3,403 ha. La producción obtenida de esta región, se destina para complementar la alimentación en épocas de sequía de 951,505 cabezas de bovino productor de carne y como base en la alimentación de 250,973 cabezas de bovino productor de leche [1].

En el presente trabajo, el área de estudio comprendió los municipios de Durango y Nuevo Ideal, en donde se ha vuelto poco rentable la siembra en terrenos de riego de maíz y frijol durante la época de verano, y avena en invierno. Por esa situación, los productores recurren a cultivos alternos que les reditúen mayores utilidades, tomando al cultivo de alfalfa como una de las mejores opciones, ya que tiene un elevado contenido nutricional y no presenta problemas de comercialización alcanzando elevados precios en el mercado local y nacional.

El Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana realizó una evaluación de las variedades de alfalfa existentes en el mercado local. Los resultados obtenidos, sirvieron como base para realizar recomendaciones técnicas que permitan a los productores obtener un incremento en términos de rendimiento y calidad para lograr mejores ganancias económicas en la producción agropecuaria.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se estableció una parcela experimental en el Municipio de Durango (comunidad de Montemorelos) y dos en el Municipio de Nuevo Ideal (comunidades de Nuevo Porvenir y Llano Hermoso). El tamaño de las parcelas experimentales fue de 10 ha por comunidad.

Se evaluaron las variedades de alfalfa: Sundor, Alta verde, Genex, Maya, Júpiter y Cuf-101. La siembra se realizó en seco utilizando una sembradora Brillion® (Figura 1) y la densidad de siembra fue de 35 kg de semilla certificada por ha, con un mínimo de 85% de germinación. Por otro lado, el ancho y largo de las melgas de las parcelas variaron de acuerdo a la nivelación del terreno con valores de 6 a 8 m y 50 a 80 m respectivamente. Las pendientes en las parcelas experimentales fueron de 0.7% a lo largo de la melga y para lo ancho variaron de 0.4 a 0.5%. Lo anterior se muestra en la Figura 2.



Fig. 1. Siembra en seco empleando una sembradora Brillion



Fig. 2. Medición y nivelación de parcelas experimentales

Para el mantenimiento del cultivo con relación al control de plagas, enfermedades, cosecha, fertilización y riegos, se utilizó el paquete Tecnológico propuesto por el INIFAP-CAEVAG [2]; mientras que para determinar el rendimiento del forraje en materia seca (MS) se utilizó la técnica del m² desarrollada por Huss y Aguirre [3], como se observa en la Figura 3.

Como indicadores de la calidad forrajera de las variedades evaluadas se determinó el contenido de Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Ácido (FDA) y Fibra Detergente Neutro (FDN), estas fracciones de fibra afectan la digestibilidad del forraje. Para determinar PC se empleó el método de Micro-Kjeldahl [4] y para obtener los valores de FDA y FDN se empleó la metodología propuesta por Van Soest et al. [5].

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA) para un diseño de Bloques al Azar con arreglo factorial 3x6. La separación de medias; cuando hubo



Fig. 3. Muestreo de alfalfa con la técnica del m² en una parcela experimental de Nuevo Ideal

diferencia estadística, se hizo mediante la prueba de Tukey, empleando el software libre InfoStat versión 2014 [6].

RESULTADOS

Rendimiento de Forraje

En la Tabla 1 se observa que la producción de forraje en base seca (BS), muestra diferencias estadísticas entre variedades y localidades ($P < 0.05$). La variedad Júpiter mostró mayor rendimiento, mientras que la variedad con menor rendimiento fue la Cuf-101, con una diferencia de 16.41% entre ambas (Tabla 1). Entre comunidades, Montemorelos, presentó mayor rendimiento (2.72 t·ha⁻¹ por corte), mientras que en la comunidad de Nuevo Porvenir se obtuvieron los menores rendimientos (2.02 t·ha⁻¹ por corte). Esta diferencia de 0.7 t·ha⁻¹ proporciona un ingreso económico a favor de la comunidad de Montemorelos.

Morales et al. [7] en la evaluación de variedades de alfalfa Cuf 101, Maya y Júpiter reportaron rendimientos superiores que los encontrados en este estudio (44.7%, 45.81% y 39.22% respectivamente), tal y como se muestra en la Figura 4. Cabe mencionar que los resultados obtenidos en [7] se asociaron con la aplicación de la fertilización en fertirriego y no a las variedades. En ese mismo estudio, la variedad Júpiter tuvo el mayor rendimiento con 4.41 t·MS·ha⁻¹ por corte lo cual coincide con lo reportado en este trabajo, aunque con un rendimiento menor con un valor de 2.68 t·MS·ha⁻¹ por corte (Tabla 1).

No obstante, en otras investigaciones como la realizada por Montemayor et al. [8] se reporta que con la aplicación de 12 kg de Fósforo por ha⁻¹ en el agua de riego, se podría incrementar la producción de alfalfa un 26%.

En el comportamiento de la alfalfa en relación al rendimiento, pudiera influir tanto el periodo de reposo inver-

nal como la época de corte del cultivo. Sin embargo, Rébora et al. [9] al evaluar el comportamiento del rendimiento de distintas variedades de alfalfa con diferente grado de reposo invernal, no se encontraron diferencias estadísticas tanto en el rendimiento de forraje como en el número de cortes realizados en el año.

Tabla 1. Rendimiento (t ha⁻¹ por corte) y calidad de la alfalfa por variedad y comunidad*

	t ha ⁻¹ (BS)	% PC	% FDN	% FDA
Variedad				
Cuf-101	2.24 b	17.30 c	36.14 b	26.73 a
Maya	2.33 ab	17.78 b	35.74 bc	25.85 b
Alta Verde	2.26 b	18.20 a	35.56 c	25.77 b
Genex	2.25 b	17.19 c	35.65 c	25.85 b
Júpiter	2.68 a	17.17 c	36.67 a	26.80 a
Sundor	2.50 ab	18.18 a	36.01 bc	27.13 a
Comunidad				
Montemorelos	2.72 a	19.55 a	34.14 c	25.21 c
Nuevo Porvenir	2.02 c	17.58 b	37.78 a	27.57 a
Llano Hermoso	2.11 b	15.78 c	35.97 b	26.29 b
EE	0.0383		0.2235	0.2177

*Literal diferente en columna indica diferencia estadística ($P < 0.05$).

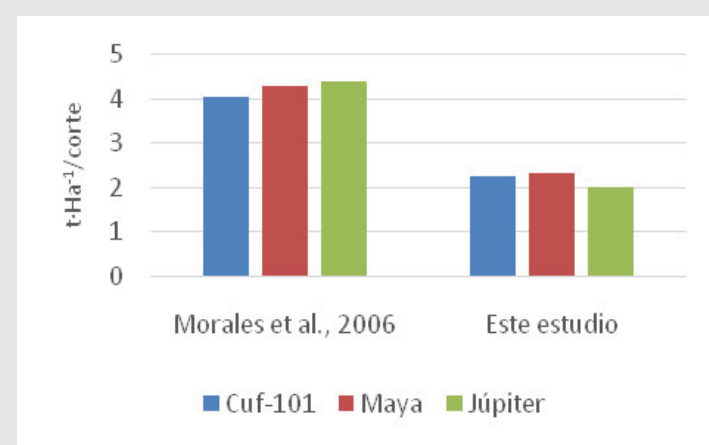


Figura 4. Comparación del Rendimiento (t·ha-corte) de variedades de alfalfa.

La época de rebrote posterior al periodo invernal influye en el rendimiento del cultivo durante el año, como lo demostraron Montes et al., [10] al evaluar en un cultivo de alfalfa los diferentes periodos de rebrote y su efecto en la producción anual. En éste estudio, se reporta un mayor rendimiento por corte a los 49 días después del rebrote para primavera, verano y otoño con valores de 2,794, 2,680 y 2,116 kg·MS·ha⁻¹ respectivamente y a los 42 días en invierno de 3,416 kg·MS·ha⁻¹.

Se ha demostrado que la edad de rebrote y la periodicidad entre cortes que ocurren durante el año en la alfalfa, tienen influencia en el rendimiento del cultivo. Ville-

gas et al. [11] encontraron que la mayor acumulación de MS ocurre durante la primavera mientras que para la periodicidad entre cortes, Rivas-Jacobo et al. [12] reportan un comportamiento productivo similar en el rendimiento de 5 variedades de alfalfa durante el periodo primavera-verano en comparación del periodo otoño-invierno.

Mendoza-Pedroza et al. [13] enfatizan la importancia que tiene la frecuencia de corte en el rendimiento, afirmando que la mayor cantidad de forraje se obtiene cuando la frecuencia de corte de la alfalfa se realiza a las 6 semanas de iniciado el rebrote durante el periodo primavera-verano y 7 semanas en otoño-invierno. Aunque el rendimiento pudiera verse influenciado por las altas temperaturas que se presentan durante el verano en combinación con el mayor fotoperiodo. Lo anterior, afecta a la tasa de crecimiento y ocasiona una mayor tasa de respiración; lo que podría reducir el periodo entre cortes, producción de forraje y reserva radicular de carbohidratos tal y como lo demuestran Quiroga et al [14].

Proteína Cruda.

El contenido de Proteína Pura (PC) también fue diferente entre las variedades evaluadas ($P < 0.05$; Tabla 1). Las variedades Alta Verde y Sundor tuvieron mayor contenido, mientras que la variedad Júpiter tuvo menos PC con 5.66% de diferencia entre las variedades mencionadas.

Entre comunidades, la alfalfa presentó mayor contenido de PC en Montemorelos en comparación con la comunidad Llano Hermoso ($P < 0.05$) con una diferencia entre ambas del 9.05%.

En este trabajo, los resultados obtenidos podrían deberse a la diferente respuesta de las variedades a las condiciones imperantes en los tres sitios en los que se evaluaron (por ejemplo: factores climáticos, tipo de suelo, altitud, latitud, entre otras).

Fracciones de fibra.

Para las variables FDN y FDA se encontraron diferencias estadísticas, tanto en variedades como en comunidades ($P < 0.05$).

La variedad con mayor contenido de FDN y FDA fue Júpiter, mientras que el menor contenido se observó en Alta Verde (Tabla 1), lo que incide directamente en la calidad nutricional del forraje. Se encontró una tendencia numérica que muestra una relación inversa entre el contenido de las fracciones de fibra con el contenido de PC entre las variedades Júpiter y Alta Verde, como se muestra en la Tabla 1.

Entre comunidades, el mayor contenido de FDN y FDA se encontró en Nuevo Porvenir, mientras que el menor se obtuvo en la alfalfa producida en la comunidad de Montemorelos (Tabla 1). Estos valores podrían indicar condiciones ambientales más adecuadas para la producción de alfalfa en Montemorelos que en las otras dos comunidades, in-

dependientemente de otros factores que pudieron influir durante el desarrollo del experimento.

En el caso de las 6 variedades evaluadas en este trabajo, la mejor época de siembra se determinó que es a partir del 15 de Septiembre al 15 de Noviembre con el fin de evitar la presencia de malezas y plagas. Estos factores podrían terminar con el cultivo, lo que llega a ocurrir cuando la siembra se realiza de manera tardía (durante el periodo Enero-Marzo). Comúnmente como consecuencia de la siembra tardía se incrementan los costos de mantenimiento del cultivo por la aplicación de agroquímicos.

Los factores que pueden afectar el estado de madurez de la planta al momento de la cosecha, son: las propiedades químicas de cada variedad, los factores ambientales propios de cada comunidad así como el estado de crecimiento.

Las diferencias entre los materiales genéticos sugieren que son inherentes a cada una de las variedades como altura de la planta y relación hoja-tallo, más que a la fertilización o a otros factores externos a la planta, tal como fue demostrado por Lemes et al. [15]. Estos autores mencionan que no se encontraron diferencias estadísticas para PC, FDN y FDA al agregar diferentes dosis de biofertilizante en un cultivo de alfalfa, enfatizando la poca importancia que se tendría en la calidad del cultivo si se adicionaran elevadas cantidades de nutrientes.

Rivas-Jacobo et al. [12] reportan que para valor nutritivo del forraje (PC, FDA, FDN y energía) no se encontraron diferencias significativas entre variedades.

Por otra parte, Vazquez et al. [16] realizaron evaluaciones en el Estado de Coahuila acerca del rendimiento y calidad entre las variedades Alta Verde, Cuf 101 y Sundor con adición de estiércol bovino al suelo obteniendo un rendimiento promedio entre variedades de 4 t ha⁻¹ de forraje seco. Mientras que para valor nutritivo del forraje (proteína cruda, fibra ácido detergente, fibra neutro detergente y energía) no se encontraron diferencias significativas entre variedades. Sin embargo, para calidad Mejía-Delgadillo et al. [17] obtienen valores de 15.3% PC y 33.6% FDN que son inferiores con respecto a los observados en este estudio.

En un experimento diferente, Camacho et al. [18], evaluaron cuatro variedades de alfalfa utilizadas en la engorda de bovino productor de carne reportándose resultados similares a los del presente trabajo en relación a las variables de rendimiento y calidad del forraje.

CONCLUSIONES

Dentro de las tres comunidades el mejor rendimiento se obtuvo con la variedad Júpiter con 16.41% con mayor producción de materia seca en relación la variedad Cuf 101 que fue la de menor producción en este estudio. La mejor calidad del forraje la mostró la variedad Alta Ver-

de al tener valores más elevados de PC y menor contenido de FDN y FDA.

Por comunidad, Montemorelos fue superior a las demás en rendimiento y calidad del forraje, al presentar valores de 19.55% PC y los menores valores de FDN y FDA con 34.14% y 25.21% respectivamente.

Se sugiere que al momento de la compra de la semilla, se le exija al vendedor que muestre mediante algún documento las características técnicas de la variedad, principalmente lo que respecta al grado de dormancia; que para estos municipios se recomiendan valores de 8 y 9. Además de considerar la resistencia a pudrición de la raíz, a plagas y enfermedades.

BIBLIOGRAFÍA

[1] SIAP-SAGARPA. (2016) *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México.*

[2] INIFAP-CAEVAG (1986). *Guía Técnica. 2a. ed.*

[3] Huss, D. L. y Aguirre, E. (1978). *Fundamentos de Manejo de Pastizales. ITESM.pp 76 - 77.*

[4] AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis of the AOAC. Volume 2 (No. Ed. 15). Association of Official Analytical Chemists Inc.*

[5] Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. (1991). *Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in relation to Animal Nutrition. J. Dairy Sci. 74:3583-3597.*

[6] Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. *InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.*

[7] Morales-Ayala, J., Jiménez-Victoria, José L. V., Velasco-Velasco, A., Villegas-Aparicio, Y., Enríquez-Del Valle, J. R., Hernández-Garay, A. (2006). *Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la Mixteca de Oaxaca Téc Pecu-Méx;44(3):277-288.*

[8] Montemayor, T.J., J.L. Woo, J. Munguía, A. Román, M.A. Segura, P. Coronado y E. Frías (2012). *Producción de Alfalfa (Medicago sativa L.) Cultivada en Riego Sub.Superficial y Diferentes Niveles de Fósforo. Rev. Mex. Cienc. Agric. Vol.3 Núm. 7.*

[9] Rebora C. A. Barros, L. Ibarguren, A. Bertona, C. Antonini y F. Arenas (2015). *Efecto del Grado de Reposo Invernal de Alfalfa (Medicago sativa L.) Sobre el Rendimiento de Heno en el Oasis Norte de Mendoza. Rev. FCA UNCuyo. 47(2): 43-51.*

[10] Montes Cruza, R. Castro, G. Aguilar, S. Sandoval y M.M. Solis (2016). *Acumulación Estacional de Biomasa Aérea de Alfalfa Var. Oaxaca Criolla (Medicago sativa L.). Rev. Mex. Cienc. Pec; 7(4): 539-552.*

[11] Villegas Y.A., Hernández A.G., Pérez J.P., López C.A., Herrera H.G., Enríquez Q.J., Gómez V.A. (2004). *Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (Medicago sativa L.). TécPecuMéx 2004;42(2):145-158.*

[12] Rivas-Jacobo M.A., López-Castañeda C., A., Hernández-Garay A., Pérez-Pérez J. (2005). *Efecto de tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (Medicago sativa L.). TécPecuMéx 2005;43(1):79-92.*

[13] Mendoza-Pedroza, S. I., Hernández-Garay, A., Pérez Pérez, J., Quero-Carrillo, A. R., Escalante-Estrada, J. A. S., Zaragoza-Ramírez, J. L., Ramírez-Reynoso, O. (2010) *Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte RevMexCiencPecu.,1(3):287-296.*

[14] Quiroga Garza, H. M., (2013). *Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas, Rev. Mex. Cienc. Agríc. 4 (4):503-516.*

[15] Lemes R.L., C. Viega, M. García y R. Heinrichs (2016). *Biofertilizer in the Nutritional Quality of Alfalfa (Medicago sativa L.). DOI: 10.5433/1679-0359.2016v3 7n3p144.*

[16] Vazquez-Vazquez, C., García-Hernández, J. L., Salazar-Sosa, E., Murillo-Amador, B., Orona-Castillo, I., Zúñiga-Tarrango, R., Rueda-Puente, E. O., Preciado-Rangel, P. (2010). *Rendimiento y valor nutritivo de forraje de alfalfa (Medicago sativa L.) con diferentes dosis de estiércol bovino. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 1(4): 363 - 372.*

[17] Mejía-Delgadillo, M.A., Álvarez-Almora, E. G., Pinos-Rodríguez, J. M., Ponce-Medina, J. F., Plascencia-Jorquera, A., Escoboza-García, L. F., Rodríguez-García, J. (2011). *Digestión del heno de trigo en comparación con la de alfalfa y ballico en novillos. Agrociencia,(45): 13-21.*

[18] Camacho García, J. L., García-Muñiz, J. G. (2003). *Producción y calidad del forraje de cuatro variedades de alfalfa asociadas con trébol blanco, ballico perenne, festuca alta y pasto ovillo. Vet. Mex, 34 (2), 150-177.*

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana y Fundación Produce Durango A.C. por el apoyo financiero recibido durante la realización de este trabajo de investigación.



Bioquímica *y* Biológicos

Ingeniantes

Efectos de *Rhizobium* sp., y *Azospirillum* sp., inoculados a la planta de chayote (*Shechium edules* Jacq Sw.)

RESUMEN: Veracruz genera más del 80% de la producción nacional de chayote, esto exige a los productores el uso de tecnologías sustentables y económicas, como la aplicación de bioinoculantes bacterianos que permita sustituir parcial o totalmente las necesidades de fertilización química.

Este trabajo evaluó los efectos de cepas nativas de los géneros *Rhizobium* y *Azospirillum*, en el crecimiento de la planta de chayote, mediante un diseño experimental completamente al azar con seis tratamientos (Rhiz, Rhiz-SE, Test-Rhiz, Azos, Test-Azos y el co-inoculado Rhiz-Azos).

Las cepas purificadas se identificaron mediante su morfología, tinción de Gram y pruebas bioquímicas. Se sembraron en caldos YMA y NFB para la obtención del inóculo con una concentración de 10^7 UFC mL⁻¹, que fue aplicado a las semillas de chayote previo a su siembra para evaluar las variables de estudio por los siguientes 60 días.

Los resultados mostraron que las plantas de chayote inoculadas con *Azospirillum* respondieron en las variables de crecimiento (longitud y diámetro del tallo, número de entrenudos y hojas) superando su testigo. Por otra parte, *Rhizobium* favorece el incremento de la longitud del tallo, el número de entrenudos y la concentración de NH_4^+ .

PALABRAS CLAVE: *Azospirillum*, biofertilizantes, cepas nativas, chayote, PGPR, *Rhizobium*.



Colaboración

Janelive Duarte Ortiz, Evaristo López Guerrero, Instituto Tecnológico Superior Juan Rodríguez Clara; Norma Anabeli Coria Gil, Araceli Montiel Flores, María Alva Ángel Lara, Universidad Veracruzana

ABSTRACT: Veracruz generates more than 80% of the national production of chayote, this requires the producers to use sustainable and economic technologies, such as the application of bacterial bioinoculants that allow partial or total replacement of chemical fertilization needs.

This work evaluated the effects of native strains of *Rhizobium* spp. and *Azospirillum* spp. on the growth of the chayote plant, using a completely randomized design with six treatments: Rhiz, Rhiz-SE, Test-Rhiz, Azos, Test-Azos and The co-inoculated Rhiz-Azos.

The purified strains were identified by their morphology, Gram staining and biochemical tests; Were seeded in YMA and NFB broths to obtain the inoculum with a concentration of 10^7 CFU mL⁻¹, which was applied to chayote seeds prior to sowing to evaluate the study variables for the following 60 days.

The results showed that chayote plants inoculated with *Azospirillum* responded in growth variables (stem length and diameter, number of internodes and leaves), exceeding their control. On the other hand, *Rhizobium* increased the stem length, the number of internodes and the NH_4^+ concentration.

KEYWORDS: *Azospirillum*, Biofertilizers, chayote, native strains, PGPR, *Rhizobium*.

INTRODUCCIÓN

El Estado de Veracruz es el mayor productor del fruto de chayote (*Sechium edule* Jacq. Sw.) en todo el país, su cultivo se concentra en tres regiones, que incluye a los municipios de Actopan, Orizaba y Coscomatepec de Bravo; tan sólo en el año 2014 se cosecharon 134,522 mil toneladas, equivalente al 82.4% de la producción nacional [38].

La deficiencia de nutrientes en los cultivos, principalmente de N-P-K, es corregida a través de la adición de fertilizantes (Armenta et al., 2010) del que solo se absorbe entre el 20-40% [16]. Por ello, la fertilización es uno de los factores limitantes en la producción agrícola [20]. Actualmente, se aplican en excesivas cantidades y sin el rigor técnico necesario [32]. Sin embargo, lograr los más altos rendimientos por unidad de superficie, se ha vuelto una prioridad, pero fuera de un control racional y un entorno sostenible. Ésta política ha generado secuelas que recaen en una explotación desmedida de los recursos naturales, pérdida de la biodiversidad, erosión del suelo y cambio climático.

El uso de biofertilizantes a los que se les atribuyen los procesos de fijación biológica de nitrógeno y promoción de crecimiento vegetal [37], favorece el desarrollo de tecnologías de producción menos contaminantes y ecológicamente más racionales [2].

Las rizobacterias llamadas PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) incrementan la biomasa vegetal [31], la síntesis de sideróforos [4][33][35] y fitohormonas como las auxinas [3][20], citocininas [25] y giberelinas [10]; favorecen el control biológico de enfermedades y plagas [1][10][15], además mejoran la resistencia a condiciones de estrés mediante la síntesis de etileno [3][28][39].

La Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) o BNF (Biological Nitrogen Fixation) es un proceso clave en la biósfera; mediante el cual, los microorganismos del género *Frankia* sp., *Rhizobium* sp., *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp., *Azolla* sp., y las *Cianobacterias* [24] son portadores de la enzima Nitrogenasa o Nasa [6] que transforma el nitrógeno gaseoso en nitrógeno combinado [12][26], reduciendo hasta en un 20-50% la aplicación de fertilizantes a base de nitrógeno [21].

La PGPR *Azospirillum* es de particular interés por su capacidad para fijar nitrógeno, sintetizar fitohormonas [22] y la formación de células tipo quistes, las cuales le brindan la capacidad de adherirse a cualquier sistema radicular [23] y resistir diferentes tipos de estrés ambiental [19]. La inoculación de cepas *Azospirillum* brasilense en la planta de chayote puede ser una alternativa que favorece los síntomas de deficiencias nutrimentales [9].

Investigaciones previas señalan que las bacterias del género *Rhizobium* sp., funciona como FBN y como PGPR en caña de azúcar [17] y maíz [40], incrementando su cre-

cimiento mediante la síntesis de aminoácidos, vitaminas, ácido indolacético y giberelinas, aun cuando no siempre se presente la fijación de nitrógeno.

La co-inoculación *Azospirillum*-*Rhizobium* en alfalfa [42], frijol [13] y *Bradyrhizobium japonicum*-*Azospirillum* brasilense en soja [7] favorece la expresión de genes nod de *Rhizobium*, mejorando la asociación con la planta en la formación de nódulos y la fijación de N₂ [7][8][13].

Por todo lo anterior, es prioritario la búsqueda de una opción viable que permita mantener los estándares de producción en el cultivo de chayote bajo un régimen de fertilización sostenible. El uso de microorganismos benéficos que han sido usados con éxito en otros cultivos puede favorecer a los procesos de fijación biológica de nitrógeno y promoción de crecimiento vegetal.

Este trabajo tiene como propósito identificar los efectos de la inoculación de cepas nativas de los géneros *Azospirillum* sp. y *Rhizobium* sp. en la planta de chayote, mismas que pueden favorecer el incremento en la fijación de nitrógeno y biomasa radicular y aérea, bajo condiciones de invernadero. Este proceso puede reducir parcial o totalmente la aplicación de fertilizantes químicos. Es una opción viable que beneficie a todos los productores de chayote a corto plazo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en el invernadero y laboratorio de Investigación Bioquímica y Fisiología Vegetal, ubicados dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana Campus Peñuela, en la ciudad de Córdoba, Veracruz durante el periodo comprendido entre el mes de octubre del 2015 a julio del 2016. Con un diseño experimental completamente al azar con seis tratamientos Rhiz (*Rhizobium* sp., 107 UFC mL⁻¹), Rhiz-SE (*Rhizobium* sp. 107 UFC mL⁻¹ con sustrato estéril), Azos (*Azospirillum* sp. 107 UFC mL⁻¹) Rhiz-Azos (*Rhizobium* sp. - *Azospirillum* sp.), Test-Rhiz (Testigo caldo YMA) Test-Azos (Testigo caldo NFB).

El proceso de investigación se realizó en dos fases. En la primera, se trabajó en el aislamiento de las cepas bacterianas nativas en cultivo axénico, para la obtención del biofertilizante. En la segunda, se inocularon las semillas, y se evaluó los efectos en las variables de crecimiento.

Las cepas bacterianas se obtuvieron de muestras de raíces de plantas leguminosas y gramíneas, que fueron recolectadas en los municipios de Córdoba y Coscomatepec de Bravo. Se aislaron en cultivo axénico para su identificación en base a las características morfológicas, bioquímicas y tinción de Gram comunes para cada género de estudio, que posteriormente se usaron para producir el inoculante que se aplicaría a las plantas de chayote.

Para la obtención del biofertilizante, las cepas nativas de los géneros *Rhizobium* sp. y *Azospirillum* sp., se sembraron en caldo, extracto de levadura Manitol (caldo YMA) [12][33][36] y caldo libre de Nitrógeno con azul de bromotimol (caldo NFB) [11] respectivamente. Se determinó su curva de crecimiento microbiano, para calcular los parámetros cinéticos, y así estandarizar los procesos de obtención de los bio-inoculantes, que se aplicaron a las semillas de chayote, previo a su siembra.

Las semillas de chayote verde liso, fueron recolectadas en el mes de enero de 2016, en un predio localizado a orilla de la carretera Fortín-Huatusco, a 19°01'12" LN y 97°01'47" LW. En el municipio de Coscomatepec de Bravo, Veracruz. Fueron seleccionadas de 35 días después de antesis, con dimensiones de 17 ± 1.0 cm de largo, 12 ± 0.5 cm de ancho ecuatorial y un peso promedio de 415 g.

Las semillas de chayote inoculadas se sembraron en bolsas de polietileno (30 cm ancho x 45 cm largo), que se llenaron con 7(K) de suelo. Estas bolsas se colocaron dentro del invernadero.

Se evaluó el desarrollo vegetativo durante los 60 días posteriores a la inoculación con el biofertilizante. Se aplicaron re-inoculaciones cada 15 días con alícuotas de la misma concentración inicial (10^7 UFC mL⁻¹) en un volumen de 10 mL por cada semilla, que se aplicó directamente al sustrato en la base de la planta y cerca de la raíz.

Cada 4 días se evaluaron y registraron los datos de las variables de crecimiento: longitud del tallo (cm) apical más larga, diámetro de tallo, número de hojas y número de entrenudos. La concentración de NH₄⁺ foliar se cuantificó a los 60 después de la siembra, mediante el método colorimétrico de Nessler con una longitud de onda de 630 nm (Reactivo de Nessler: 100 g de HgI₂ y 70 g de KI en 50 mL de agua destilada. Esta mezcla se añade posteriormente, a una solución fría de 160 g de NaOH en 500 mL de agua destilada. Ambas soluciones se mezclan y se lleva a 1 L).

Los datos de las variables de estudio de los seis tratamientos establecidos se analizaron estadísticamente usando el paquete Minitab® 17.1.0, (2013).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Las cepas en cultivo axénico señaladas como MA-04 y MR-03 del género *Azospirillum* sp. y *Rhizobium* sp., respectivamente. Se identificaron mediante morfología celular (Tabla 1), morfología de colonia (Tabla 2), pruebas bioquímicas y tinción de Gram propias de cada uno de los géneros de estudio. Se determinaron los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano para estandarizar la obtención del inóculo bacteriano.

Cuadro 1. Morfología celular de las cepas elegidas

Cepas	Tamaño (μm)	Tinción Gram	Morfología en fresco	Movilidad
MA-04	≈ 1.0	Gram (-) Bacilos cortos	Bacilos	Flagelados
MR-03	≈ 1.0	Gram (-) Bacilos	Bacilos	Flagelados

MA-04 (*Azospirillum* sp.) y MR-03 (*Rhizobium* sp.)

Cuadro 2. Morfología de colonia de las cepas elegidas. La morfología de colonia de la cepa MR-03 se evaluó en medio agar 79 y la cepa MA-04 en agar NFB-RC

CEPA	TDC	TC	CC	DO	EL	FC	B	S	IN
MR-03	2	3-5	B	B	E	P	E	Li	S
MA-04	≈ 1	4-6	R	B	P	R	E	Li	Li

TDC-Tamaño de las colonias en mm; TC-Tiempo de crecimiento en días; CC-Color de las colonias (R: Roja, B: Beige); DO-Detalles ópticos (B: brillante); EL-Elevación (P: plana; E: elevada); FC-Forma de las colonias (P: puntiforme, C: Circular, I: Irregular); B-Borde (E: Entero); S-Superficie (Li: Lisa); IN-Invasión (S: Superficial, In: Invasiva).

Se realizó el análisis de varianza por Anova de las medias obtenidas a los 60 días después de la siembra (dds) en cada una de las variables de crecimiento, con un índice de confianza (IC) del 95% y un nivel de significancia $\alpha=0.05$; con agrupación de medias utilizando el método de Games-Howell y una Prueba de Welch de las medias obtenidas por cada tratamiento (Tabla 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza de las medias en las variables de crecimiento a los 60 dds.

Tratamientos	Longitud del tallo (cm)	Número de entrenudos	Número de Hojas	Diámetro de tallo (mm)
1. Rhiz	188.2 a	20.9 a	37.2 b	8.5 b
2. Test-Rhiz	141.0 a	15.7 a	40.6 a b	8.7 a b
3. Rhiz-SE	191.3 a	21.3 a	51.3 a	8.5 a b
4. Azos	231.9 a	19.6 a	40.0 a b	10.3 a
5. Test-Azos	208.5 a	17.9 a	37.8 a b	10.1 a b
6. Rhiz-Azos	231.8 a	21.7 a	36.8 a b	9.5 a b
Valor p≥0.05	0.086 NS	0.140 NS	0.009 *	0.021 *
Valor F	2.60	2.11	5.54	4.29

Las medias obtenidas en la variable de la concentración de nitrógeno (NH₄⁺), se analizaron estadísticamente con Anova, mediante una prueba de Tukey al 5% (Tabla 4) con una desviación estándar agrupada de 0.12892 y un nivel de confianza individual de 99.43%. *Rhizobium* favorece la fijación de nitrógeno en la interacción con la planta de chayote con un incremento significativo del 43.7%.

Cuadro 4. Comparación de medias y desviación estándar en la concentración de NH_4^+ a los 60 dds.

Tratamientos	Medias (mg/g)	Desviación Estándar
1. Rhiz	2.331 a	± 0.151
2. Test-Rhiz	1.311 b	± 0.208
3. Rhiz-SE	1.6961 c	± 0.105
4. Azos	0.386 d	± 0.054
5. Test-Azos	0.595 d	± 0.123
6. Rhiz-Azos	0.667 d	± 0.068

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Es importante hacer notar que en la interacción de la planta de chayote con *Rhizobium* sp., la respuesta se presentó alrededor de los 22 dds, evidente en las variables de longitud de tallo (Figura 1) y número de entrenudos (Figura 2). Aun cuando no se obtiene una diferencia estadística significativa en estas dos variables evaluadas, se puede observar de forma clara, los resultados favorables de los tratamientos Rhiz y Rhiz-SE que superan a su testigo. Es recomendable realizar más pruebas que permitan evaluar ampliamente los efectos de este género bacteriano sobre el crecimiento en la planta de chayote.

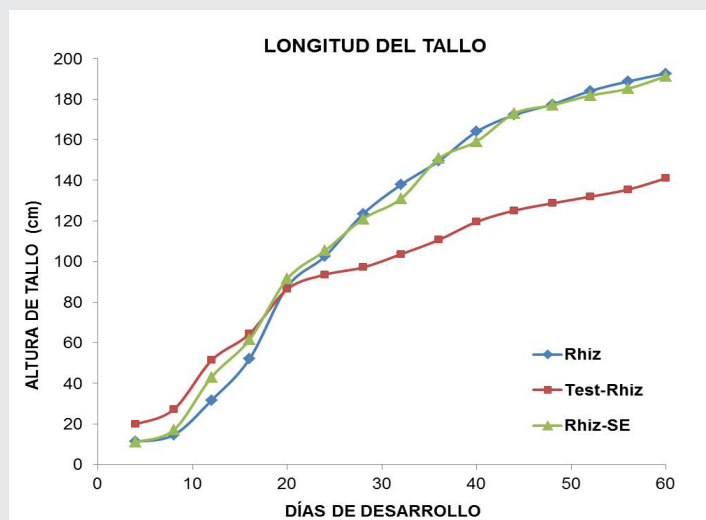


Figura 1. En la longitud del tallo la interacción *Rizobium*-planta de chayote durante los 60 días de desarrollo.

En la interacción planta de chayote con *Azospirillum* sp. la respuesta en las variables de longitud del tallo (Figura 3) y número de entrenudos fue alrededor de los 30 dds. A pesar de ello, este incremento no debe menospreciarse, ya que existen trabajos en maíz donde se ha reportado que *Azospirillum* brasilense puede fijar hasta un 72% de nitrógeno [30]. Por otro lado, el incremento en la concentración del inóculo de 108 y 109 UFC mL^{-1} pueden mejorar la respuesta, tal como se ha usado en los cultivos de tomate [27], chile [29], maíz [41], sorgo [14] y arroz [1][18].

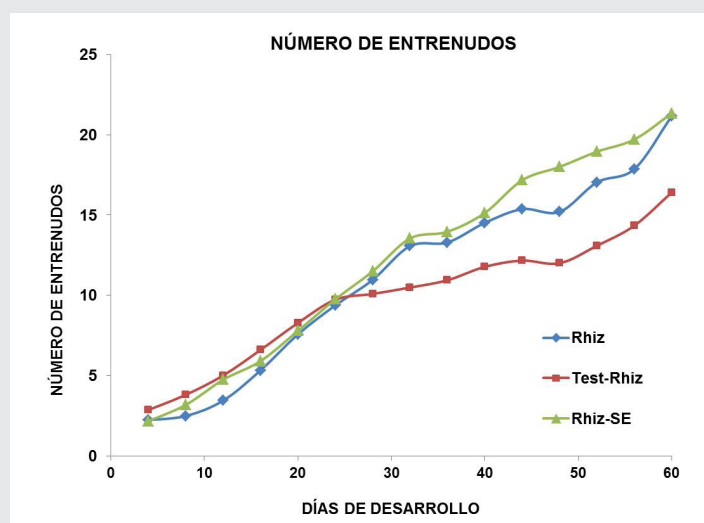


Figura 2. En el número de entrenudos la interacción *Rizobium*-planta de chayote durante los 60 dds.

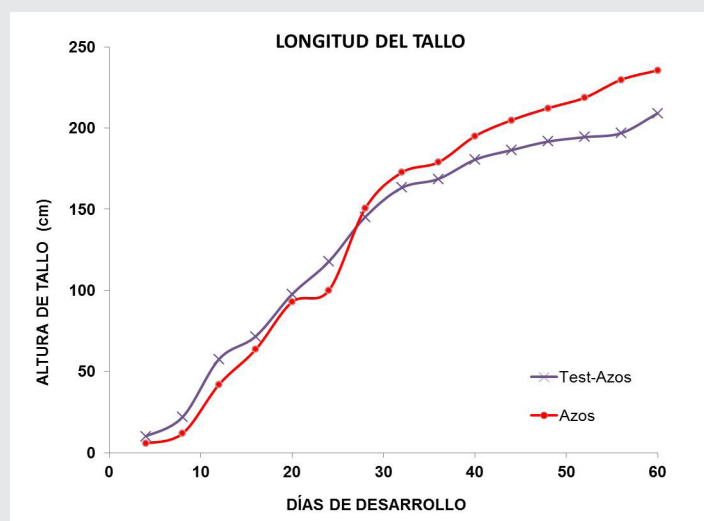


Figura 3. En la longitud del tallo la interacción *Azospirillum*-planta de chayote durante los 60 días de desarrollo.

La co-inoculación de bacterias de los géneros *Rhizobium* sp. y *Azospirillum* sp. en la planta de chayote pueda funcionar con mayor eficiencia que si fueran inoculados por separado, tal como se han usado en otros cultivos [7][8][13][42].

Hasta hace algunos años, se había limitado el uso de bacterias de los géneros *Rhizobium* sp. y *Azospirillum* sp. a cultivos de leguminosas y gramíneas respectivamente. Sin embargo, existen trabajos donde se ha evaluado la interacción de estos microorganismos en otros cultivos como chile habanero [11], tomate [27], crisantemo [25], chile jalapeño [29] y caña de azúcar con *Rhizobium etli* [17]; donde se reporta incrementos en la altura y diámetro del tallo, biomasa de planta y producción de ácido indolacético (AIA). Del mismo modo, estos resultados comprueban que su aplicación en la planta de chayote, pueden mejorar las condiciones de desarrollo.

CONCLUSIONES

La inoculación de bacterias de los géneros *Rhizobium* sp. y *Azospirillum* sp. en la planta de chayote incrementa su crecimiento, y responde favorablemente a los procesos de promoción de crecimiento vegetal (PGPR) y fijación de biológica de nitrógeno (FBN).

La inoculación de *Azospirillum* en la planta, incrementa los valores en las variables de crecimiento (longitud y diámetro del tallo, número de entrenudos y hojas) superando a su testigo en rangos que van desde un 2-22%. Por otra parte, *Rhizobium* incrementó en más de un 33% la longitud del tallo y el número de entrenudos; y un 56% la concentración de NH_4^+ .

Se recomienda ampliar los trabajos, en los que se pueda optimizar la dosis y concentración de los inóculos bacterianos, validar estos resultados en campo, evaluar el desarrollo del cultivo y su costo-rendimiento, sin dejar fuera la posibilidad de evaluar y comparar otros géneros microbianos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Acebo, Y., Rives, N., Heydrich, M. y Hernández, A. (2007). Efecto promotor del crecimiento vegetal de cepas de *Azospirillum* sp. en el cultivo de arroz. *Cultivos Tropicales*, 28(3), 29-32.
- [2] Aguirre, J. F. M., Irizar, M. B. G., Durán, A. P., Grágeda, O., Peña, M. D. L. Á., Loredó, C. O. y Gutiérrez, Á. B. (2009). Los Biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. INIFAP. Chiapas, México.
- [3] Ahemad, M. y Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective, *Journal of King Saud University-Science*. King Saud University, 26(1), 1-20.
- [4] Alarcón, A. y Ferrera, R. (2000). Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*, 26, 191-203.
- [5] Armenta, A. D. B., García, C., Camacho, R., Apodaca, M., Gerardo, L. y Nava, E. P. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.
- [6] Baca, B. E., Soto, L. U. y Pardo, M. P. R. (2000). Fijación biológica de nitrógeno. *Elementos*, 36, 43-49.
- [7] Benintende, M. S. M., Uhrich, W., Herrera, M. y Gange, F. (2010). Comparación entre coinoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense* e inoculación simple con *Bradyrhizobium japonicum* en la nodulación, crecimiento y acumulación de nitrógeno en el cultivo de soja. *Agriscientia*, XXVII (2), 71-77.
- [8] Burdman, S., Volpin, H., Kigel, J., Kapulnik, Y. y Okon, Y. (1996). Promotion of nod gene inducers and nodulation in common bean (*Phaseolus vulgaris*) roots inoculated with *Azospirillum brasilense* Cd. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(8), 3030-3033.
- [9] Cadena, J. I., Ruíz, L. P., Aguirre, J. F. M. y Sánchez, P. G. (2005). Estudios de los síntomas asociados a la pérdida de color en chayote. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(2), 309-316.
- [10] Camelo, M. R., Vera, S. P. V. y Bonilla, R. R. (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Revista CORPOICA. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 159-166.
- [11] Canto, M. J. C., Medina, S. P. y Morales, A. D. (2004). Efecto de la inoculación con *Azospirillum* sp. en plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacquin). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 4, 21-27.
- [12] Carranza, C. L. (2004). Aislamiento e identificación de cepas nativas de *Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli*, de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) cultivado en los departamentos de Jutiapa y Chimaltenango. *Universidad de San Carlos Guatemala*, p.132.
- [13] Dardanelli, M. S., Fernández de C. F. J., Espuny, M. R., Rodríguez C. M., Soria D. M. E., Gil S. A. M., Okon, Y. y Megías, M. (2008). Effect of *Azospirillum brasilense* coinoculated with *Rhizobium* on *Phaseolus vulgaris* flavonoids and Nod factor production under salt stress. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(11), 2713-2721.
- [14] Díaz, A., Gálvez, D. y Ortiz, F. E. (2015). Bioinoculación y fertilización química reducida asociada con el crecimiento de plantas y producción de sorgo. *Introducción a la Contaminación Ambiental*, 31(3), 245-252.
- [15] Di-Barbaro, G., González, V. y Batallan, S. (2014). *Trichoderma* sp. y *Azospirillum* sp., potenciales agentes de biocontrol de fitopatógenos. *Biología en Agronomía*, 4(1), 177-189.
- [16] Duxbury, J. M. (1994). The significance of agricultural sources of greenhouse gases. *Fertilizer research*, 38(2), 151-163.
- [17] Ferrel, N. y Soriano, B. (2014). Efecto de *Rhizobium etli* en el crecimiento de plántulas de caña de azúcar, *Saccharum officinarum*, en condiciones de laboratorio. *REBIOLEST*, 2(1).
- [18] García, F., Muñoz, H., Carreño, C. y Mendoza, G. (2010). Characterization of native strains of *Azospirillum* spp. and its effect on growth of *Oryza sativa* L. "rice" in Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 1, 107-116.
- [19] García De Salomone, I. E. (2011). Microorganismos del suelo y sustentabilidad de los agroecosistemas. *Revista Argentina de Microbiología*, 43(1), 1-3.

- [20] Grágeda, O., Díaz, A., Peña, J. y Vera, J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261-1274.
- [21] Helman, Y., Burdman, S., y Okon, Y. (2011). Plant growth promotion by rhizosphere bacteria through direct effects. In *beneficial microorganisms in multi-cellular life forms* Springer Berlin Heidelberg, 89-103.
- [22] Holguin, G., Bashan, Y., Puente, E., Carrillo, A., Bethlenfalvay, G., Vázquez, P., Toledo, G., Jiménez, M. B., Glick, B. R., González, L. D. B., Lebsky, V., Moreno, M. y Hernández, P. (2003). Promoción del crecimiento en plantas por bacterias de la rizósfera. *Agricultura Técnica en México*, 29(2), 201-211.
- [23] Jiménez, J. A. (2015) Efecto de Rizobacterias sobre los caracteres morfológicos de la planta de tomate var. Río Grande. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, p-89.
- [24] López, M. y Estrada, H. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Bioagrocencias*, 8(1), 3-11.
- [25] Mantilla, M. E. (2007) Evaluación de la acción de un bioinoculante sobre un cultivo de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* var. yoko-ono) en periodo de enraizamiento. Pontificia Universidad Javeriana, p-156.
- [26] Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista UDO Agrícola*, 4(1), 1-20.
- [27] Medina, N., Cuevas, F., Díaz, G. S. y Morejón, R. (2000). Efecto de la biofertilización de bacterias rizosféricas en el cultivo de tomate. *CITMA, Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*, 2(2), 11.
- [28] Moreno, L., Pérez, A., Ramírez, M. y Franco, M. (2014). Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la viabilidad de bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno utilizadas en la elaboración de inoculantes biológicos para arveja (*Pisum sativum*) y soja (*Glycine max*). *Revista Colombiana de Biotecnología*, (2013), 45-56.
- [29] Nuncio, G. L. (2013). Aislamiento y caracterización de *Azospirillum* sp. inoculado en cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. híbrido grande). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, p-113.
- [30] Paredes, M. C. (2013). Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Pontificia Universidad Católica Argentina, p-152.
- [31] Pedraza, R. O., Teixeira, K. R., Fernández S. A., De Salamone, I. G., Baca, B. E., Azcón, R., Baldani, V. L. y Bonilla, R. R. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos., *Revista Corpoica*, 11, 155-164.
- [32] Peña C. J. J., Grágeda C. O. A.; y Vera N. J. A.(2001). Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (15N). *Terra* 20, 51-56
- [33] Pii, Y., Penn, A., Terzano, R., Crecchio, C., Mimmo, T. y Cesco, S. (2015). Plant-microorganism-soil interactions influence the Fe availability in the rhizosphere of cucumber plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. Elsevier Masson SAS, 87, 45-52.
- [34] Rivera, M. (2012). Formulación de un prototipo de biofertilizante con base en *Rhizobium* sp. Universidad Nacional de Colombia.
- [35] Rives, N., Acebo, Y., Almaguer, M., García, J. C. y Hernández, A. (2009). Actividad antagónica frente a *Pyricularia grisea* (SACC) y fitoestimulación en el cultivo de arroz de cepas autóctonas de *Pseudomonas putida* (TREV), *Protección Vegetal*, 24(2), 106-116.
- [36] Rojas, J. y Moreno, N. (2008). Producción y formulación de prototipos de un biofertilizante a partir de bacterias nativas asociadas al cultivo de arroz (*Oryza sativa*). *Revista Colombiana de Biotecnología*, X(2), 50-62.
- [37] Rueda, E. O., Ortega, J., Barrón, J. M., López, J. E., Bernardo, M. A., Hernández, L. G., Alvarado, A. G. y Valdez, R. D. (2015). Los fertilizantes biológicos en la agricultura. *Invurnus*, 10(1), 10-17.
- [38] SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/> (17 de mayo de 2016).
- [39] Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). Libro Fisiología Vegetal Vol-2. 3a edición. USA: Publicaciones de la Universidad Jaume I, D.L.
- [40] Valenzuela, J. S., Julio, A., Crespo, L., Borbor, G. y Borbor, V. (2016). Efecto de la inoculación de bacterias nativas en dos híbridos de maíz (*Zea mays*) provincia de Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, III (2), 50-60.
- [41] Villa, L., Mayek, N., García O. J. G. y Hernández, J. L. (2014). Efecto de la inoculación en maíz con cepas nativas de *Azospirillum* sp. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18.
- [42] Volpin, H., Burdman, S., Castro S., Kapulnik, S. Y. y Okon, Y. (1996). Inoculation with *Azospirillum* increased exudation of rhizobial nod-Gene inducers by alfalfa roots. *MPMI*, 9, 388-394.



Mecánica *de* Materiales

Ingeniantes

Estudio de alteración del peso en el Mármol tipo Café Tabaco mediante una prueba de humedad-sequedad



Colaboración

Adolfo Manuel Morales Tassinari, Javier Guevara Rivera, Pedro Cruz Ortega, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez; Jorge Arturo Hernández Zárate, Instituto Tecnológico de Veracruz

RESUMEN: La presente investigación tiene como propósito realizar una prueba de humedad-sequedad para determinar el porcentaje de pérdida del peso en el mármol tipo Café Tabaco extraído de la cantera localizada en Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, y que pertenece a la empresa Mármoles Tepeaca S.A. de C.V. La prueba de humedad-sequedad consistió de secado a $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 16 horas, enfriamiento a temperatura ambiente durante 2 horas e inmersión en agua destilada durante 6 horas. La prueba se repitió durante 15 ciclos. Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que el mármol tipo Café Tabaco extraído de la cantera tiene un porcentaje de pérdida de peso del 0.03% con una desviación estándar del 0.01%. De esta forma, el mármol tipo Café Tabaco extraído de la cantera presenta una alteración muy baja; sin embargo, este material presenta agrietamientos y rupturas lo cual afecta sus cualidades estéticas.

PALABRAS CLAVE: Alteración, mármol, peso, prueba de humedad-sequedad.

ABSTRACT: This research has the purpose to do a moisture-dry test to determinate the percentage of weight lost in the marble type Coffee Tobacco extracted from the quarry located in Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, and belongs to Mármoles Tepeaca S.A. de C.V. factory. The moisture-dry test consisted of drying at $60 \pm 2^\circ\text{C}$ for 16 hours, cooling to room temperature for 2 hours and immersion in distilled water for 6 hours. The test was repeated for 15 cycles. The results obtained in this research show that the marble type coffee tobacco extracted from the quarry has a percentage of weight loss of 0.03%, with a standard deviation of 0.01%. In this way, the marble type coffee tobacco extracted from the quarry presents a very low alteration; however, this material presents cracks and ruptures which affect its aesthetic qualities.

KEYWORDS: Alteration, marble, weight, moisture-dry test.

INTRODUCCIÓN

Un estudio importante a realizar cuando se pretende utilizar una roca con fines ornamentales es la caracterización de su durabilidad, es decir, la resistencia que ofrece el material al deterioro producido por diferentes agentes de meteorización (agua, temperatura, cristalización de sales solubles, etc.) [1]. Por lo tanto, la durabilidad es la capacidad de resistir el deterioro y mantener el tamaño y forma de los cristales, la resistencia mecánica, la densidad, la porosidad, la velocidad de propagación de las ondas de ultrasonido, la permeabilidad, la rugosidad, el color y el aspecto estético, originales en el tiempo [2].

En el deterioro de una roca influyen los factores intrínsecos del material de construcción empleado (naturaleza, composición y propiedades) y los factores extrínsecos (medio ambiente y agentes externos) que determinarán el mecanismo de alteración afectando al material puesto en obra, ya sea físico, químico o biológico [3]. Por lo que, resulta importante conocer la respuesta del material al medio externo para prever su evolución [4]. Los ensayos de durabilidad pueden realizarse con distintos fines [5]:

- Valorar el comportamiento en probetas sanas, alteradas o sometidas a tratamientos de conservación.

- Conocer aspectos implicados en su alteración con el fin de buscar soluciones al deterioro.

- Establecer índices de calidad y predecir su esperanza de vida en un cierto ambiente.

Uno de estos ensayos de durabilidad es el ensayo de humedad-sequedad que tiene como objeto conocer el efecto de los procesos relacionados con la saturación de agua y el secado de los materiales pétreos procurando simular la alternancia de los días secos y lluviosos [6].

En la localidad de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México existe una cantera de mármol tipo Café Tabaco que es propiedad de la empresa Mármoles Tepeaca S.A. de C.V.; en la Figura 1, se muestra una fotografía de la cantera:



Figura 1. Fotografía de la cantera.

El Mármol es una roca carbonatada tiene una distintiva textura cristalina por recristalización, frecuentemente por calor y presión durante el metamorfismo, y compuesta principalmente por minerales de calcita y/o dolomita [7]. En la Figura 2, se muestra una fotografía del mármol tipo Café Tabaco procedente de la cantera de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.



Figura 2. Fotografía del mármol tipo Café Tabaco.

En una investigación realizada en esta cantera de mármol tipo Café Tabaco, se determinó que presenta morfologías con cristales de hábito irregular, muy planas, curvos en formas masivas y compactas con una dimensión de $20\mu\text{m}$ a $150\mu\text{m}$, así mismo morfologías con un tamaño de grano no regular, con superficies fracturadas y mayor rugosidad con una dimensión de $10\mu\text{m}$ constituidas principalmente por C, O, Ca y Mg; así mismo, se identificaron dos fases presentes en los estratos correspondiente a la calcita (CaCO_3) y dolomita [$\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$] con un sistema cristalino romboédrico; mientras que, por espectroscopia infrarroja se identificaron las tres bandas características del carbonato en 1419.10 cm^{-1} , 876.65 cm^{-1} y 727.44 cm^{-1} , así como las bandas características de la dolomita en 1040.14 cm^{-1} y 728 cm^{-1} [8].

El presente estudio tiene como finalidad realizar una prueba de humedad-sequedad en el mármol tipo Café Tabaco proveniente de la cantera ubicada en la localidad de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, para determinar el porcentaje de pérdida de peso y la alteración visual sufrida en este material.

MATERIAL Y MÉTODOS

La empresa Mármoles Tepeaca S.A. de C.V., que se encuentra ubicada en la Ciudad de Tepeaca, Puebla, México, facilitó sus instalaciones para fabricar las probetas cúbicas para la fase experimental.

Del grupo de probetas procesadas por la empresa, se seleccionaron 12 probetas con base al color característico café oscuro y que en cada una de sus caras tuviese una dimensión de $50\pm 0.5\text{ mm}$.

Después, las probetas fueron lijadas y pulidas para eliminar el exceso de rugosidad superficial proveniente del proceso de corte. El lijado se realizó en una máquina pulidora marca MTI KJ GROUP modelo UNIPOL 820 utilizando lijas con tamaño de grano 240, 400; mientras que para el pulido se utilizó una lija con tamaño de grano 600.

Finalmente, a las probetas se les asignó un número con el cual se identificarían durante la prueba de humedad-se-

quedad. En la Figura 3, se muestra una fotografía de las 12 probetas preparadas y numeradas:



Figura 3. Fotografías de las 12 probetas seleccionadas.

La prueba de humedad-sequedad se realizó en el área de secado perteneciente al Centro de Competitividad de la Industria del Mármol que se encuentra en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez, en la Ciudad de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

Para iniciar la prueba de humedad-sequedad, las probetas de mármol tipo Café Tabaco, se desecaron en un horno de secado marca Memmert modelo UP 500 a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas. En la Figura 4, se muestra una fotografía de las 12 probetas dentro del horno de secado:



Figura 4. Fotografía del secado inicial de las probetas.

Para garantizar que las 12 probetas estuviesen secas, se pesaron en una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange® en la hora 46, en la hora 47 y en la hora 48, obteniéndose pesos constantes; de tal manera que, en la hora 48 se obtuvo el peso seco en cada probeta. En la Figura 5, se muestra una fotografía del peso seco inicial de la probeta PA01:

Cabe mencionar que, cada una de las mediciones de los pesos secos iniciales de las probetas fue realizada a una temperatura ambiente promedio de 22°C .



Figura 5. Fotografía del peso seco inicial de PA01.

Después del pesado inicial, las probetas se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 2 horas; esto se realizó, con la finalidad de que las probetas no sufrieran un choque térmico superficial cuando fueran a sumergirse en agua destilada. En la Figura 6, se muestra una fotografía del enfriado de las probetas a temperatura ambiente:

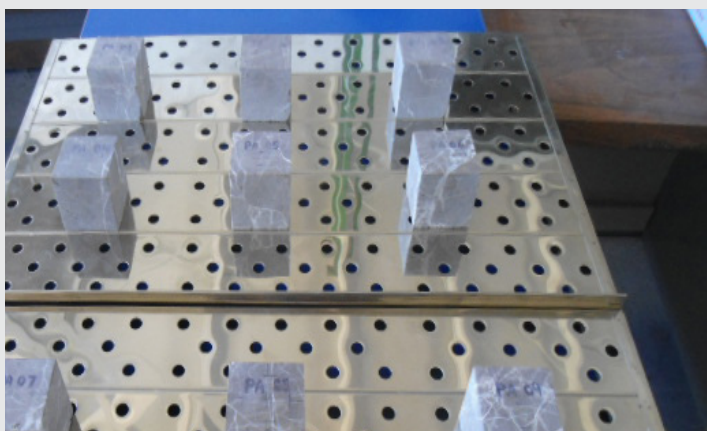


Figura 6. Fotografía del enfriamiento de las probetas.

Posterior a que las probetas se enfriaran, se sumergieron en agua destilada a temperatura ambiente durante 6 horas, para que las probetas absorbiesen el agua destilada. La Figura 7, muestra una fotografía de las probetas sumergidas en agua destilada: El ciclo de prueba de humedad-sequedad se inició secando las probetas húmedas en un horno de secado marca Memmert modelo UP 500 a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 16 horas. Después, las probetas se enfriaron a temperatura ambiente promedio de 22°C durante 2 horas. Finalmente, las probetas se sumergieron en agua destilada a temperatura ambiente durante 6 horas.

El ciclo de prueba de humedad-sequedad cuyo proceso es secado-enfriado-inmersión duró 24 horas. De esta forma, se repitieron 15 ciclos para concluir la prueba.

Para finalizar la prueba de humedad-sequedad, las probetas de mármol tipo Café Tabaco, se secaron en un horno de secado marca Memmert modelo UP 500 a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas.



Figura 7. Fotografía de las probetas en agua destilada.

En la Figura 8, se muestra las 12 probetas dentro del horno de secado:



Figura 8. Fotografía del secado final de las probetas.

Para garantizar que las 12 probetas estuviesen secas, se pesaron en una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange® en la hora 46, en la hora 47 y en la hora 48, obteniéndose pesos constantes; de tal manera que, en la hora 48 se obtuvo el peso seco en cada probeta. En la Figura 9, se muestra una fotografía del peso seco final de la probeta PA01:



Figura 9. Fotografía del peso seco final de PA01.

Cabe mencionar que, cada una de las mediciones de los pesos secos finales de las probetas fue realizada a temperatura ambiente promedio de 22°C.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A partir de los datos obtenidos del peso seco inicial (M_O) de las probetas y de los datos obtenidos del peso seco final (M_F) de las probetas, se obtiene el porcentaje de pérdida de peso (DWL) de cada probeta individual mediante la Ec. (1):

$$DWL = \frac{M_O - M_F}{M_O} \times 100\% \quad \text{Ec. (1)}$$

En la Tabla 1, se muestran los resultados del porcentaje de la pérdida de peso de cada probeta después de la prueba de humedad-sequedad obtenidos a partir de la Ec. (1):

Tabla 1. Porcentaje de pérdida de peso de las probetas. Número

Número de Probeta	Peso Seco Inicial M_O (gramos)	Peso Seco Final M_F (gramos)	Porcentaje de Pérdida de Peso DWL (%)
PA01	343.39	343.27	0.03
PA02	355.04	354.88	0.05
PA03	358.39	358.25	0.04
PA04	345.10	344.97	0.04
PA05	363.38	363.25	0.04
PA06	338.29	338.19	0.03
PA07	350.53	350.41	0.03
PA08	349.34	349.23	0.03
PA09	346.17	346.06	0.03
PA10	348.15	348.02	0.04
PA11	348.31	348.22	0.03
PA12	350.17	350.07	0.03
Promedio			0.03

A partir de los resultados obtenidos de la Tabla 1, se muestra que el porcentaje de pérdida de peso del mármol tipo Café Tabaco es de 0.03% con una desviación estándar de 0.01%. En la Figura 10, se muestra el diagrama

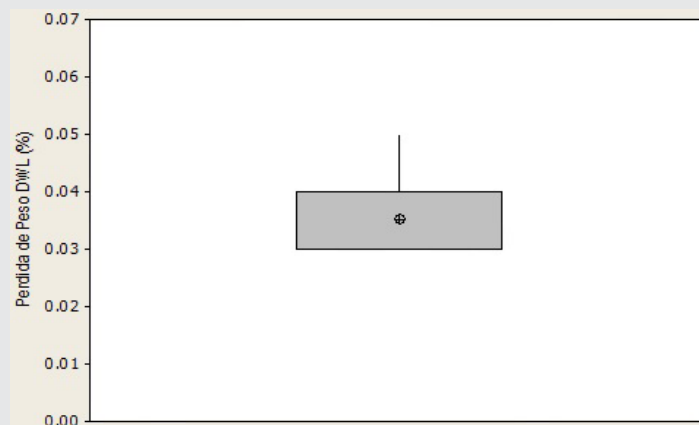


Figura 10. Diagrama de caja-bigote de pérdida de peso.

de caja-bigote del porcentaje de pérdida de peso obtenida de los datos de la Tabla 1.

En la Tabla 2, la Tabla 3 y la Tabla 4 se muestran los valores obtenidos de los pesos de cada probeta durante el ciclo de prueba de humedad-sequedad.

Tabla 2. Peso seco de probetas del ciclo 1 al ciclo 5.

Número de Probeta	Pesos de las probetas por ciclo (gramos)				
	1	2	3	4	5
PA01	343.38	343.37	343.37	343.35	343.34
PA02	355.04	355.01	355.01	355.01	354.99
PA03	358.43	358.31	358.37	358.37	358.36
PA04	345.11	345.10	345.10	345.09	345.08
PA05	363.38	363.36	363.36	363.35	363.36
PA06	338.31	338.29	338.29	338.27	338.27
PA07	350.52	350.51	350.51	350.48	350.48
PA08	349.35	349.33	349.33	349.32	349.31
PA09	346.24	346.21	346.21	346.20	346.20
PA10	348.16	348.14	348.14	348.13	348.12
PA11	348.35	348.32	348.32	348.31	348.31
PA12	350.19	350.16	350.16	350.15	350.15
Promedio	349.71	349.68	349.68	349.67	349.66

Tabla 3. Peso seco de probetas del ciclo 6 al ciclo 10.

Número de Probeta	Pesos de las probetas por ciclo (gramos)				
	6	7	8	9	10
PA01	343.34	343.34	343.33	343.33	343.33
PA02	354.99	354.99	354.98	354.98	354.97
PA03	358.36	358.36	358.36	358.36	358.35
PA04	345.08	345.08	345.07	345.07	345.07
PA05	363.35	363.35	363.34	363.33	363.33
PA06	338.27	338.27	338.27	338.26	338.26
PA07	350.48	350.48	350.47	350.47	350.47
PA08	349.31	349.31	349.30	349.30	349.30
PA09	346.20	346.20	346.19	346.19	346.19
PA10	348.11	348.11	348.11	348.11	348.11
PA11	348.31	348.31	348.31	348.30	348.30
PA12	350.15	350.15	350.15	350.14	350.14
Promedio	349.66	349.66	349.66	349.65	349.65

Tabla 4. Peso seco de probetas del ciclo 11 al ciclo 15.

Número de Probeta	Pesos de las probetas por ciclo (gramos)				
	11	12	13	14	15
PA01	343.33	343.33	343.33	343.31	343.31
PA02	354.97	354.95	354.94	354.94	354.94
PA03	358.34	358.34	358.34	358.34	358.34
PA04	345.07	345.06	345.05	345.05	345.05
PA05	363.33	363.33	363.33	363.32	363.32
PA06	338.25	338.25	338.25	338.25	338.25
PA07	350.45	350.45	350.45	350.45	350.45
PA08	349.29	349.29	349.29	349.28	349.28
PA09	346.19	346.18	346.18	346.18	346.17
PA10	348.09	348.09	348.09	348.09	348.08
PA11	348.30	348.29	348.29	348.29	348.29
PA12	350.14	350.14	350.14	350.14	350.13
Promedio	349.65	349.64	349.64	349.64	349.63

Para obtener la gráfica del comportamiento cinético del porcentaje de pérdida de peso, se utilizan los promedios obtenidos de la Tabla 2, la Tabla 3 y la Tabla 4, para obtener la Tabla 5:

Tabla 5. Concentrado del porcentaje promedio de pérdida de peso.

Tiempo (días)	Peso Promedio de las Probetas (gramos)	Porcentaje Promedio de Pérdida de Peso (%)
0 (Inicial)	349.69	0.00
1	349.71	0.00
2	349.68	0.00
3	349.68	0.00
4	349.67	-0.01
5	349.66	-0.01
6	349.66	-0.01
7	349.66	-0.01
8	349.66	-0.01
9	349.65	-0.01
10	349.65	-0.01
11	349.65	-0.01
12	349.64	-0.01
13	349.64	-0.01
14	349.64	-0.01
15	349.63	-0.02
17 (Final)	349.57	-0.03

A partir de los valores de los porcentajes promedio de las pérdidas de peso dados en la Tabla 5, en la Figura 11 se muestra la gráfica del comportamiento cinético del porcentaje de la pérdida de peso:

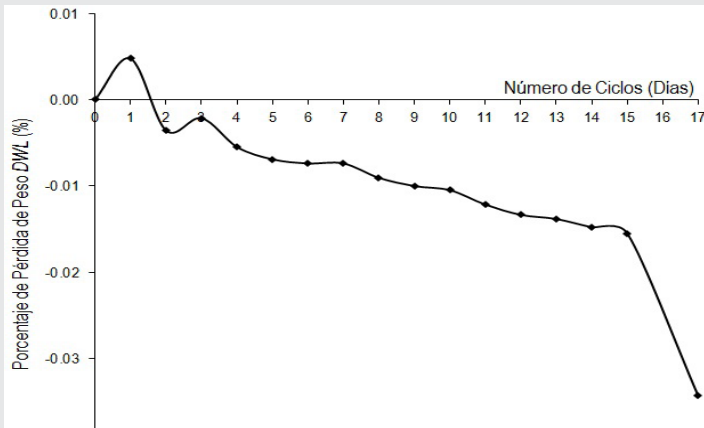


Figura 11. Gráfica del comportamiento cinético.

Además de la pérdida de peso, las principales alteraciones visuales sufridas en el mármol tipo Café Tabaco después de la prueba de humedad-sequedad fueron las grietas superficiales y las rupturas.

En la Figura 12 se muestra una fotografía de una probeta con grietas en la superficie:



Figura 12. Fotografía de una probeta con grietas.

En la Figura 13 se muestra una fotografía de una probeta con rupturas en las orillas:

De esta forma, las conclusiones de la presente investigación respecto del mármol tipo Café Tabaco extraído de la cantera ubicada en Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, son las siguientes:

- El porcentaje de pérdida de peso es de 0.03% con una desviación estándar de 0.01%.

- Como se muestra en la Figura 11, a partir del segundo día existe una pérdida de peso mediante el mecanismo de disgregación.

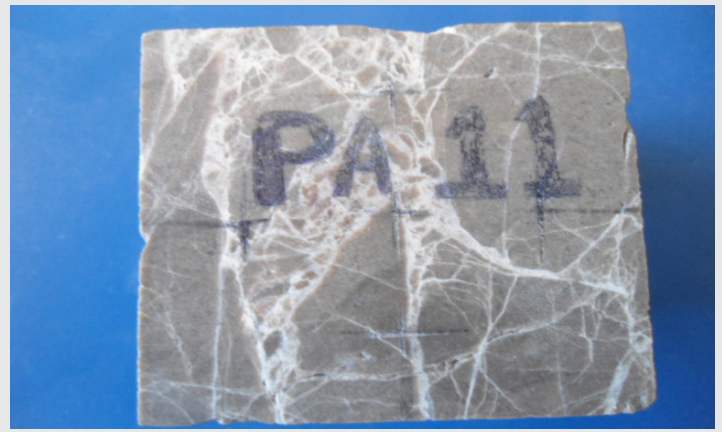


Figura 13. Fotografía de una probeta con ruptura.

- Se presentan agrietamientos en la cara superficial y rupturas en las orillas; por lo que, afecta sus cualidades estéticas.

- El porcentaje de pérdida de peso no es muy elevado, por lo que este material en condiciones normales de días lluviosos es adecuado para su uso; sin embargo, resulta importante que se pueda proteger ante este medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ruiz, V.; Calleja, L.; Suárez, L.; Rodríguez, A. y Celorio, C. (2005). Durabilidad en Ambientes Húmedos de la Arenisca de la Marina (Formación Lastres, Jurásico Superior de Asturias). Universidad de Oviedo, Trabajos de Geología, 25, 105-115.
- [2] Freire, David. (2016). El Granito como Piedra de Construcción en Madrid: Durabilidad y Puesta en Valor. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas, Departamento de Petrología y Geoquímica. Madrid, España.
- [3] De Rosario, I. y Feijoo, J. (2016). Alteración de las Rocas y Otros Materiales de Construcción en los Monumentos. Técnicas de Conservación. Tecnoloxia e Ciencias Experimentais. Universidad de Vigo. Vigo, España.
- [4] Iñigo, A.; Vicente, M. y Rives, V. (2000). Reproducción en Cámara Climática de las Formas de Alteración Más Frecuentes Detectadas en Materiales Graníticos, en Clima de Tendencia Continental. Materiales de Construcción, 50(257), 57-60.
- [5] Alonso, F. (2013). Durabilidad de Materiales Rocosos. Universidad de Oviedo. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). 1-20.
- [6] Benavente, D.; Bernabéu, A. y Cañaveras, J. (2004). Estudio de Propiedades Físicas de las Rocas. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 12(1), 62-68. ISSN: 1132-9157.
- [7] ASTM International. (2016), ASTM C119-16 Standard Terminology Relating to Dimension Stone. ASTM International. USA.
- [8] Tlatempa, M.; Estrada, R.; Rubio, E. y Rodríguez-Lugo, V. (2011). Caracterización Microestructural de Mármol de la Cantera Café Tabaco Procedente de Tepexi de Rodríguez, Puebla. Acta Microscópica, (20) 1, 60-65.



Mecánica *de* Materiales

Ingeniantes

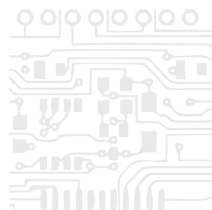
Estudio sobre técnicas de ensamblajes electrónicos libres de soldadura

RESUMEN: El presente artículo se refiere a un análisis de los diferentes tipos de tecnologías para ensamblajes de productos electrónicos libres de soldadura y determinar su factibilidad tecnológica, la motivación de este estudio se debe principalmente por un incremento de los defectivos provocados con el uso de soldadura libre de plomo debido a las altas temperaturas y las restricciones medio ambientales. Este estudio ha identificado los diferentes tipos de interconexión electrónica libre de soldadura y revisa si efectivamente los procesos libres de soldadura lograrían reducir el número de defectos también se analizan los procesos de ingeniería reversible propuestos por el proceso Occam.

Se limita a presentar las tendencias del mercado analizando las ventajas y desventajas de cada tipo de tecnología donde se pudo determinar que si bien la soldadura libre de plomo ha causado muchos retos para la industria manufacturera también hasta el momento no se puede reemplazar del todo por una sola de las tecnologías por si misma aquí presentadas, sin embargo se ve una tendencia a que estas tecnologías complementaran los procesos, pues no tienen actualmente la madurez requerida para sustituir un proceso de casi una centuria de madurez.

PALABRAS CLAVE:

Conexiones alambre enrollado (Wire Wrap), Conexión presión ajustada (Press Fit), Adhesivos conductivos, Proceso Occam, Elastómero conductivo, Pogo Pines, Polímeros conductivos, Unión por hilos (Wire bonding).



Colaboración

José Ramón Villarreal Altamirano, CIATEQ Guadalajara

ABSTRACT: The present article refers to an analysis of different types of technologies for electronic assemblies solderless free to determine their technological feasibility, the motivation of this study is mainly due to an increase of the defectives provoked with the usage of solder lead free due to high temperatures and environmental restrictions. This document has identified different solder less interconnection and checks whether effectively solder less processes would reduce the number of defects and also analyze the reversible engineering processes proposed by the Occam process.

It pretends to see their advantages and disadvantages of each type of technology where it could be determined that although lead-free solder has caused many challenges for the manufacturing industry, it cannot be completely replaced until now for a single technologies presented here, however, there is a tendency for these technologies to complement current processes, as they do not currently have the maturity required to replace a process of almost a century of maturity.

KEYWORDS: Wire Wrap, Press Fit, Conductive adhesive, Occam Process, Elastomer, Conductive Polymer, Wire bonding, Surface-mount technology.

INTRODUCCIÓN

Estadísticamente hablando utilizando procesos actuales de soldadura libre de plomo impactan significativamente en los diversos controles de calidad se estima que aproximadamente el 90% de los defectivos en procesos de manufactura electrónica se producen por problemas de soldabilidad debido a las altas temperaturas que usan para la aleación mecánica.

Hipotéticamente se plantea que utilizando procesos de manufactura electrónica libres de soldadura, los defectos se pueden reducir con respecto

al proceso tradicional por el hecho de eliminar las altas temperaturas, el objetivo de este estudio es determinar la factibilidad tecnológica de aplicar interconexiones eléctricas sin soldadura, enfocados al costo beneficio del uso de conexiones electrónicas libres de soldadura. Así como elaborar un prototipo de circuito electrónico empleando algunas técnicas libres de soldadura para validar resultados del análisis.

MARCO TEÓRICO

Después de las restricciones de sustancias químicas emitidas por la comunidad europea en 2006 referente a los productos electrónicos la soldadura libre de plomo surgió como una necesidad incrementando las temperaturas necesarias, dictando significativamente una mayor temperatura en el punto de reflujo con respecto a las soldaduras libres de plomo. Así pues, este proceso con temperaturas significativamente más elevadas es la principal preocupación que encara la manufactura de ensamblajes electrónicos libres de plomo.

Retrospectivas con tecnología libre de soldadura:

Muchas tecnologías que se perciben como nuevas, al investigarse muestran que tienen más historia que lo que se aprecia a primera vista. Este es el caso de las tecnologías libres de soldadura. De hecho las soluciones de interconexión libres de soldadura han sido empleadas eléctrica y electrónicamente por más de un siglo. A continuación se citan diversas tecnologías libres de soldadura donde se analiza el uso en la actualidad, así como sus ventajas y desventajas.

Conexiones alambre enrollado (Wire Wrap).

La envoltura o enrollado de alambre es un método de conexión que consiste en enrollar un alambre desnudo alrededor de una terminal esquinada provocando una tensión superficial e interconectando el alambre a dicha terminal tal como se muestra en la Figura 1.

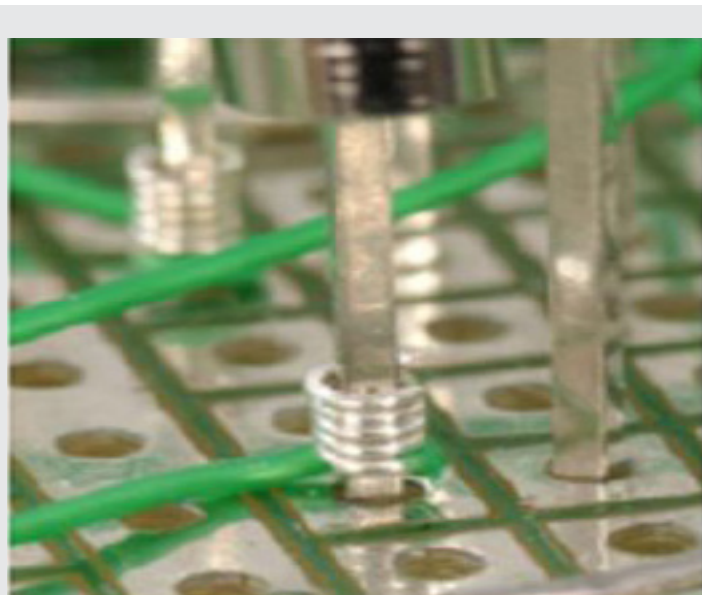


Figura 1. Wire Wrap

Este método como ya se dijo provoca una tremenda tensión tan alta que puede ir más allá de 100 000 psi. al centro de la terminal una vez que la envoltura se completa el alambre es liberado y la presión cae en aproximadamente 30,000 psi a esta presión el alambre y la terminal se estabilizan logrando una excelente conexión causando un oxidación metal con metal entre el alambre y la terminal.

En los orígenes de este tiempo de conexión se elaboraba manualmente, lento y con mucha precaución. En la actualidad este proceso se hace con equipo especial que hace este proceso más rápido y con mejor calidad, lo mismo pasa cuando se tiene la necesidad de remover dicha conexión, las herramientas semi automatizadas, sin embargo, requiere de alrededor de 15 segundos para completar una conexión a una tablilla. Si tomamos en consideración un circuito electrónico de mediana complejidad tendríamos alrededor de 1000 conexiones y requeriríamos de 250 minutos para interconectar dicho circuito, estos tiempos hacen incosteable un producto de consumo masivo [1].

Otro problema tal vez el más importante como se menciona es la densidad. No es posible hacer conexiones de alambre mucho más cerca que el clásico espaciado de 0.1 pulgadas, lo que significa que no se puede tener tantas conexiones en un circuito integrado. Las aplicaciones que requieren alta fiabilidad o precisión con dispositivos que manejan altas velocidades de procesamiento suelen exigir pequeños tamaños.

Conexión Presión Ajustada (Press Fit).

Esta tecnología data de los años 1970s desarrollada como un sistema híbrido que sustituía la tecnología de PTH (Pin thru hole) con conectores de presión ajustada sin necesidad de soldadura donde el pin es insertado al PCB deformando la parte flexible del pin provocando la interconexión eléctrica, esta innovación libre de soldadura ha estado ganando aceptabilidad por la industria al pasar de los años [2].

Comparando la tecnología de Press fit contra su contra parte de soldadura tenemos las siguientes ventajas [2]:

- No existe estrés térmico en comparación con un proceso de soldadura tradicional.
- No existen uniones de soldadura fría, ni cortos entre terminales ya que no existe soldadura.
- El montaje mecánico de estos conectores representa la eliminación de tornillos u otros herramientas para el aporte mecánico.
- Mejor contacto y comportamiento de impedancia por la interconexión directa de metal a metal, así pues, esta conexión es ideal para productos electrónicos de alta velocidad.
- Rápido de ensamblar y por con siguiente una reducción en el proceso de ensamblaje.
- Completamente reparable ya que puede ser removido de manera rápida y eficaz. Amigable con el medio ambiente ya que no implica mayor esfuerzo extra al ensamblar y desensamblar para poder reciclar de manera más eficiente.

Lo pines de inserción ajustada son excelentes alternativas para la sustitución de pin thru hole (PTH), son excelente opción en conectores automotrices o aeroespaciales donde la interconexión debe estar garantizada, pero también sufre del mismo problema que wire wrap, el espacio para la colocación entre pin y pin son limitados, las limitaciones del press fit son espaciamentos de 0.1 pulgadas o 2.54 mm debido al estrés mecánico soportado de la PCB en cada inserción y el riesgo latente de dañar pistas internas.

Estos espaciamientos necesarios y la tendencia a miniaturizar los circuitos es el principal obstáculo, sería como volver a las tecnologías PTH de los años 60 como se muestra en la Figura 2.

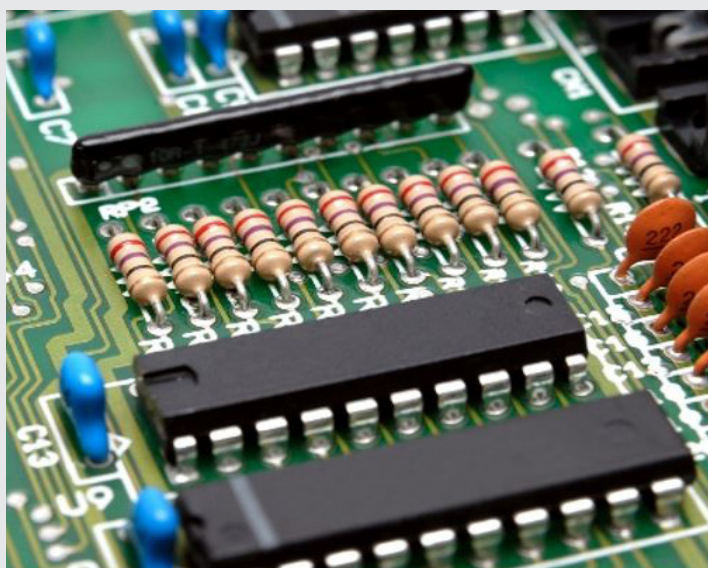


Figura 2. Circuito Pin thru hole, PTH

Adhesivos Conductivos.

Los adhesivos conductivos como alternativa de interconexión han tomado una gran relevancia en la industria por dar grandes frutos en circuitos híbridos y más recientemente se han presentado como tendencia para la interconexión dentro de los empaquetados electrónicos específicamente en el alambrado interno, en circuitos flexibles.

Eléctricamente los adhesivos conductores consisten en una mezcla de matriz adhesiva y partículas conductoras. La matriz adhesiva típica por sí mismo es no conductor (tiene muy alta resistividad) aunque hay algunos nuevos adhesivos intrínsecamente conductores en desarrollo [2].

Los materiales de relleno utilizados en los adhesivos conductores son partículas metálicas que pueden ser de oro (Au), plata (Ag), níquel (Ni), indio (In), cobre (Cu), cromo (Cr), sin plomo de aleación. Las partículas de relleno están disponibles como esferas, copos, fibras y gránulos.

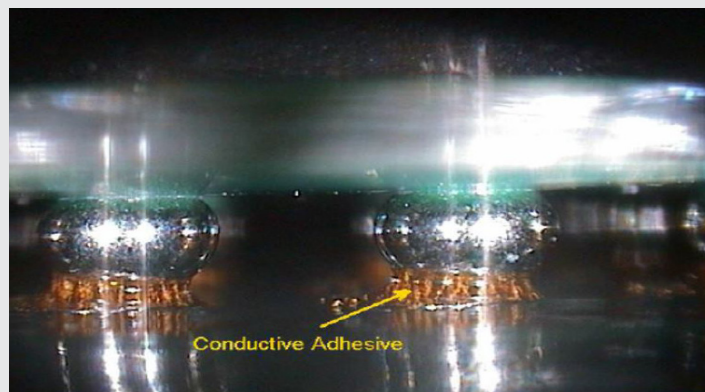


Figura 3. Adhesivo Conductivo.

El proceso de montaje utilizando adhesivos es similar a la del proceso de pasta de soldadura. El adhesivo se aplica sobre la PCB utilizando un proceso de impresión con plantilla o de un proceso de dispensación de la aguja, seguida de la colocación de los componentes para su posterior cura. Una desventaja es que los adhesivos no ofrecen la capacidad de auto-alineación como las soldaduras, la colocación de componentes debe ser muy precisa.

Proceso Occam.

Mientras que las muchas tecnologías libres de soldadura ofrecen variadas ventajas en términos de eficacia y utilidad, existen otras soluciones que están en desarrollo donde el proceso de soldadura se olvida por diseño y no por necesidad. Uno de los métodos esencialmente invierte el proceso de fabricación electrónico. Se llama el Proceso de Occam. El ensamble del producto final comprende los componentes encapsulados y otros elementos del circuito, todos interconectados entre sí por circuitos de enchapado de cobre aplicados después de que los componentes están encapsulados en sus posiciones finales, [3] tal como se ilustra en la Figura 4:

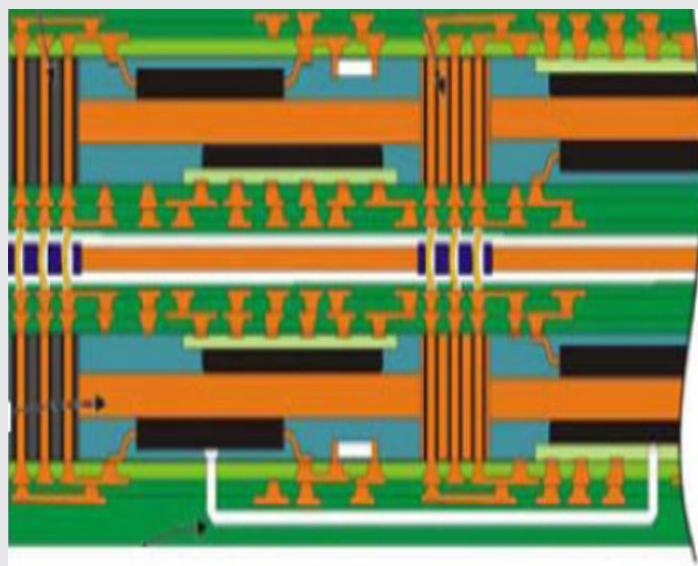


Figura 4. Ensamble Occam.

El proceso de montaje sin soldadura Occam se compone de los siguientes pasos siguiendo la Figura 5 de la parte superior al inferior: [4]

- A) **Colocación:** componentes totalmente probados se colocan sobre un soporte (portador permanente de esta serie).
- B) **Encapsulado:** el conjunto se encapsula.
- C) **Acceso:** se accede a las terminaciones por vías y circuitos hechos por algún método adecuado, tal como láser.
- D) **Platinado:** las vías del ensamble y demás circuitería se platinan con procesos tradicionales como electrolisis.
- E) **Dieléctrico:** se aplica material dieléctrico y las vías adicionales para su posterior interconexión con otro layer según sea necesario.
- F) **Segunda Fase:** los circuitos adicionales se construyen y platinan para satisfacer las necesidades de diseño.
- G) **Aislamiento:** los conductores de segunda fase se aíslan con material dieléctrico o alguna recubierta con un aislamiento de protección y listo para su uso.

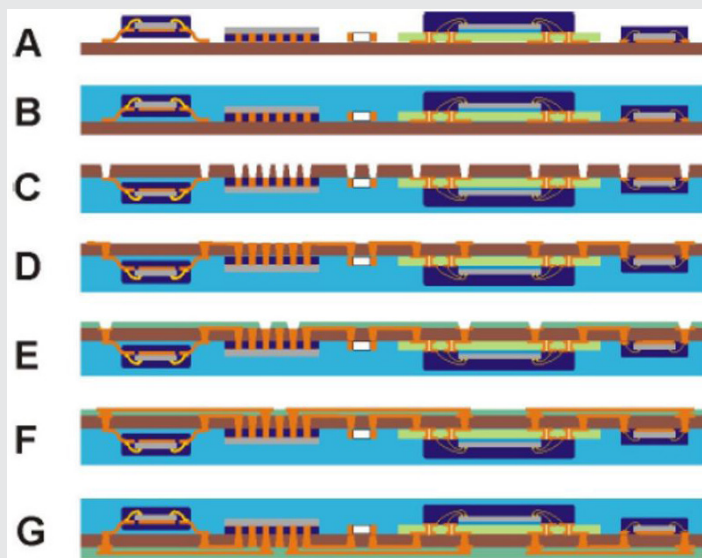


Figura 5. Proceso Occam.

ner acceso a las partes electrónicas como se aprecia en la Figura 3, sería imposible su reparación o al menos nuevas técnicas de reparación deberían implementarse.

Se ve claramente la necesidad de más pruebas y validaciones de parte de los autores. Artículos de concepto no son suficientes para poder cambiar toda una industria, además de los tiempos de manufactura, serían mayores, por el curado de epóxico; seguro nuevos problemas y retos, podrían derivarse por la interconexión ahora usando electrolisis para el platinado, sin embargo no resuelve el problema de contaminación de los productos electrónicos pues inclusive rompe con el principio fácil en cuanto a la separación de materiales para un reciclaje óptimo al tener los componente encapsulados.

Elastómero Conductivo.

Los elastómeros son una clase de materiales poliméricos que se pueden estirar repetidamente a más de dos veces la longitud original con poca o ninguna deformación permanente. En la Figura 6 apreciamos en detalle un elastómero conductivo utilizado en zócalos [5].



Figura 6. Elastómero conductivo.

Pero vamos por partes, de la teoría a la práctica para analizar qué tan factible es. Al principio del proceso se discute la necesidad de encapsular los componentes, generalmente este encapsulado sería con epóxidos como conformal coating, el material más utilizado en la industria, el problema son los tiempos de curado con una cámara de temperatura a 60°C y con una humedad relativa del 10% se necesitarían alrededor de 10 minutos para curado completo para después continuar con el proceso. Una de las justificaciones de Occam es la reducción de defectivos por la ausencia de calor en el proceso, pero de igual manera, se podrían tener defectivo por pobre platinado de los componentes al no te-

Un Elastómero conductor se produce generalmente por la incorporación de partículas conductoras en una matriz de caucho. Los elastómeros son claramente tecnologías enfocadas para uso de pruebas de circuitos electrónicos, tienen muchas ventajas sobre su contraparte de soldadura pero tampoco es una tecnología para sustituir la soldadura, de hecho son tecnologías que nacieron para probar circuitos eléctricos. Los elastómeros se usan en gran medida como parte de zócalos de prueba, son fáciles de remover y pueden incluso tener huellas híbridas para posteriormente poder soldar componentes electrónicos.

Polímeros Conductivos.

El primer polímero conductor eléctricamente apareció en 1977 era un poli acetileno dopado, provocando el interés en el estudio de diversos materiales polímeros conductores. Estos polímeros son una clase diferente ya que son una mezcla física de polímeros con material conductor tal como metal o polvo de carbono. Inicialmente estos polímeros intrínsecamente conductores eran difíciles de procesar y no eran estables al medio ambiente. Sin embargo, las generaciones posteriores de estos polímeros donde fueron procesados con polvos, películas y fibras con una de la variedad de disolventes, provocaron mejoras en cuanto a la estabilidad. En la Figura 7 se muestran los diferentes tipos de dopaje más utilizado en la industria de los polímeros conductivos como son hojuelas de metal o esferas; las hojuelas por un lado tiene mejor "comportamiento resistivo" es decir conducen mejor que las esferas, "sin embargo las esferas" son muy utilizadas en polímeros flexibles [6].

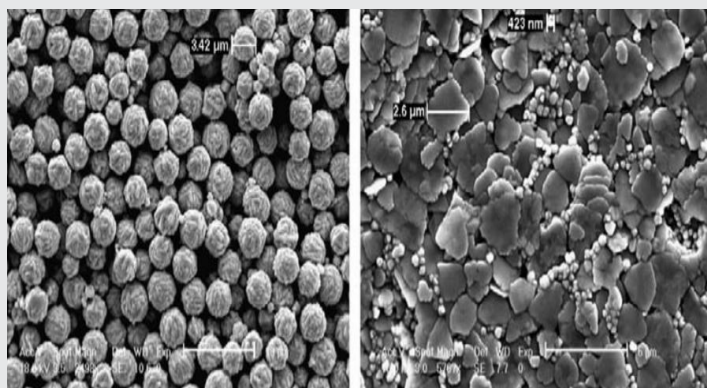


Figura 7. Tipos de dopaje en polímeros conductivos

El consumo de plásticos conductivos por la industria crece más rápido que el total de plásticos, alrededor de tres veces más rápido. Realmente, plásticos conductores están emergiendo prometedoramente debido a que los avances tecnológicos están abriendo las puertas a este tipo de materiales sobre todo para circuitos transparentes como sensores de tacto en pantallas donde el polímero es enriquecido para facilitar la detección del cuerpo humano facilitando con ello la llamada tecnología de contacto o touch pad en inglés.

Se podría decir que es el futuro para múltiples aplicaciones, de hecho muchos expertos claman materiales como el grafeno como el material del futuro, y si debido a la miniatura de muchos tipos de circuitos y la cada vez más compleja alta densidad de circuitos, materiales como polímeros enriquecidos podrían sustituir etapas enteras del circuito, la desventaja es para aplicaciones de alta potencia o alta disipación térmica no sería solución viable.

Unión por Hilos (Wire bonding).

Otra tecnología utilizada en la industria electrónica y sobre todo en los empaquetados electrónicos es el llamado wire bonding (Figura 8), que implica la unión del sustrato de silicio con las terminales mediante un pequeño alambre. Laboratorios Bell desarrolló originalmente esta tecnología a finales de 1950 para un conjunto de transistores de silicio. La unión del emisor y la base medianamente alambres de oro (Au) de 1 o 2 milésimas de pulgada aplicando calor (350°C a 400°C) y presión (49-80 gramos fuerza). Esta Termo era manual donde el operador requería alinear por separado el cable y la herramienta para la unión, primeramente unía los pads de sustrato o núcleo de silicio y a continuación las terminales [7].

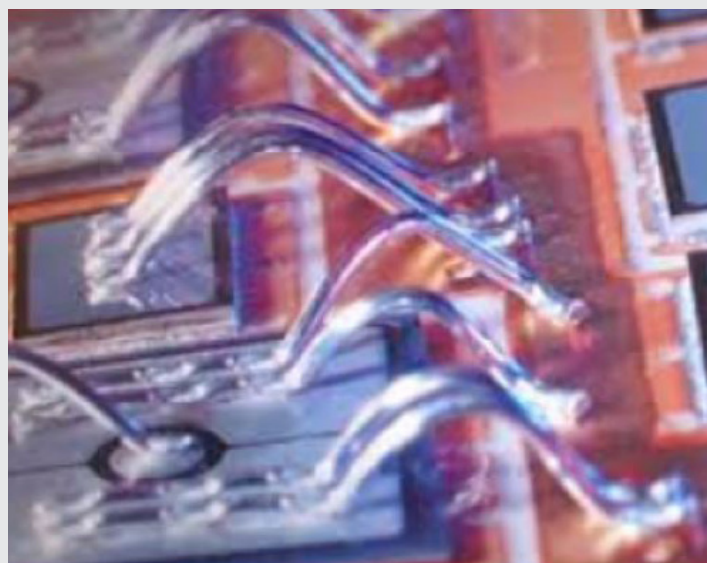


Figura 8. Wire bonding.

Operadores altamente calificados y especialmente entrenados eran esenciales para los procesos de unión del núcleo de silicio con el alambre. Sin embargo, el negocio floreciente del transistor también atrajo a fabricantes de equipo automatizado. Tal vez lo más destacable de estos primeros avances fue la inclusión de bolas de oro en el alambre y la introducción de herramientas de unión capilar. La bola, era aproximadamente 3 veces el diámetro del alambre, se unía a la terminal del silicio usando la capilaridad. Esto proporcionó un área de unión más grande en la plataforma de troquel y una unión más robusta; así pues, el dispositivo de unión termo sónico combinaba el termo compresión y energía ultrasónica para conseguir la unión. Así pues los ultrasonidos permitían tanto que la temperatura y la presión pudieran reducirse significativamente. Con esto la unión de Oro (Au) y la unión de alambre podrían entonces lograrse de forma fiable a temperaturas en el rango de los 100°C en lugar de las altas temperaturas con el uso exclusivo del termo compresión [7].

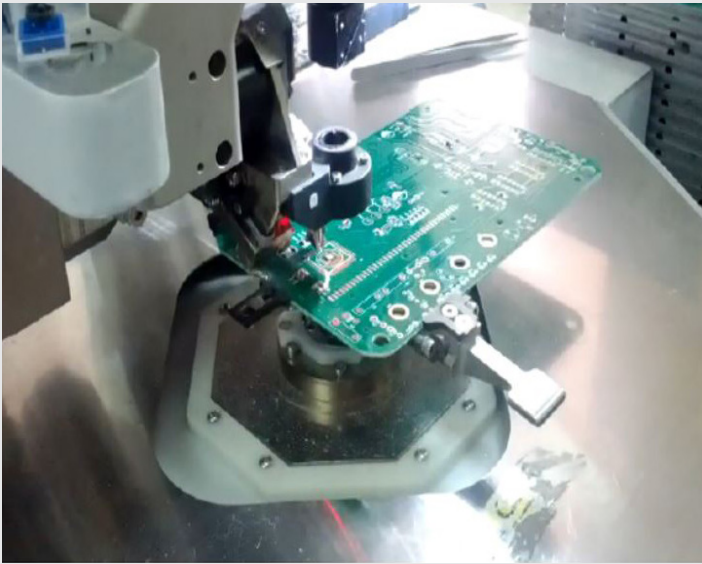


Figura 9. Montaje de silicio en tablilla electrónica

Los métodos de unión utilizados por esta tecnología de interconexión son: [7].

Unión por termo compresión. Requiere la aplicación de temperatura elevada y una fuerza mecánica al cable durante la unión.

Ventajas:

- Excelente fiabilidad con alambre de Au y terminales Au.
- Simple configuración de la máquina con 2 parámetros.
- Unión omnidireccional con la bola de unión.
- Daños insignificantes al terminar el proceso como cuarteaduras.

Desventajas:

- Proceso con alta temperatura 300°C
- Muy susceptibles a la contaminación.
- Unión de una unidireccional.
- Susceptible a la formación de compuestos intermetálicos con alambre Au y Al.

Unión Ultrasónica. Temperatura de unión mediante la aplicación de energía ultrasónica y la fuerza mecánica al aplicar.

Ventajas:

- Menos susceptibilidad a los contaminantes.
- Uniones formadas a temperatura ambiente.
- Capaz de unir distancias largas y de diámetro mayor de 2 milésimas de pulgada.
- Excelente fiabilidad.
- Capaz de unir terminales y alambre Al con Al.

Desventajas:

- Unión solamente tipo axial, que es más lenta que la bola de unión.

- Susceptible a tener fisuras.
- Configuración de la máquina con 3 parámetros y por consiguiente más difícil de automatizar.

Unión Termo sónica. Que combina las metodologías de termo compresión y ultrasonido así que requiere altas temperaturas y energía ultrasónica más una fuerza mecánica para lograr la conexión eléctrica.

Ventajas:

- Temperaturas más bajas que sus contraparte ultrasónica (100-150°C).
- Reducción de la energía requerida.
- Baja incidencia de la formación de fisuras.
- Unión omnidireccional de la unión, por tanto, más alto rendimiento.

Desventajas:

- Configuración de la máquina de 4 parámetros.
- Susceptibles a los contaminantes.

Las tecnologías de wire bonding o hilos en español, enfrentan también un problema similar a los polímeros conductivos, la limitación en circuitos de alta potencia y disipación térmica, este tipo de interconexiones se ven limitadas por las mismas capacidades de los delgados hilos de alambre utilizados para la interconexión, en los circuitos integrados que manejan potencia en múltiples ocasiones el núcleo central esta soldado directamente a las tabllas electrónicas precisamente para eliminar problemas de disipación o potencia, tal es el caso de los empaquetados Quad Flat No-leads (QFN) donde todo el pin central del silicio esta soldado directo a la tablilla electrónica para una mejor disipación térmica, como se puede apreciar en la Figura 10.

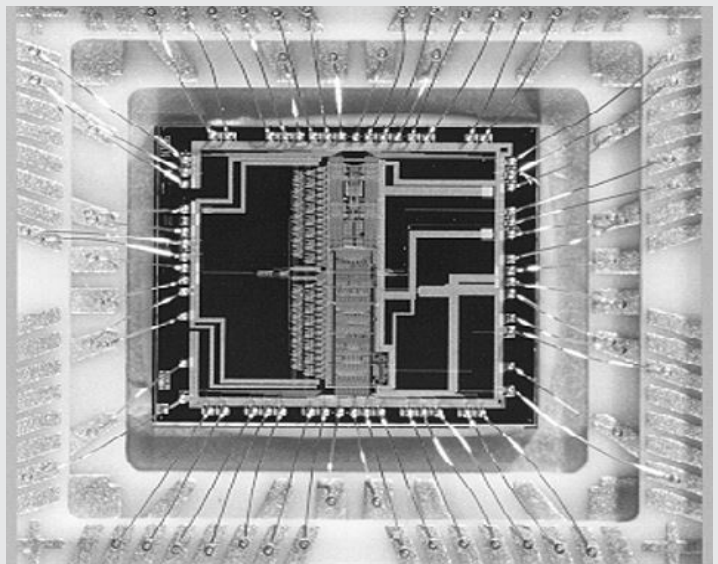


Figura 10. Inter conexión interna de un QFN.

Análisis de Experimento.

Durante el proceso de manufactura del ensamble del producto DEMOMPR031 mostrado en la Figura 11, se analiza el comportamiento de diferentes procesos de

manufactura pues este dispositivo electrónico utiliza tres de las tecnologías descritas en este artículo, polímeros conductivos, adhesivos conductivos y el tradicional de soldadura con montaje superficial.

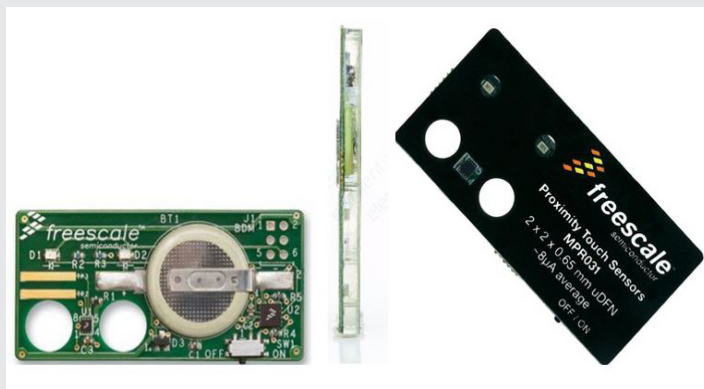


Figura 11. Ensamble DEMOMPR031

El proceso de manufactura, fue elaborado y hasta cierto punto difícil pues el manejar diferentes tecnologías en un solo producto hace compleja manufactura del mismo. El objetivo de esta evaluación fue comparar los tiempos necesarios en los procesos utilizando adhesivo conductivo y la soldadura libre de plomo, además de recabar información sobre los defectivos durante el proceso para poder verificar si efectivamente los procesos libres de soldadura pueden ser más eficientes y mejorar los índices de calidad tal como se planteó en las hipótesis.

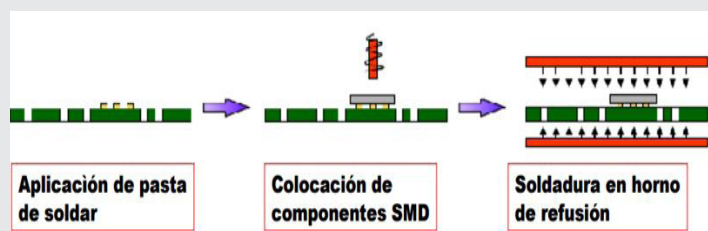


Figura 12. Proceso SMT.

El equipo y proceso para el montaje superficial (SMT) utilizado en la corrida fue el estándar ya conocido por la industria, en resumen, impresora de pasta, máquina colocadora de componentes y el horno de reflujo.

El tiempo total aproximado del proceso de montaje superficial fue de un promedio de 278 segundos como se detalla en la tabla 1 por panel ensamblado.

Tabla 1. Tiempos para SMT.

Proceso	Tiempo (Seg.)
Aplicación de pasta	13
Colocación componentes	25
Horno de reflujo	240
Tiempo de producción	278

En total se procesaron 10 paneles, de 10x10 unidades es decir 100 ensambles electrónicos donde se necesitó aproximadamente 50 minutos para terminar el total de unidades. Las fallas presentadas durante el proceso de soldadura fueron las esperadas y de acuerdo a corridas anteriores como se muestra en la Figura 13, el Yiel de producción fue 98.2%, se presentaron los siguientes defectivos de 1000 unidades ensambladas.

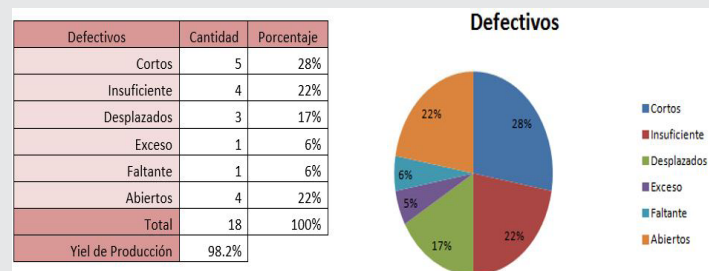


Figura 13. Defectivos en proceso SMT.

El proceso de adhesivo conductivo fue muy similar a la contraparte soldada, las diferencias básicamente son los equipos y herramental necesario. Para dispensar el adhesivo conductivo se utilizó un mini estencil de 15 milésimas de pulgada, sobre los pads donde se ubicaba la interconexión del polímero conductivo con la tablilla, una vez fijado el polímero conductivo con la ayuda de una fixtura, el ensamble electrónico se colocó en el horno de curado.

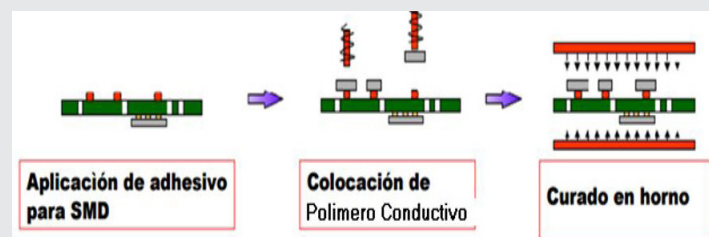


Figura 14. Proceso Adhesivo conductivo.

El tiempo para la aplicación del adhesivo fue de 3635 segundos como se muestra en la tabla 2, incluyendo el tiempo de curado en cámara de temperatura a 100°C por 60 minutos.

Tabla 2. Tiempos para Adhesivo Conductivo.

Proceso	Tiempo (Seg.)
Aplicación de pasta	10
Colocación componentes	25
Horno de curación	3600
Tiempo de producción	3635

Las fallas presentadas durante el ensamble utilizando el adhesivo conductivo fueron mayores registrando un Yile de 90.2%. La Figura 15 muestra el detalle de los

defectivos encontrados, cabe señalar que 95 de estos defectivos fueron detectadas antes del área de curado mediante inspección visual, y por ende fue factible el retrabajo de las unidades, pues hubo la oportunidad de limpiar el área de aplicación del adhesivo conductivo para su posterior aleación.

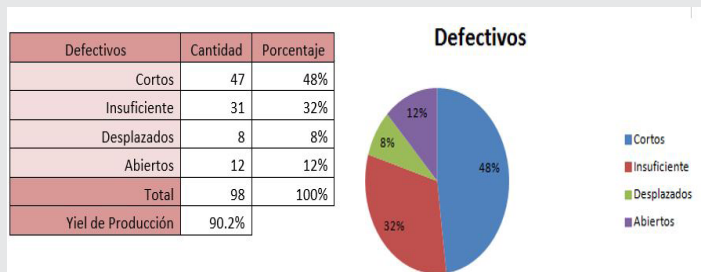


Figura 15. Defectivos en proceso Adhesivo Conductivo

Alrededor de 15 unidades no pudieron ser retrabajadas debido a la contaminación en pads, otras 3 unidades no fueron detectadas antes de curado se contuvieron en prueba funcional pero fueron consideradas como material inservible.

RESULTADOS

De acuerdo a los datos arrojados referente al número de defectivos no se puede confirmar contundentemente que la remoción de soldadura pudiera reducir los defectivos, y por consiguiente en base a esta corrida de evaluación se puede negar estadísticamente hablando las hipótesis planteadas con anterioridad, ya que se ve una clara tendencia a un Yiel más bajo con el uso de adhesivo que con soldadura pues el Yiel de defectivos bajo de 98.2% a 90.2%.

Al contrario pareciera que la sustitución por adhesivos conductivos arrojaría un incremento en las fallas, básicamente lo que se observó fue que la misma naturaleza del adhesivo al ser una combinación de polímeros hace que sea más difícil la aplicación sobre metales, debido a la viscosidad es también más difícil manipular y depositar sobre las áreas donde debe hacer contacto, por consiguiente se requiere de mayores cuidados.

Por otro lado en la remoción para un posible re trabajo también es más difícil ya que debido a la misma viscosidad el polímero deja una película entre el pad de la tablilla electrónica y el polímero conductivo haciendo mucho más difícil la limpieza total del pad. Una vez curado es inclusive más difícil remover la aleación química entre el pad metálico y el adhesivo conductivo.

Otro factor clave son los tiempos del proceso, mientras que para obtener producto terminado con soldadura se necesitan de 278 segundos y con adhesivo se necesitaron 3635 segundos, haciendo inviable económicamente la sustitución de soldadura, este factor es el principal obstáculo para el uso indiscriminado de

adhesivos conductivos en la industria, y como se ha mencionado lo que se ve es la proliferación de este tipo de tecnologías pero en aplicaciones muy específicas como circuitos flexible donde la temperatura es crítica.

CONCLUSIONES

Como se ha mencionado los tipos de conexión sin soldadura en los ensambles electrónicos han tomado gran importancia en la industria debido a la miniaturización y la alta densidad de componentes, después de ver las diferentes alternativas en el mercado parece que las conexiones con wire bonding directo en la PCB emergerá con fuerza en los próximos años pues es una excelente manera de reducir los tamaños de las conexiones eliminando el espacio que la soldadura necesita, además, el uso de adhesivos conductores es cada día más frecuente para poder interconectar componentes pequeños donde la soldadura no es una buena opción debido a la diferencia de viscosidades, así pues, este tipo de tecnologías junto con las nuevas opciones como el Occam podrían ser el futuro de la electrónica y con ello reducir de manera dramática los tamaños de los ensambles electrónicos. Sin embargo estas tecnologías necesitan mayor madurez para poder sustituir un proceso comprobado por más de una centuria.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] NICHOLAS C LEWIS, *Wire Wrap is Still Useful*, Nerd Creation Lab, 2013.
- [2] GLENN R. BLACKWELL., *The electronic packaging handbook*, CRC Press, 2000 páginas 370 a 388.
- [3] JOSEPH FJELSTAD, *Solderless Assembly of Electronic Products – A More Reliable and More Cost Effective Approach to Electronics Manufacturing?*, Verdant Electronics, 20400 Stevens Creek Blvd, Cupertino, Print ISBN: 978-1-4244-2600-3.
- [4] JOSEPH FJELSTAD, *Benefits of Reversing the Circuit Manufacturing and Assembly Processes for Electronic Products*, Verdant Electronics, 20400 Stevens Creek Blvd, Cupertino, Print ISBN: 978-1-4577-0812-1.
- [5] ASHBY, MICHAEL F., *Materials Selection in Mechanical Design*, Elsevier, 2011,
- [6] ANDREA CHEN, RANDY HSIAO-YU LO, *Semiconductor Packaging: Materials Interaction and Reliability*, CRC Press, 2011, Pagina 23-31.
- [7] WILLIAM GREIG, *Integrated Circuit Packaging, Assembly and Interconnections*, Springer Science, 2007 páginas 15 a 28.



Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Análisis de esfuerzo y deformación en matriz de policarbonato con insertos de refuerzo sometida a compresión

RESUMEN: En este documento se presenta un análisis de esfuerzo y deformación de una matriz de distribución rectangular de policarbonato PSM-1 con tres y otra de cuatro agujeros, cada una de ellas sometida a fuerzas de compresión de 100 N en ambas caras frontales paralelas, además encontrará características comparativas que se presentan en dichas placas al ser colocados en ellas insertos de refuerzo de aluminio 6061 y acero inoxidable T-304. El análisis se llevó a cabo mediante el desarrollo del método de elemento finito y se utilizó un mallado tipo barrido en el software de simulación de ANSYS Workbench.

PALABRAS CLAVES: deformación, elemento finito, esfuerzo, mallado, matriz con insertos, simulación.

ABSTRACT: In this document an analysis of stress and deformation of a matrix of rectangular polycarbonate distribution PSM -1 with three and four- holes, each subjected to compressive forces 100 N in both parallel front faces has, in addition found comparative characteristics presented in said plates when placed therein reinforcing inserts 6061 and T-304 stainless steel. The analysis was carried out by the development of the finite element method and a swept-type mesh was used in the ANSYS Workbench simulation software.

KEYWORDS: simulation, die inserts, stress, strain, plain.



Colaboración

Citlalin Aurelia Ortiz Hermosillo, Instituto Tecnológico de Matamoros

INTRODUCCIÓN

Este documento presenta los resultados de una simulación que se llevó a cabo en un software que lleva por nombre ANSYS Workbench el cual se desarrolla bajo el método de elemento finito. Se analizaron dos matrices o también conocidas como placas, una de ellas presenta tres perforaciones y la otra cuatro, estas están hechas de un material que se introdujo al mercado en 1958 conocido como policarbonato.

Una vez dibujada la geometría se generó el sólido que fue sometido a un mallado tipo barrido, se le aplicaron dos fuerzas de compresión de 100 N sobre las caras frontales paralelas, posteriormente se corrió el programa para determinar la deformación máxima a la que estará sometida la pieza así como el esfuerzo de von-Mises.

Además, se desarrolló la simulación con insertos de Aluminio 6061 y de Acero inoxidable T-304, posteriormente se compararon los resultados obtenidos.

MATERIAL Y MÉTODO

Características de las piezas

Las piezas sometidas a análisis bajo el método de elemento finito son:

Placa de policarbonato PMS-1 de tres agujeros.

Placa de policarbonato PMS-1 de cuatro agujeros.

Insertos de Aluminio 6061

Insertos de Acero inoxidable T-304

En la Figura 1 y 2 se presentan las placas y los insertos antes mencionados.



Figura. 1 Matrices de policarbonato de tres y cuatro agujeros.



Figura. 2. Insertos de refuerzo de aluminio y acero inoxidable (lado derecho e izquierdo respectivamente).

Policarbonato PMS-1

El Policarbonato es un termoplástico con propiedades muy interesantes, presenta resistencia al impacto, resistencia al calor y transparencia óptica: gracias a sus características del material ha penetrado fuertemente al mercado en una variedad de funciones.

Las matrices son de policarbonato PMS-1 y poseen las siguientes características mecánicas.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de policarbonato PMS-1

Policarbonato PMS-1		
Módulo de elasticidad (E) GPa	Coefficiente de Poisson ν	Límite de fluencia MPa
2.4	0.38	60-75.8

Aluminio 6061

Es una aleación de aluminio endurecido que contiene como principales elementos aluminio, magnesio y silicio. Originalmente denominado "aleación 61S" fue desarrollada en 1935. Tiene buenas propiedades mecánicas y se emplea para su uso en soldaduras. Es una de las aleaciones de aluminio más comunes para uso general. Se emplea comúnmente en formas pre templadas como el 6061-O y las templadas como el 6061-T6 y 6061-T651.

En la tabla 2 se muestran algunas de las características mecánicas del material.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de aluminio 6061

Aluminio 6061		
Módulo de elasticidad (E) GPa	Coefficiente de Poisson ν	Límite de fluencia MPa
69.5	0.33	276

Acero inoxidable T-304

Entre la familia de los aceros inoxidables, este es el más versátil y uno de los más usados, pertenece a la serie 300. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Se puede usar para aplicaciones de embutición profunda, de rolado y de corte. Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. La resistencia a la corrosión es excelente, excediendo al tipo 302. Son aceros austeníticos no templables, fabricados con un alto contenido de cromo y níquel. Algunas de sus propiedades mecánicas de muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Propiedades mecánicas del Acero inoxidable T-304

Acero inoxidable T-304		
Módulo de elasticidad (E) GPa	Coefficiente de Poisson ν	Límite de fluencia MPa
193	0.29	215

El objetivo de la simulación

Una vez identificadas las dos matrices de policarbonato, una de tres y la otra de cuatro agujeros, así como los insertos de aluminio 6061 y de acero inoxidable T-304, se procedió a dibujar la geometría de las piezas; en una segunda instancia se generó el sólido representativo. Posteriormente se realizó un mallado de barrido sobre las piezas con y sin inser-

tos, haciendo uso del software ANSYS Workbench, aplicando en ellas, una fuerza de compresión de 100 N en cada una de las caras frontales paralelas de la matriz. Por último se analizó, ¿Qué sucede con las piezas?, ¿Se presentó deformación en ellas?, ¿Es benéfica la combinación de materiales?

Se presenta las consideraciones del mallado utilizado a continuación.

El mallado de las piezas

El mallado que se aplicó para los cuatro casos es el considerado por el software como mallado de barrido.

La matriz de tres agujeros

Para esta pieza se consideraron 2374 nodos y 356 elementos.

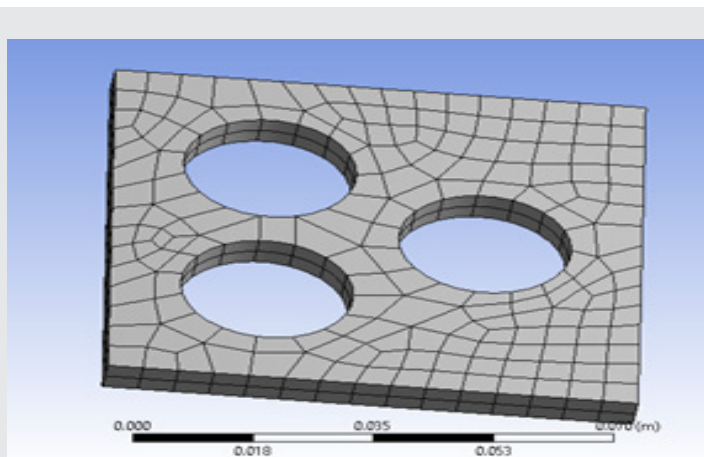


Figura. 3 Mallado de placa de policarbonato de tres agujeros.

La matriz de tres agujeros con insertos de Aluminio.

En esta pieza se consideraron para la placa 2416 nodos y 364 elementos y para cada uno de los insertos un total de 1245 nodos y 219 elementos.

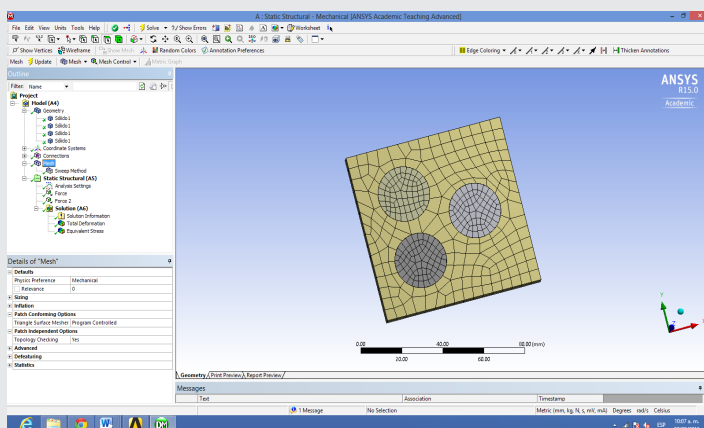


Figura. 4 Mallado de placa de policarbonato de tres agujeros con insertos de refuerzo de aluminio 6061.

La matriz de cuatro agujeros.

Para esta pieza se consideraron 1975 nodos y 276 elementos analizados.

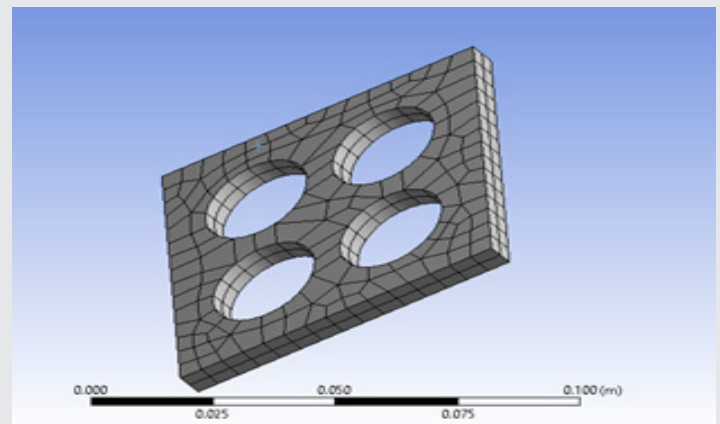


Figura. 5 Mallado de placa de policarbonato de cuatro agujeros.

La matriz de cuatro agujeros con insertos de Acero inoxidable.

En esta pieza se consideraron un total de 8180 nodos considerando placa e insertos y 1519 elementos.

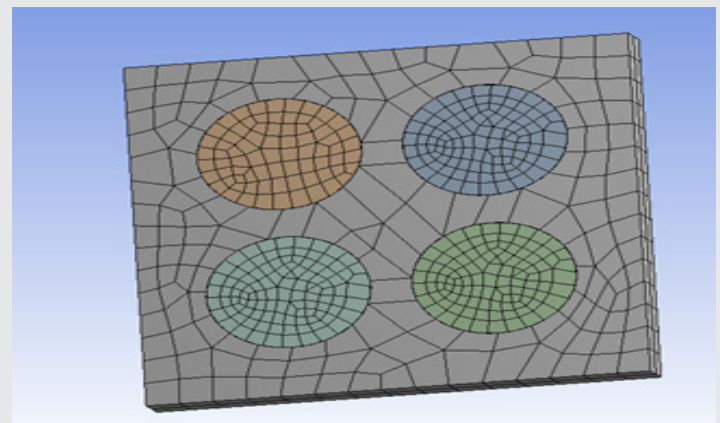


Figura. 6 Mallado de placa de policarbonato de cuatro agujeros con insertos de refuerzo de acero inoxidable T-304

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La matriz de tres agujeros

De acuerdo a los resultados arrojados en la simulación, podemos observar que al ser sometida la placa de policarbonato a una fuerza de compresión de 100 N esta presentará mayor deformación en la zona de las dos perforaciones como se observa en la siguiente Figura, siendo el área de color rojo la mas critica.

La máxima concentración de esfuerzos se encontrara alrededor de las perforaciones, como se puede apreciar en la siguiente ilustración.

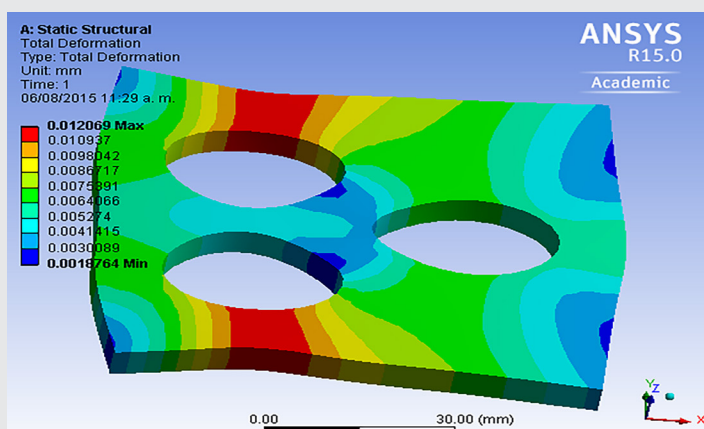


Figura. 7 Deformación total que presenta la pieza en simulación.

La matriz de tres agujeros con insertos de Aluminio. Ahora analizaremos a la matriz de policarbonato pero con los insertos de refuerzo de aluminio 6061, podemos

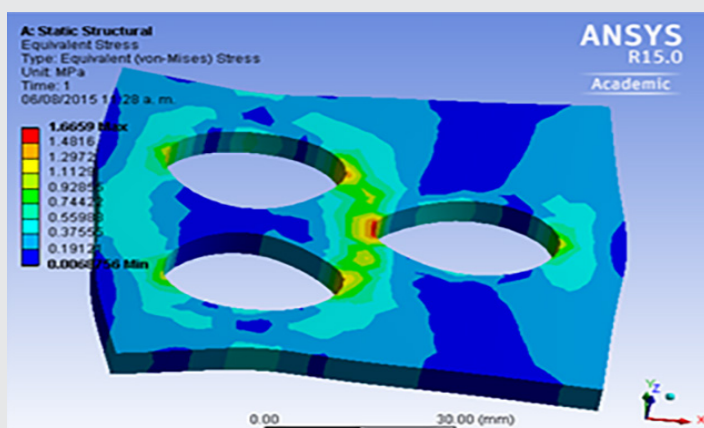


Figura. 8 Esfuerzo que presenta la pieza en simulación.

mos observar que es muy notorio los resultados comparándolos con la matriz sin insertos la deformación ahora es mínima como se observa en la Figura 9.

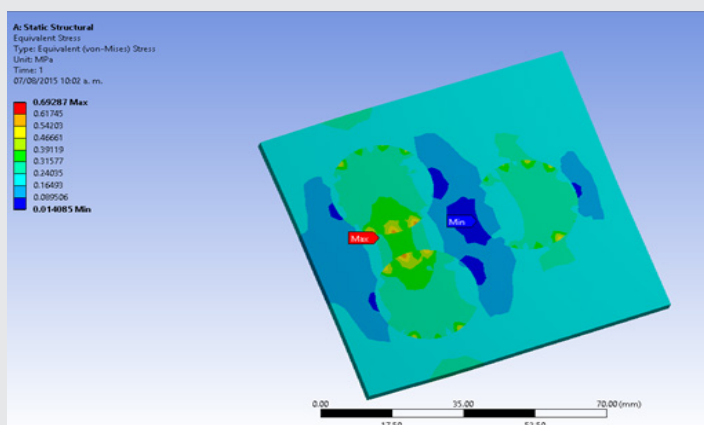


Figura. 9 Esfuerzo que presenta la pieza en simulación con los insertos de Aluminio.

La matriz de cuatro agujeros.

En la matriz de cuatro agujeros podemos observar que presenta varias zonas donde es crítico, como se observa en las las zonas rojas de la siguiente Figura.

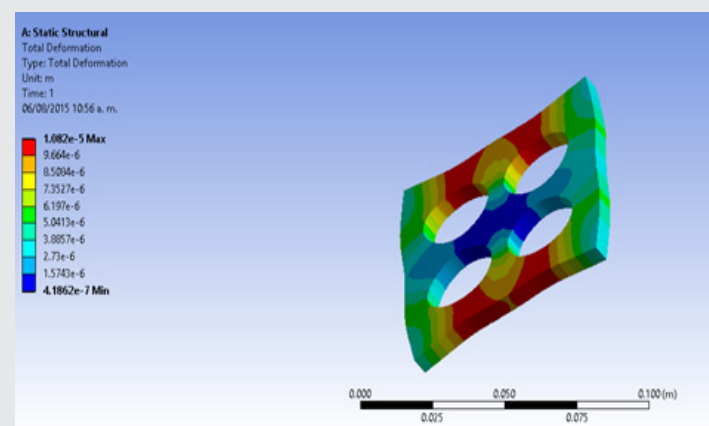


Figura. 10 Deformación total que presenta la pieza en simulación

La matriz de cuatro agujeros con insertos de Acero inoxidable.

Ahora presentamos el comportamiento de la placa de cuatro agujeros con insertos de acero inoxidable, al igual que en la matriz de tres, la deformación y el esfuerzo son mucho menores que en la que no presentan los insertos.

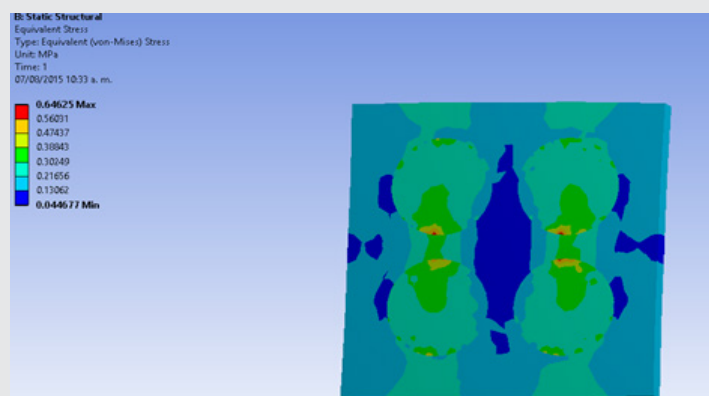


Figura. 11 Esfuerzo que presenta la pieza en simulación con los insertos de Acero inoxidable.

Ecuaciones de esfuerzo y deformación.

Esfuerzo es la resistencia que ofrece un área unitaria (A) del material del que está hecho un miembro para una carga aplicada externa (fuerza, F):

$$\text{Esfuerzo} = \text{fuerza} / \text{área} = F / A \quad \text{Ec. (1)}$$

Los esfuerzos normales, son aquellos debidos a fuerzas perpendiculares a la sección transversal. Los esfuerzos axiales, son aquellos debidos a fuerzas que actúan a lo

largo del eje del elemento. Los esfuerzos normales axiales por lo general ocurren en elementos como cables, barras o columnas sometidos a fuerzas axiales (que actúan a lo largo de su propio eje), las cuales pueden ser de tensión o de compresión. Además, de tener resistencia, los materiales deben tener rigidez, es decir tener capacidad de oponerse a las deformaciones (d) puesto que una estructura demasiado deformable puede llegar a ver comprometida su funcionalidad y obviamente su estética. En el caso de fuerzas axiales (de tensión o compresión), se producirán en el elemento alargamientos o acortamientos, respectivamente, como se muestra en la Figura 12.

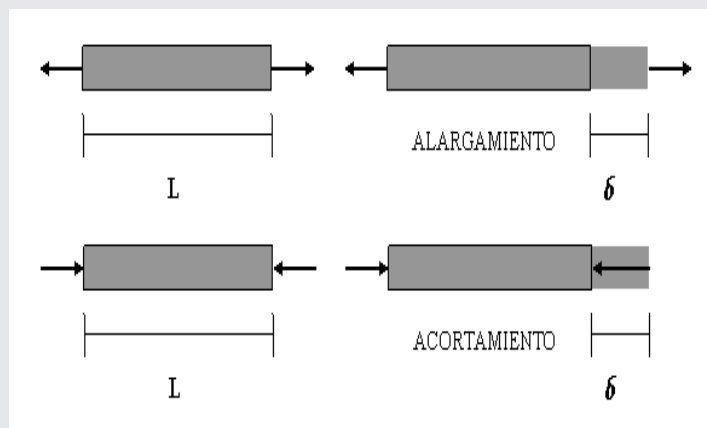


Figura. 12 Deformación debida a esfuerzos de tensión y de compresión, respectivamente

Ecuaciones bajo el método de elemento finito.

Las ecuaciones que gobiernan el esfuerzo y la deformación son:

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x - \nu\sigma_y - \nu\sigma_z}{E} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\epsilon_y = \frac{\sigma_y - \nu\sigma_x - \nu\sigma_z}{E} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$\epsilon_z = \frac{\sigma_z - \nu\sigma_x - \nu\sigma_y}{E} \quad \text{Ec. (4)}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad \text{Ec. (5)}$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G} \quad \text{Ec. (7)}$$

Podemos apreciar que los insertos de refuerzo ayudan considerablemente a amortiguar la fuerza de compresión a la que es sometida las piezas de policarbonato y que por tratarse de piezas con diferentes materiales pueden tener diferentes usos y diversas aplicaciones.

Tabla 4. Resultados obtenidos en matriz de 3 agujeros.

	Matriz de policarbonato perforada con tres agujeros	Matriz perforada con insertos de refuerzo en Aluminio 6061
Esfuerzo mínimo	6.8756e-003 MPa	1.4085e-002 MPa
Esfuerzo máximo	1.6659 MPa	0.69287 MPa

Tabla 5. Deformación total en matriz de 3 agujeros.

Tiempo 1 seg	Matriz de policarbonato perforada con tres agujeros	Matriz perforada con insertos de refuerzo en Aluminio 6061
mínima	1.8764e-003	4.3803e-004
máxima	1.2069e-002	2.4872e-002

Tabla 6. Resultados Obtenidos en matriz de 4 agujeros.

	Matriz de policarbonato perforada con cuatro agujeros	Matriz perforada con insertos de refuerzo en Acero inoxidable T-304
Esfuerzo mínimo	12720 Pa	4.4677e-002 MPa
Esfuerzo máximo	1.1661e+006 Pa	0.64625 MPa

Tabla 7. Deformación total en matriz de 4 agujeros.

Tiempo 1 seg	Matriz de policarbonato perforada con cuatro agujeros	Matriz perforada con insertos de refuerzo en Acero inoxidable T-304
mínima	4.1862e-007	5.1402e-004
máxima	1.082e-005	3.0242e-002

BIBLIOGRAFIA

[1] Beer Ferdinand P., Russell Johnston, *mecánica de materiales*, 6ª edición, 2013.

[2] H. Lee -finite element simulations with ANSYS workbench 12, 14 -2012.

[3] Calderón G., Gallo R. *Introducción al método de elemento finito: un enfoque práctico*.

[4] Saeed Moaveni, *finite element analysis theory and applications with ANSYS*.

[5] Zienkiewicz Taylor, *método de los elementos finitos*.



Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Un enfoque para la gestión de contenido semántico en aplicaciones del Internet de las cosas (IoT)



Colaboración

Alan Omar Urías Osuna, Ricardo Quintero Meza, Luis Carlos Santillán, Emir Manjarrez, Instituto Tecnológico de Culiacán

RESUMEN: Actualmente el Internet de las Cosas (IoT) es un paradigma que integra varias tecnologías, con el fin de interconectar objetos cotidianos a través de Internet; por otro lado, la Web Semántica se conoce por una infraestructura eficaz para mejorar la visibilidad de la información de la web. Entre el IoT y la Web Semántica existe distanciamiento, debido a que el IoT es un paradigma el cual requiere de muchos esfuerzos y se le ha dado mayor importancia a la implementación que a la estructuración del conocimiento extraído. Por este motivo, en este artículo, se propone la definición de un enfoque basado en una arquitectura de referencia que permite gestionar el contenido semántico con información extraída de aplicaciones IoT, de esta manera se obtiene un enriquecimiento de la información. El enfoque es validado a partir de un caso de estudio orientado al dominio de monitoreo de transportes.

PALABRAS CLAVE: Internet de las Cosas (IoT), Ontología, Web Semántica.

ABSTRACT: Currently the Internet of Things (IoT) is a paradigm that integrates various technologies, with the purpose of interconnect with everyday objects through the Internet; on the other hand, the semantic web, is known for an effective infrastructure to improve the visibility of information on the web. There is distancing between the IoT and the semantic web, since the IoT is a paradigm which requires many efforts and has been given greater importance to the implementation than the structuring of the extracted knowledge. For this reason, in this article, we propose the definition of an approach based on a reference architecture that allows to manage the semantic content with information extracted from IoT applications, and in this way obtained an enrichment of the information. The approach is validated from a case study oriented on transport monitoring domain.

KEYWORDS: Internet of Things (IoT), Ontology, Web Semantic.

I. INTRODUCCIÓN

El Internet de las Cosas [1] es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con Internet. En la actualidad el Internet de las Cosas (IoT) ha surgido con mucha fuerza, arrasando con la ola digital que está aplicándose en diferentes áreas como lo son los medios de publicidad para tener con exactitud la correcta segmentación del mercado; el medio ambiente, con sensores para la optimización de recursos; industrias aumentando la calidad de servicios y reduciendo costos; manufactura, estableciendo redes de control y procesos de fabricación; energía, optimizando el consumo de energía; medicina, utilizando notificación de emergencia, monitores de presión arterial y frecuencia cardiaca; transporte, implementando un control de tráfico inteligente, control de vehículos y sobre todo seguridad para los usuarios.

Por otro lado, la Web Semántica [2] es una extensión de la web actual, en la cual los datos se describen y relacionan de tal manera que establecen por si solos un contexto o significado, lo cual no solo les permite a los usuarios encontrar datos, sino que también otras aplicaciones se pueden integrar y entender la información fácilmente. Es por ello la importancia de implementar ontologías que hagan uso de vocabularios estándares para que un mayor número de aplicaciones puedan entender los contextos y dominios gracias a estos esquemas definidos en las ontologías.

Debido al incremento y crecimiento en desarrollo de aplicaciones IoT en diferentes áreas, éstas producen información generada por los objetos incluidos en esas aplicaciones debido a sensores. Los sensores generan una gran cantidad de datos crudos, de los cuales apoyados de técnicas de Web Semántica se pueden dotar de sentido para enriquecer su conocimiento.

Una de las técnicas importantes para la representación de la información en la Web Semántica son las ontologías. Las ontologías definen los términos y las relaciones básicas para la comprensión de un área del conocimiento, utilizando reglas para poder combinar términos, también facilitan un vocabulario controlado que comparte conceptos en común con un dominio, para representar la información disponible a consultar, además, las ontologías permiten definir relaciones entre dichos conceptos. Tanto conceptos como roles pueden ser usados para realizar consultas más complejas y recuperar de forma precisa la información en la que el usuario está interesado en consultar.

La Web Semántica y el paradigma del Internet de las Cosas (IoT) no ha tenido un acercamiento profundo con la extracción de conocimiento de la Web Semántica, debido a la complejidad del IoT se han enfocado más en la implementación (sensores) y se ha dejado la extracción del conocimiento en una menor prioridad, por lo que se propone una arquitectura para la extracción de esta información y dotarla de conocimiento para su óptimo uso.

Actualmente, la integración basada en ontologías es un área de investigación muy activa en la Web Semántica. Es por esto que se diseñó de una arquitectura de referencia para gestionar la información obtenida de aplicaciones IoT de manera semántica. El objetivo de esto es obtener información de aplicaciones del IoT, representar esa información con técnicas de Web Semántica para que los usuarios tengan datos más enriquecidos del dominio.

La información recolectada por los sensores del sistema de monitoreo de transporte escolar podría ser requerida por diferentes interesados:

- Padres de familia,
- Instituciones educativas,
- Autoridades policiacas y viales, etc.

Por lo tanto, en este artículo se propone diseñar una arquitectura de referencia que permita la gestión de contenido semántico orientado a aplicaciones de IoT, que permitan la integración de datos enriquecidos y esquemas estandarizados para que puedan ser utilizados o consumidos por otras aplicaciones orientadas al IoT; de esta manera se permite a usuarios tales como: particulares, tutores, autoridades viales, instituciones educativas, dueños de transportes y más, consultar dicha información basada en ontologías diseñadas específicamente para el dominio que se especifique. Para este artículo se enfocó en el dominio de monitoreo de transportes, dando la ventaja de obtener la información que requieren los usuarios antes mencionados. Para validar el enfoque propuesto en este artículo, se presenta un ejemplo orientado al dominio de un sistema de monitoreo de transportes escolares [3].

La arquitectura propuesta permite a usuarios interesados consultar la información semántica que proveen las aplicaciones IoT, mediante de la ontología creada para este propósito. Para la construcción de la arquitectura de referencia se utilizaron algunos componentes open source como: Apache Jena, IDE Eclipse, protégé, Pallet, etc.

Este artículo está estructurado de la siguiente manera: En la sección I se presenta la introducción; En la sección II se presentan los trabajos relacionados; En la sección III se presenta el enfoque para la gestión de contenido semántico, que contiene la metodología a seguir comenzando por el diseño de la ontología, posteriormente definir una arquitectura propuesta que se descompone en diagrama de contexto, componentes, pruebas y finalmente las tecnologías utilizadas para poder implementar dicha arquitectura; En la sección IV se presentan las conclusiones de este artículo.

II. TRABAJOS RELACIONADOS.

En esta sección se mencionan algunos trabajos relacionados con el monitoreo de transportes, ontologías e Internet de las Cosas (IoT) que atañen a este artículo. A continuación se describen algunos de ellos.

A.Towards Semantic Monitoring Data Collection and Representation in Federated Infrastructures.

En este trabajo se desarrolló un modelo basado en ontologías para el intercambio interoperable de datos a través de múltiples dominios administrativos con el fin de lograr que la heterogeneidad de las herramientas e interfaces utilizadas. Este trabajo presenta un enfoque para la unificación de la recolección de datos de vigilancia y la representación basada en las tecnologías de la Web Semántica y su principal contribución es el diseño e implementación de un modelo de información basado en ontologías para el monitoreo de las infraestructuras federadas, la solución prevista se realizó en el contexto del proyecto europeo Fed4Fire [4].

B. Interoperability of Security-Enabled Internet of Things.

En este trabajo se propone una arquitectura en capas para un "framework" orientado al Internet de las Cosas enriquecido semánticamente, conectando entre sí las otras capas y facilitar la provisión de acceso seguro a los servicios habilitados del Internet de las Cosas. El principal aporte es asegurar el razonamiento entre las ontologías y reglas semánticas, también la interoperabilidad de los aspectos de seguridad se aborda mediante la ontología y una plataforma de máquina a máquina. Este trabajo proporciona detalles de implementación del razonamiento de seguridad y los aspectos de interoperabilidad y discute los desafíos cruciales entre estas áreas [5].

C. On a Java based implementation of ontology evolution processes based on Natural Language Processing.

En este trabajo se realizó una implementación basada en Java donde el aporte principal fue la evolución del proceso de llevar el lenguaje natural hacia una ontología, con este software se extrajo información estructurada de lenguaje natural y se utilizó para enriquecer la ontología. Se cumplieron los objetivos de extracción de conocimiento legible de texto y transformar la información extraída en una forma que es adecuada para su inserción en una ontología [6].

D. Incorporating technology in service-oriented i* business models: a case study.

En este trabajo se presenta un enfoque para la incorporación de tecnología en los modelos de negocio, lo que permite evaluar sistemáticamente la contribución de una tecnología específica para cumplir con los objetivos de negocio. Una de las ventajas de este enfoque es que tanto software como hardware son representados de una manera abstracta. Por lo tanto, los nuevos componentes de software o nuevos componentes de hardware se pueden representar por lo que sus propiedades explícitas como atributos de calidad. Otra ventaja es la representación explícita de las relaciones entre los objetivos de la organización y las actividades de bajo nivel necesarios para realizar los procesos [7].

III. ENFOQUE PARA GESTIÓN DE CONTENIDO SEMÁNTICO

Para poder aplicar un enfoque para gestión de contenido semántico es importante realizar el diseño de una ontología, como técnica de la Web Semántica forma parte medular en este enfoque debido que es donde se dota de conocimiento a los datos; por otro lado y no menos importante se encuentra el diseño de una arquitectura propuesta en este caso, debido a que se debe definir la misma para poder ser implementada y tomada como referencia para cualquier otro enfoque que intersecte la Web Semántica y se puedan implementar diferentes ontologías en diferentes dominios enfocados al IoT.

A. DISEÑO DE LA ONTOLOGÍA

Las ontologías [8], son colecciones de enunciados escritos en un lenguaje, como el RDF, que define las relaciones entre conceptos y especifica reglas lógicas para razonar con ellos; Una ontología es una especificación explícita y formal de una conceptualización compartida. Una conceptualización es una vista simplificada y abstracta del mundo que deseamos representar para algún propósito en específico, definiendo un vocabulario controlado.

Las ontologías están formadas de diversos componentes como lo son Conceptos, Relaciones, Funciones, Instancias y Axiomas.

Las ontologías definen un conjunto de clases, relaciones, funciones y constantes para un determinado dominio, además introducen axiomas para restringir la interpretación de estos elementos. Las relaciones que se establecen entre los elementos del dominio son aquellas que clasifican las entidades del dominio en base a relaciones. Para el caso de estudio se siguió la metodología Methontology [9], para la creación de la ontología, y para la creación se utilizó la herramienta Protégé [10].

En las ontologías todo parte de una "cosa", definiendo clases a las cuales se les define propiedades y atributos correspondientes; Como parte del caso de estudio de monitoreo de transportes, se definió la siguiente ontología, con las clases de monitoreo, vehículo, localización, conductor e información, que se ilustra parte de ella en la Figura 1.

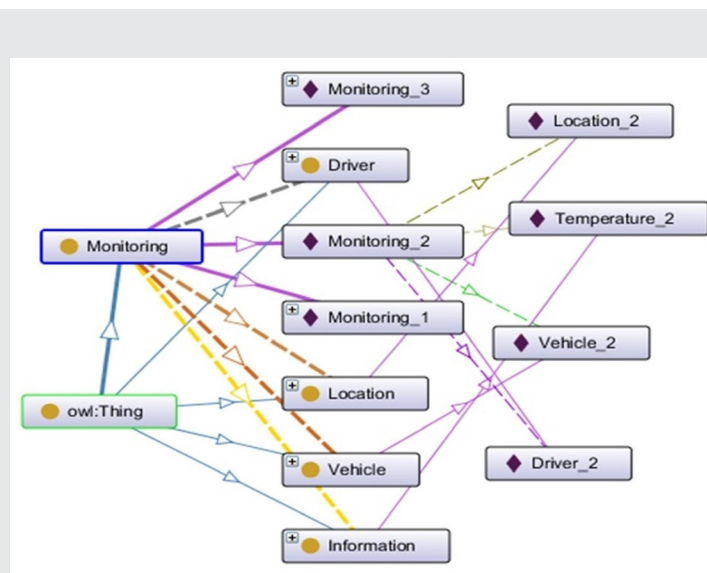


Figura 1. Parte de ontología orientada al monitoreo de transportes creada en herramienta Protégé.

B. ARQUITECTURA PROPUESTA

En esta sección, se detalla la arquitectura para un enfoque de gestión de contenido semántico basado en IoT con dominio en monitoreo de transportes.

Para definir la arquitectura, es necesario establecer los límites del sistema con entidades externas, para ello

se utiliza el diagrama de contexto el cual se detalla a continuación:

1. Diagrama de contexto

En la Figura 2. Se muestra el diagrama de contexto, donde se propone que el sistema "Monitoreo Ontológico de Transportes" sea la pieza central; las interfaces 1 y 2 son aplicaciones externas que requieren consumir los servicios del sistema, en este caso los interesados en obtener la información son aplicaciones de los padres de familia e instituciones educativas que desean saber en todo momento el nivel de seguridad con los que los estudiantes son transportados; las autoridades policíacas vigilan que el chofer no exceda los límites de velocidad, representados en la Interface 3.

En el diagrama de contexto se muestra una relación al mismo nivel de colaboración entre el sistema Monitoreo Ontológico Escolar y la aplicación IoT Bus representada en la interface 4, la cual colecta información a través de sensores basados en IoT, esta información es integrada en la base de datos de SQL del sistema de monitoreo ontológico mostrado en interface 6; El sistema representado como "Monitoreo Ontológico de Transportes" tiene una dependencia directa para su óptima funcionalidad con una base de datos de triples para que los usuarios puedan explotar la información que ellos requieren consultar, representado en la interface 5.

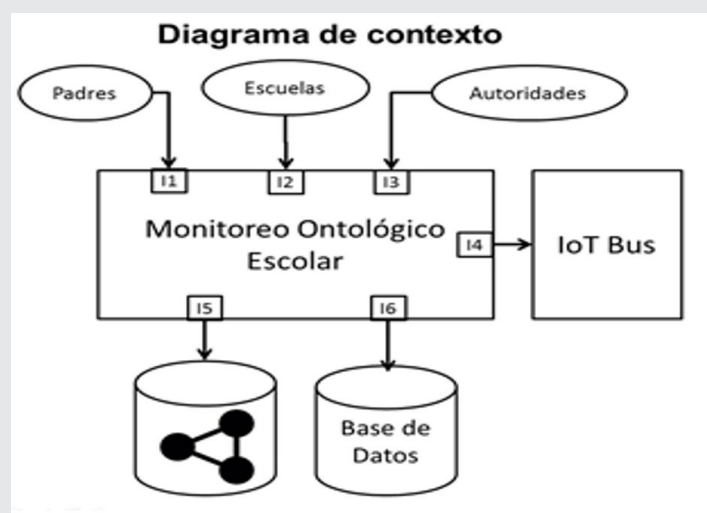


Figura 2. Diagrama de contexto.

2. Componentes

Conocer los componentes externos hacia los cuales el sistema de Monitoreo Ontológico de Transportes tiene dependencia, es importante al momento de seleccionar un estilo arquitectónico y definir la estructura del sistema en términos de componentes.

Por la naturaleza de la aplicación se decidió implementar un estilo arquitectónico basado en capas. Cada capa presta un servicio específico y permite disminuir las dependencias entre los diferentes componentes.

A continuación, se describen las capas y su responsabilidad:

a. SDB: Base de Datos en SQL.

Este componente es el encargado de facilitar la comunicación del sistema con la base de datos, tanto para integrar los datos colectados por IoT Bus, como para facilitar la consulta de los mismos desde la ontología web.

b. TDB: Base de Datos de Triples.

Este componente es el encargado de facilitar la comunicación del sistema con la base de datos de triples o RDF Store, tanto para integrar los datos colectados por IoT Bus, como para facilitar la consulta de los mismos desde la ontología web.

c. Ontology Engine.

Este componente es el encargado de implementar la ontología, la cual es definida en archivos que contienen los modelos creados en formato RDF/XML y OWL (Ontology Web Language) en los cuales se definen las reglas de inferencia y estructura de la ontología orientada al monitoreo de transportes generando el contenido semántico de la información. También se encarga de ejecutar las consultas que se solicitan a la ontología en lenguaje SPARQL.

Este motor ontológico se implementa en Java extendiendo los frameworks de apache jena y pellet.

d. WebHub.

Este componente permite recibir peticiones vía web services en formato SPARQL, valida la petición del usuario y solicita al motor ontológico realizar la consulta y retornar los resultados obtenidos.

e. Integration:

Este componente permite obtener los datos del sistema IoT Bus que deposita los datos en el componente 1 SDB (base de datos en SQL).

En la tabla 1. Se muestra la relación entre modelo de contexto y estructura de componentes.

Tabla 1: Relación entre modelo de contexto y estructura de componentes.

Interface	Componente
I1 (Padres)	4 - WebHub
I2 (Escuelas)	4 - WebHub
I3 (Autoridades)	4 - WebHub
I4 (Bus IoT)	5 - Integration
I5 RDF Store	2 - TDB
I6 SQL DB	1 - SDB

3. Pruebas

Para probar la factibilidad de la arquitectura propuesta se emplea un diagrama de instancias, conciliando con el diagrama de contexto y componentes donde se validará que todos los requisitos sean cubiertos por la arquitectura propuesta, este diagrama de instancias se ilustra en la Figura 3.

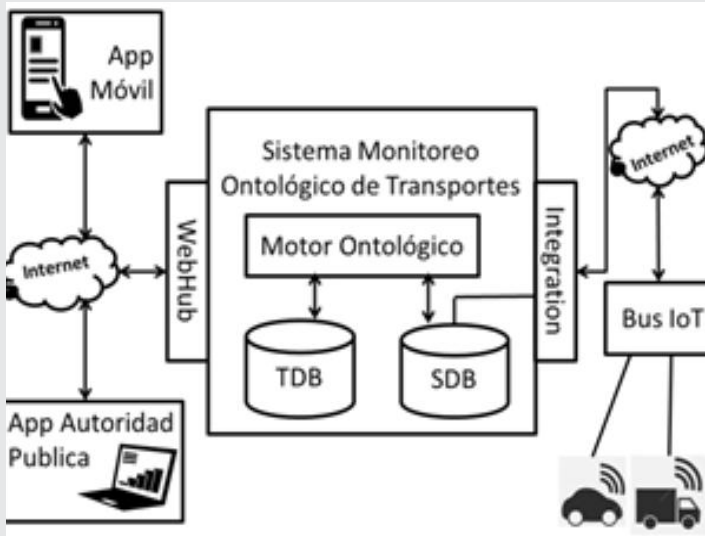


Figura 3. Diagrama de Instancias.

En la Figura 4, se muestra la arquitectura propuesta, en la cual se tiene como parte central un motor ontológico, que tiene como entrada algunos archivos que contienen los modelos creados en formato RDF/XML y OWL (Ontology Web Language), en los cuales se crearon las reglas de inferencia y estructura de la ontología orientada al monitoreo de transportes; se propone una aplicación para que los usuarios finales puedan realizar las consultas de la información de monitoreo de transportes en la cual es proporcionada por el framework "Bus IoT" mencionado en el diagrama de contexto, que este a su vez deja la información en la capa de persistencia "Store API - SDB" que es una base de datos en SQL; en la capa de persistencia "Store API - TDB" tenemos almacenados los "Triples" que nos sirven para estructurar la información que es extraída de la base de datos en SQL, que aportan a la información para convertirla en contenido semántico posteriormente.

La capa de "WebHub" es un servicio web que son consumidos por las consultas desde cualquier dispositivo disponible para la aplicación. Finalmente centrándose en la capa del motor ontológico, este dota de conocimiento a la información extraída convirtiéndola en contenido semántico por medio de una ontología bien definida con esquemas estándares, que es enfocada al monitoreo de transportes, por lo que al momento de consultar se cumpla el objetivo que es satisfacer las necesidades de los usuarios que requieren respuestas precisas con respecto a la información buscada.

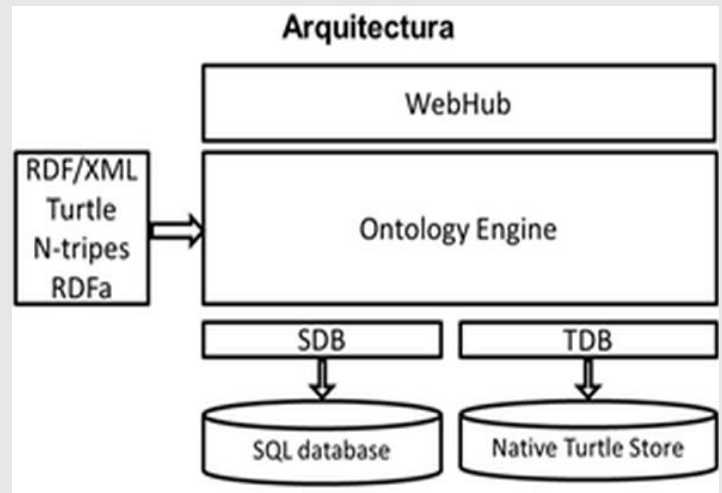


Figura 4. Arquitectura propuesta para el enfoque de gestión de conocimiento semántico en aplicaciones IoT en el dominio de monitoreo de transportes.

4. Tecnología

Se utilizaron varios componentes tecnológicos que expondrán a continuación:

- Apache Jena que proporciona un componente que es útil para este proyecto, "Apache Jena TDB", este componente sirve como almacenamiento y consultas de RDF, el cual utiliza otro componente en la capa de "WebHub".
- El componente en la capa de "WebHub" (detallado en la arquitectura) debe proporcionar un servidor SPARQL donde se pueden utilizar TDB para el almacenamiento de persistencia y proporcionar los protocolos de SPARQL para consultar, actualizar y actualización de REST (Representational State Transfer) a través de HTTP.
- En la parte de ontologías se utilizó una herramienta llamada "Protégé" la cual es una plataforma libre, de código abierto que proporciona un conjunto de herramientas para la construcción de modelos de dominio y aplicaciones basadas en ontologías, dotando a estas mismas de conocimiento.
- También se utilizó la tecnología de IDE Eclipse Standard/SDK Versión: Kepler Service Release 2 Build id: 20140224-0627, para el desarrollo del motor ontológico y la integración de los componentes.
- Se utilizó a su vez "Pellet Reasoner" que es un razonador de OWL (Ontology Web Language) Pellet se puede utilizar con Jena o bibliotecas OWL-API.
- Pellet proporciona funcionalidad para comprobar la coherencia de las ontologías, calcular la jerarquía de clasificación, especificar inferencias y responder a las consultas en SPARQL.
- Por otra parte se utilizaron vocabularios RDF estándar [11] para vehículos, localización y personas, con el fin de que cualquier aplicación que maneje este vocabulario RDF pueda razonar con dicha información y de esta forma se puedan integrar diversas aplicaciones y consultar la información disponible dotada de conocimiento mediante la Web Semántica.

Se crearon archivos en formato OWL para definir la semántica de la ontología, del cual se muestra un fragmento de código en la Figura 5.

```
ontology-33;Monitoring"/>
  <hasDate rdf:datatype="xsd:dateTimeStamp">2016-04-21
  11:22:33.444</hasDate>
  <isDriverBy rdf:resource="&untitled-ontology-33;Driver_
  3"/>
  <isLocation rdf:resource="&untitled-
  ontology-33;Location_3"/>
  <isInformation rdf:resource="&untitled-
  ontology-33;Temperature_3"/>
  <isVehicle rdf:resource="&untitled-ontology-33;Vehicle_
  3"/>
</owl:NamedIndividual>

<!--
http://www.semanticweb.org/alan/ontologies/2016/3/untitled-
ontology-33#Temperature_1 -->

  <owl:NamedIndividual rdf:about="&untitled-
  ontology-33;Temperature_1">
    <rdf:type rdf:resource="&untitled-
  ontology-33;Information"/>
    <hasValue rdf:datatype="xsd:float">35.0</hasValue>
    <owl:sameAs rdf:resource="&untitled-
  ontology-33;Temperature_2"/>
    <owl:sameAs rdf:resource="&untitled-
  ontology-33;Temperature_3"/>
  </owl:NamedIndividual>
```

Figura 5 Fragmento de código realizado en OWL.

Se crearon archivos en formato RDF del cual se muestra un fragmento de código en la Figura 6.

```
<rdf:RDF
  xmlns="http://www.semanticweb.org/alan/ontologies/2016/3/untitled-ontology-33#"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
>
  <rdf:Description
    rdf:about="http://www.semanticweb.org/alan/ontologies/2016/3/untitled-ontology-33#Temperature_1">
    <rdf:type
      rdf:resource="http://www.semanticweb.org/alan/ontologies/2016/3/untitled-ontology-33#Information"/>
    <hasValue
      rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float">35.0</hasValue>
    <rdf:type
      rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#NamedIndividual"/>
    </rdf:Description>
    <rdf:Description
      rdf:about="http://www.semanticweb.org/alan/ontologies/2016/3/untitled-ontology-33#LocationTmp">
      <hasLatitude
        rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float">24.7885</hasLatitude>
      <rdf:type
        rdf:resource="http://www.semanticweb.org/alan/ontologies/2016/3/untitled-ontology-33#Location"/>
      <rdf:type
        rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#NamedIndividual"/>
```

Figura 6 Fragmento de código realizado en OWL.

IV. CONCLUSIONES

Este trabajo a diferencia de los relacionados anteriormente, tiene la ventaja de contar con una arquitectura propuesta para desarrollar diferentes aplicaciones y sus componentes necesarios enfocados al monitoreo de transportes en general orientados en IoT.

También se cuenta con una ontología diseñada específicamente para el monitoreo de transportes escolares,

donde podemos expandir a placer dependiendo de la diversidad de información que se quiere monitorear, teniendo diferentes sensores para generar esta información y reutilizar esta ontología para adaptarse a cualquier otra aplicación de monitoreo de transportes ya que cuenta con esquemas estándares.

Gracias a estos esquemas estándares que la hacen compatible, puede ser usada por otro tipo de aplicaciones de IoT orientadas al monitoreo de transportes ya que empatarán en el dominio, por ejemplo, monitoreo de transporte de alimentos, monitoreo de transporte de vehículos (Nodrizas), donde se tendría que adaptar la ontología para aceptar algún elemento no tomado en cuenta.

En base a las validaciones realizadas, podemos concluir que es posible la construcción de una arquitectura de referencia que facilite la integración de diferentes aplicaciones por medio de la web; es muy viable desarrollar ontologías para dominios específicos y utilizar vocabularios RDF estándar para la interconexión o interoperabilidad de aplicaciones, enfocándose en el intercambio de información y que puedan razonar el contenido semántico de la información disponible entre diferentes aplicaciones, haciéndose así extensiones unas de otras.

En este caso probamos con el monitoreo de transportes escolares, pero hay muchos dominios que pueden ser explorados y desarrollar ontologías estándares para construir un modelo del conocimiento basado en Web Semántica, con esto concluimos que en un futuro no muy lejano podremos obtener el mayor aprovechamiento de la web 3.0 dotando de conocimiento semántico a toda (o por lo menos la mayor parte de) la información que tenemos en la web.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bahga, A., & Madisetti, V. (2014). *Internet of Things: A Hands-on Approach*. VPT.
- [2] Tim Berners-Lee, James Hendler, Ora Lassila, *The Semantic Web*, Scientific American, May 2001.
- [3] J. Zambada, R. Quintero, R. Isijara, R. Galeana, and L. Santillan, "An IoT based scholar bus monitoring system," *IEEE International Smart Cities Conference*, 2015.
- [4] Al-Hazmi, Y., & Magedanz, T. (2015, August). *Towards Semantic Monitoring Data Collection and Representation in Federated Infrastructures*. In *Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, 2015 3rd International Conference on (pp. 17-24). IEEE.
- [5] Alam, S., Chowdhury, M. M., & Noll, J. (2011). *Interoperability of security-enabled Internet of things*. *Wireless Personal Communications*, 61(3), 567-586.

[6] Gabbanini, F. (2010). *On a Java based implementation of ontology evolution processes based on Natural Language Processing*.

[7] Martinez, A., Vazquez, B., Estrada, H., Santillan, L., & Zavala, C. *Incorporating technology in service-oriented i* business models: a case study*. *Information Systems and e-Business Management*, 1-27.

[8] Maedche, A., & Staab, S. (2001). *Ontology learning for the semantic web*. *IEEE Intelligent systems*, 16(2), 72-79.

[9] Jones, D., Bench-Capon, T., & Visser, P. (1998). *Methodologies for ontology development*.

[10] Stanford Research, 'Protégé', June 2015. [Online]. Available: <http://protege.stanford.edu/> URL. [Accessed: 19-Ene-2017].

[11] Schema, 'Home - schema.org', April 2015. [Online]. Available: <http://schema.org/> URL. [Accessed: 19-Ene-2017].





Bioquímica *y* Biológicos

Ingeniantes

Obtención de Lixiviados de lombricomposta a partir de diferentes tipos de residuos orgánicos empleando *Eisenia foetida*

RESUMEN: El objetivo principal del presente trabajo fue determinar el efecto de la materia orgánica en el tamaño de lombriz y tiempo de obtención de lixiviados de lombricomposta. Se generaron 4 tratamientos mezclando, individualmente, con suelo: poda de césped, desperdicio de cocina, estiércol equino y hojarasca (T1, T2, T3 y T4, respectivamente). El proceso involucró una fase de compostaje de 30 días, seguida de lombricompostaje durante 60 días empleando *Eisenia foetida*. Con relación al tamaño de la lombriz, en general, los resultados brutos indican diferencia en el tamaño; sin embargo, las pruebas estadísticas realizadas, muestran que, a un nivel de confianza del 95%, tal diferencia no es significativa, por lo que se recomienda cualquiera de los tratamientos utilizados en este estudio, para efectos del crecimiento de la lombriz. El vermicompostaje, se presenta como una biotecnología viable para el manejo adecuado de los residuos orgánicos generados en el Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes; mitigando el impacto ambiental negativo, a la vez que se obtiene un producto con potencial uso como fertilizante orgánico.

PALABRAS CLAVE: *Eisenia foetida*, fertilizante orgánico, lixiviados de lombricomposta, lombricompostaje, residuos orgánicos.



Colaboración

Daniel Gerardo Bencomo Trejo, Margarita Sayuri Sáenz Rodríguez, Martín González Moncada, Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes

ABSTRACT: The main objective of the present study was to determine the effect of organic material on the worm length and time of obtaining worm-bed leachates with fertilizer properties. Four treatments were generated mixing individually with soil: grass cutting, kitchen waste, equine manure and waste leaves (T1, T2, T3, and T4, respectively). The study involved a composting stage for 30 days followed by vermicomposting with *Eisenia foetida* for 60 days. Relative to worm length, in general, gross results indicate a difference in worm length; however, statistical tests made, show evidence that such a difference, at 95% confidence level, is not significant, so any of the treatments used in this study are recommended, for the effects of worm growth. Vermicomposting is presented as a viable biotechnology for the proper management of organic waste generated at Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes; Mitigating the negative environmental impact, obtaining a product with potential use as organic fertilizer.

KEYWORDS: *Eisenia foetida*, organic fertilizer, organic waste, vermicomposting, worm-bed leachates.

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [1], señala que el manejo de los desperdicios sólidos es uno de los grandes desafíos ambientales globales, debido al incremento en la población y la urbanización. En México, se producen grandes cantidades de residuos sólidos urbanos, de los cuales aproximadamente el 50% corresponde a basura del tipo orgánico provenientes de comida, jardines y materiales orgánicos similares [2]. Asimismo, en el Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes (ITS-NCG), se generan cantidades considerables de residuos orgánicos (RO), que son desechados sin obtener beneficio alguno. Debido a la elevada producción de RO, es importante proponer e implemen-

tar alternativas que permitan su adecuada disposición. Cabe señalar que, debido a la gran cantidad de elementos químicos presentes en los RO, principalmente N, P y K [3, 4], estos son de gran interés para su reutilización o reciclaje en la agricultura, horticultura y como mejoradores de suelos [5, 2].

Una manera sustentable de gestionar dicho manejo, se encuentra en el tratamiento y reprocesamiento del desperdicio existente a fin de generar productos aprovechables. El compostaje es una forma económica, efectiva y sustentable para la disposición de desperdicios orgánicos [6, 7]. Sin embargo, el proceso es lento y en ocasiones resulta en una composta inmadura con efectos negativos en suelo y plantas [8, 9]. El compostaje seguido por lombricompostaje son técnicas efectivas comúnmente utilizadas para la biodegradación de desperdicios orgánicos [10]. El lombricompostaje es un proceso que involucra lombrices y microorganismos asociados para la descomposición y estabilización de la materia orgánica [11], acelerando el proceso de biodegradación y disminuyendo efectos fitotóxicos [12, 13]. De entre todas las lombrices, *Eisenia foetida* es la más utilizada debido a su amplio rango de tolerancia a la temperatura, contenido de humedad, pH y metales pesados [14], de igual manera por su gran potencial para la degradación de diferentes tipos de desperdicios orgánicos y a la calidad de lombricomposta que produce [15].

Además, el lombricompostaje es un proceso eficaz para convertir desperdicios orgánicos en valiosos fertilizantes orgánicos [16, 17]. El producto final del proceso de lombricompostaje es la lombricomposta, la cual se puede obtener en dos presentaciones: sólida y líquida. La lombricomposta sólida es llamada lombricomposta o humus de lombriz y ha sido ampliamente estudiada. Por otro lado, la lombricomposta líquida, sobre la cual hay menos trabajo reportado al respecto [18], puede ser obtenida principalmente de dos maneras: a) por preparaciones de té de lombricomposta [19] y b) por lixiviados de lombricomposta [20]. Estos últimos, son un líquido orgánico, obtenido generalmente mediante drenado del riego utilizado durante el proceso de lombricompostaje; compuesto mayormente de material digerido y excretas de la lombriz [21].

El objetivo general de este proyecto fue determinar el efecto de la materia orgánica en el tamaño de lombriz y tiempo de obtención de lixiviados de lombricomposta. Los objetivos específicos fueron (1) diseñar y construir camas o lechos a nivel piloto, para la obtención de lixiviados de lombricomposta y (2) determinar el efecto del tipo de materia orgánica en el tamaño de lombriz y tiempo de obtención de lixiviados con características de fertilizante. Se tiene la hipótesis de que el tipo de materia orgánica afectará tanto el tamaño de la lombriz como el tiempo de obtención de lixiviados. Por otra parte, se espera que el diseño de las camas de lombriz-

compostaje, nos proporcione una eficiente recolección de los lixiviados de lombricomposta.

MATERIAL Y MÉTODOS

Obtención de residuos orgánicos

Los residuos orgánicos de cocina, podas de césped y hojarasca, fueron recolectados en el Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes (ITSNCG). Se utilizó estiércol equino como testigo, el cual se obtuvo de un rancho de la región de Nuevo Casas Grandes.

Obtención de La lombriz

La lombriz utilizada (*Eisenia foetida*) para este estudio fue obtenida de una empresa dedicada a la lombricultura, denominada "Tierra Nueva" en la ciudad de San Ignacio Cerro Gordo, Jalisco.

Diseño y construcción de camas

Para el diseño de las camas o lechos (se utilizará cama de aquí en adelante) se consideraron los materiales a utilizar, observación de camas construidas de manera empírica por lombricultores de la región, clima de la región y la necesidad de recolectar los lixiviados de las camas, entre otros.

El diseño de las camas se realizó empleando el software "SolidWorks". El diseño de dichas camas consta de una estructura de madera que forma las paredes de aproximadamente 2m x 1m x 0.48 m (largo, ancho y alto). La base consta de una plancha de cemento en el fondo de la cama con una pequeña inclinación lateral que lleva a un tubo de polivinilcloruro ranurado, el cual se espera facilite la recolección del lixiviado. Se construyeron un total de cuatro camas. Las camas experimentales se mantienen bajo sombra mediante una estructura metálica cubierta con maya-sombra, para evitar el contacto directo de la lombriz con la luz solar.

Preparación del experimento

Se llevó a cabo un experimento para determinar el efecto que tiene la materia orgánica en propiedades físicas de la lombriz y en el tiempo de obtención de lixiviados. Los experimentos fueron llevados a cabo en las 4 camas construidas. Los residuos orgánicos seleccionados para este experimento fueron: desperdicios de cocina, podas de césped, hojarasca y estiércol equino. Las mezclas de composteo consistieron en los diferentes tipos de desechos orgánicos mezclados individualmente con suelo en una relación 1:1 [en peso seco]. Los tratamientos generados en el experimento fueron los siguientes: (T1) poda de césped/suelo; (T2) desperdicio de cocina/suelo; (T3) Estiércol equino/suelo; y (T4) hojarasca/suelo. Un total de 10 kg de mezcla (5 kg de desechos más 5 kg suelo) fueron composteados al aire libre sobre el suelo en forma de surcos de aproximadamente 3 m de largo por 0.8 m de ancho, con riegos cada tercer día. Después de 30 días de composteo, fase termofílica, las diferentes mezclas fueron introducidas, por separado, en las camas para iniciar con el

proceso mesofílico de lombricompostaje. Luego, en cada cama se incorporaron un total de 6 kg de pie de cría de aproximadamente 3 – 4 cm de largo. La duración del experimento fue de 60 días a partir de que se sembró la lombriz.

El agua utilizada fue agua proveniente de la planta tratadora de agua, de la junta municipal de agua y saneamiento (JMAS) de Nuevo Casas Grandes, Chihuahua. Para mantener la humedad se llevaron a cabo ciclos de riego de 2 minutos cada tercer día, empleando una manguera conectada a la red morada.

Los diferentes lixiviados obtenidos del experimento se fueron depositando en contenedores de plástico evitando el contacto con la luz, ya que algunos componentes del fertilizante orgánico son foto-sensibles.

Evaluación física de la lombriz

Se determinó el efecto de la materia orgánica en la lombriz mediante una evaluación física de la misma. La evaluación se realizó al final de las semanas 1, 2, 3 y 4 del proceso de lombricompostaje. Se evaluaron las propiedades físicas como: tamaño, cantidad y espesor de lombriz. Para llevar a cabo la evaluación física de la lombriz, se consideró lo siguiente: para identificar el tamaño de lombriz, se obtuvo un promedio de una muestra aleatoria de 50 lombrices por cama; Para el espesor se generó una escala con las siguientes especificaciones: lombriz delgada (1.5-3mm), mediana (3.0-5.0mm) y gruesa (5.0 -7.0 mm); en cuanto a cantidad, sólo se observó si hubo aumento o disminución, por lo que únicamente se mencionó si hubo poco, regular o abundante cantidad de reproducción de lombriz.

Tiempo de obtención de lixiviados

Para determinar el tiempo en que se obtenía lixiviado de lombricomposta con propiedades de fertilizante orgánico, se tomó en cuenta lo siguiente. Para considerar fertilizante a un lixiviado de lombricomposta, debe tener un color y olor característicos (color negro-rojizo y olor a tierra húmeda, respectivamente). Por lo tanto, se contaron los días (a partir de la incorporación de lombriz) en que cada cama arrojó por primera vez, lixiviados con características de fertilizante. En esta medición del tiempo en días, se consideró el tiempo de obtención de lixiviados. Cuando se obtenían lixiviados con olor a pudrición y color no característico, no se consideraban lixiviados y se ciclaban en sus camas correspondientes.

Análisis estadístico

Para evaluar la característica “tamaño de lombriz”, se realizó un Análisis de Varianza de una vía (ANOVA One-way), así como pruebas de Normalidad para cada uno de los grupos, pruebas de diferencia de medias de Fisher y Dunnet, además de la gráfica de Intervalos para el resultado.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Diseño y construcción de camas

El diseño de las camas se realizó en el programa SolidWorks, el cual se muestra en la Figura 1.

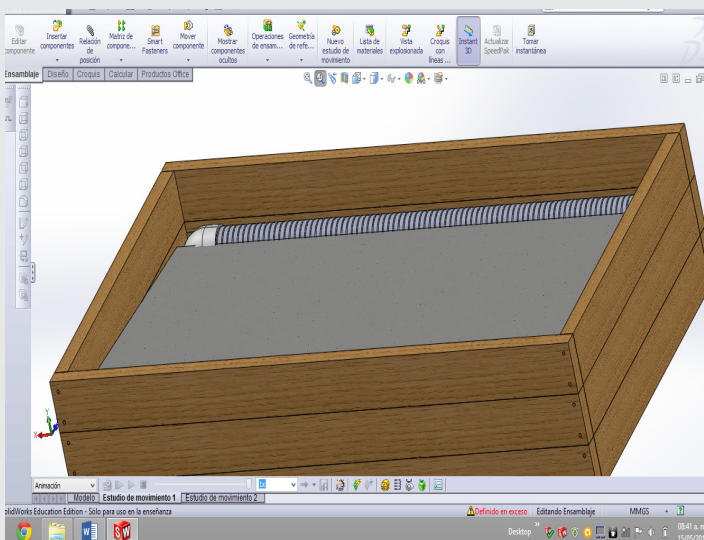


Figura 1. Diseño de cama para obtención de lixiviados de lombricomposta en SolidWorks.

Se construyeron un total de 4 camas para lombricompostaje. Las camas construidas dieron un resultado favorable en cuanto a la recolección de lixiviados de lombricomposta. Una de las camas construida se muestra en la Figura 2, donde se puede observar el tubo de PVC recolector de lixiviados y una ligera inclinación que cae al tubo recolector.



Figura 2. Cama construida para la recolección de lixiviados. Tubo recolector (flecha normal) y ligera inclinación al tubo recolector (flecha con inicio ovalado).

Evaluación física de la lombriz

En la Tabla 1. Se muestran los resultados de la evaluación física de la lombriz en la semana 1, 2, 3 y 4 del proceso de lombricompostaje, de los 4 tratamientos, con el fin de determinar el efecto de los diferentes residuos orgánicos sobre la lombriz.

Tabla 1. Datos de la evaluación física de la lombriz.

	T1	T2	T3	T4
Semana 1				
Cantidad	P	P	P	P
Espesor	D	D	D	D
Tamaño	4.98	4.9	4.92	4.9
Semana 2				
Cantidad	P	R	R	P
Espesor	D	M	M	D
Tamaño	6.98	7.02	8	7.02
Semana 3				
Cantidad	R	Ab	Ab	R
Espesor	M	G	G	M
Tamaño	7	9	9	7.02
Semana 4				
Cantidad	Ab	Ab	Ab	Ab
Espesor	M	G	G	M
Tamaño	7.98	10	10.2	7.94
$\bar{X}$ Tamaño	6.73	7.73	8.03	6.72
s Tamaño	1.260	2.257	2.260	1.289

NOTA: P = poca, R = regular, Ab = abundante, D = delgada, M = Mediana, G = grande, tamaño en cm.

Como se observa en la Tabla 1, durante la cuarta semana todos los tratamientos mostraron una cantidad de lombriz abundante. Respecto a espesor de la lombriz, el T1 y T4, obtuvieron el menor espesor, en comparación con los tratamientos T2 y T3, debido a que el T3, estiércol equino es el testigo, el T2, desperdicio de cocina, dio el valor más alto de espesor, de entre los desperdicios generados en el ITSNGC. El parámetro tamaño de lombriz, muestra un comportamiento similar que el anterior (espesor), debido a que las camas 1 y 4 obtuvieron el menor tamaño de lombriz en comparación con las camas 2 y 3, en las cuales se observó un tamaño de lombriz promedio de 10 cm.

Con el registro de la medición semanal del tamaño de lombriz. Primeramente, se realizó una prueba de normalidad para cada tratamiento, como se muestra en la Figura 3, efectuándose después un ANOVA de una vía, como se muestra en la Figura 3.

Como puede apreciarse en la Figura 3, los datos correspondientes a cada tratamiento cumplen con el requisito de normalidad para la realización del ANOVA, ya que cada uno de ellos arroja un valor $P > 0.05$.

En la Figura 4, se muestra el ANOVA, en el que se obtuvo un valor $p = 0.6610$, esto indica que no hay diferencia estadísticamente significativa, a un nivel de confianza del 95%, entre los tratamientos.

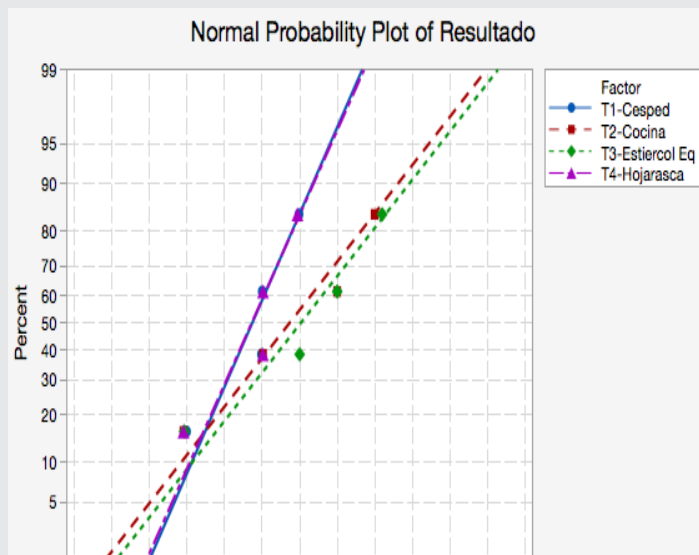


Figura 3: Prueba de Normalidad de Anderson – Darling para cada tratamiento.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Materia Organica	3	5.4935	1.83116	0.54	0.6610
Error	12	40.3427	3.36189		
Total	15	45.8362			

Figura 4: Análisis de Varianza de una vía para la materia orgánica.

También se realizó una comparación de medias de Fisher a un 95% de confianza (ver Figura 5), en este proceso se compararon todas las combinaciones posibles de pares de medias, para determinar si alguno de los tratamientos fue significativamente mejor a los otros.

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Materia Organica	N	Mean	Grouping
T3-Estiercol Eq	4	8.030	A
T2-Cocina	4	7.730	A
T1-Césped	4	6.7350	A
T4-Hojarasca	4	6.7200	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
T2-Cocina-T1-Césped	0.995	1.297	(-1.830, 3.820)	0.77	0.4577
T3-Estiercol Eq-T1-Césped	1.295	1.297	(-1.530, 4.120)	1.00	0.3376
T4-Hojarasca-T1-Césped	-0.015	1.297	(-2.840, 2.810)	-0.01	0.9910
T3-Estiercol Eq-T2-Cocina	0.300	1.297	(-2.525, 3.125)	0.23	0.8209
T4-Hojarasca-T2-Cocina	-1.010	1.297	(-3.835, 1.815)	-0.78	0.4511
T4-Hojarasca-T3-Estiercol Eq	-1.310	1.297	(-4.135, 1.515)	-1.01	0.3322

Simultaneous confidence level = 81.57%

Figura 5: Comparación de medias de Fisher

Como se muestra en la Figura 5, en todos los casos se obtuvo un valor $P > 0.05$ (o que todas pertenecen al Grupo A), lo cual indica que no hay diferencia estadísticamente significativa en el tamaño de la lombriz con cada uno de los tratamientos.

Por último, se realizó la prueba de Dunnett, mostrada en la Figura 6.

Dunnett Simultaneous Tests for Level Mean - Control Mean

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
T1-Césped-T3-Estiercol Eq	-1.295	1.297	(-4.773, 2.183)	-1.00	0.6386
T2-Cocina-T3-Estiercol Eq	-0.300	1.297	(-3.778, 3.178)	-0.23	0.9910
T4-Hojarasca-T3-Estiercol Eq	-1.310	1.297	(-4.788, 2.168)	-1.01	0.6310

Individual confidence level = 98.01%

Figura 6: Comparación de tratamientos Vs testigo

En esta prueba se compara cada uno de los tratamientos contra el testigo (Estiercol Equino), obteniéndose en cada comparación valores $P > 0.05$, lo que nos indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos y el testigo.

Tiempo de obtención de lixiviados

Se midió, considerando el tiempo en días que llevó para que se arrojará por primera vez un lixiviado con color característico de un fertilizante orgánico. Los resultados del tiempo en que se obtuvo por primera vez lixiviado en cada una de las cuatro camas, se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Tiempo de obtención de lixiviados.

Tratamiento	Color de lixiviado obtenido (característico de fertilizante)	Tiempo en obtener el primer lixiviado
T1; cama 1	Negro-rojizo	40 días
T2; cama 2	Negro-amarillento	60 días
T3; cama 3	Negro-rojizo	30 días
T4; cama 4	Negro-amarillento	68 días

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 2, se determinó que la cama 3 obtuvo la mejor productividad de fertilizante orgánico, ya que se obtuvo en un menor tiempo (30 días); este resultado era esperado por ser nuestro testigo. El tratamiento de la cama 1, mostró un tiempo de productividad de 40 días. Por lo anterior, se puede decir que la cama 1, en términos de tiempo de productividad, fue el mejor tratamiento para la obtención de fertilizante orgánico. Caso contrario, se puede mencionar que el T2 y T4 arrojan lixiviados de lombricomposta en un mayor tiempo. Esto puede deberse al tamaño de partícula de la materia orgánica, ya que poda de césped se proporcionó triturada por la acción de la máquina de podar, mientras que desperdicio de cocina y hojarasca son generados en tamaños más grandes de partícula. Esto es congruente con algunos estudios donde partículas de materia orgánica entre 1 – 2 mm es óptima para el proceso de lombricompostaje [22].

CONCLUSIONES

El proceso de compostaje seguido por lombricompostaje, proporcionan una efectiva biodegradación de los residuos orgánicos generados en el ITSNGC. La evaluación física de la lombriz, reveló que desperdicio de cocina (T2), arrojó el valor bruto más alto de tamaño de lombriz, cercano al testigo, por lo que se esperaba que se obtuviera lixiviados en un menor tiempo. Sin embargo, se observó que poda de césped (T1) generó lixiviados en el menor tiempo, por lo tanto, en términos de productividad, poda de césped es el residuo orgánico más recomendado para producir lixiviados de lombricomposta en el ITSNGC, no obstante, cualquiera de los tratamientos utilizados en este proyecto, muestra el mismo efecto en el crecimiento de la lombriz. Con base en lo anterior, se puede concluir que tamaño y espesor de lombriz, no es un factor determinante en el tiempo de producción de lixiviados.

RECOMENDACIONES

Como siguiente paso, se recomienda hacer mezclas de los diferentes desperdicios, para determinar la mejor. Para trabajos posteriores, se recomienda hacer estudios de optimización de parámetros para el proceso de lombricompostaje en el ITSNGC; con base en lo anterior, proponer sistemas de producción en masa de lombricomposta a partir de residuos orgánicos generados en el ITSNGC. Estudios de nutrientes agrícolas de los lixiviados son requeridos, para determinar su posible uso como fertilizante en áreas verdes del ITSNGC; posteriormente transferirlo a los sectores de interés de la región, como la agricultura.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes, por el apoyo brindado para el desarrollo de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Global Food Losses and Food Waste—Extent, Causes and Prevention*. Rome. (2011). Consultado el día 14 de octubre de 2016, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), página electrónica: <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>.
- [2] *Generación estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo*. (2013). Consultado el día 23 de septiembre de 2016, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), página electrónica: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RS-M01_03&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce.
- [3] *Jeyabal, A., Y Kuppuswamy, G. (2001). Recycling of organic wastes for the production of ver-*

micompost and its response in rice-legume cropping system and soil fertility. *European Journal of Agronomy*, 15(3), 153-170.

[4] Tejada, M., Gonzalez, J.L., Hernandez, M.T., Y Garcia, C. (2008). Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes. *Bioresource Technology*, 99(14), 6228-6232.

[5] Gutiérrez-Miceli, F. A., Santiago-Borraz, J., Montes Molina, J. A., Nafate, C. C., Abud-Archila, M., Oliva Llaven, M. A., Rincón-Rosales, R., Y Dendooven, L. (2007). Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technology*, 98(15), 2781-2786.

[6] Nair, J., Sekiozoic V., Y Anda M. (2006). Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. *Bioresource Technology*, 97(16), 2091-2095.

[7] Ravindran, B., y Mnkeni, P. (2016). Bio-optimization of the carbón-to-nitrogen ratio for efficient vermicomposting of chicken manure and waste paper using *Eisenia fetida*. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(17), 16965-16976.

[8] Bernal, M.P., Alburquerque, J.A., Y Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444-5453.

[9] Ravindran, B., Wong, J.W.C., Selvam A., Y Sekaran, G. (2016). Influence of microbial diversity and plant growth hormones in compost and vermicompost from fermented tannery waste. *Biore-source Technology*, 217, 200-204.

[10] Nigussie A., Kuyper T.W., Bruun S., Y de Neergaard, A. (2016). Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting. *Journal of Cleaner Production*, 139, 429-439.

[11] Lim, S.L., Lee, L.H., Y Wu, T.Y. (2015). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 111(Part A), 262-278.

[12] Brewer, L.J. Y Sullivan, D.M. (2003). Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings. *Compost Science & Utilization*, 11(2), 96-112.

[13] Mupondi, L.T., Mnkeni, P.N.S., Y Muchaonyerwa, P. (2010). Effectiveness of combined thermophilic composting and vermicomposting on biodegradation and sanitization of mixtures of dairy manure and waste paper. *African Journal of Biotechnology*, 9(30), 4754-4763.

[14] Ravindran, B., Dinesh, S.L., John Kennedy, L., Y Sekaran, G. (2008). Vermicomposting of Solid Waste Generated from Leather Industries Using Epigeic Earthworm *Eisenia foetida*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 151(2), 480-488.

[15] Das, D., Bhattacharyya, P., Ghosh, Y B.C., Banik P. (2016). Bioconversion and biodynamics of *Eisenia foetida* in different organic wastes through microbially enriched vermicomposting technologies. *Ecological Engineering*, 86, 154-161.

[16] Nagavallemma, K. P., Wani, S. P., Stephane Lacroix, Padmaja V. V., Vineela, C., Babu Rao, M., Y Sahrawat, K.L. (2004). Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer. *Global Theme on Agrosystems (Report no. 8)*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, Andhra Pradesh, India.

[17] Punde, B. D., Y Ganorkar, R. A. (2012). Vermicomposting-Recycling waste into valuable organic fertilizer. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(3), 2342-2347.

[18] Pant, A., Radovich, T. J. K., Hue, N. V., Y Arancon, N. Q. (2011). Effects of Vermicompost Tea (Aqueous Extract) on Pak Choi Yield, Quality, and on Soil Biological Properties. *Compost Science & Utilization*, 19(4), 279-292.

[19] Edwards, C. A., Arancon, N. Q., Y Greytak, S. (2006). Effects of vermicompost teas on plant growth and disease. *Biocycle*, 47(5), 28-29.

[20] Gutiérrez-Miceli, F. A., Oliva Llaven, M. A., Mendoza Nazar, P., Ruíz Sesma, B., Álvarez-Solís, J. D., Y Dendooven L. (2011). Optimization of vermicompost and worm-bed leachate for the organic cultivation of radish. *Journal of Plant Nutrition*. 34(11), 1642-1653.

[21] Chinsamy, M., Kulkarni, M. G., Y Van Staden J. (2013). Garden-waste-vermicompost leachate alleviates salinity stress in tomato seedlings by mobilizing salt tolerance mechanisms. *Plant Growth Regulation*, 71(1), 41-47.

[22] Pandit, N. P., Y Maheshwari, S. K. (2012). Optimization of vermicomposting technique for sugarcane waste management by using *Eisenia fetida*. *International Journal of Biosciences*, 2(10), 143-155.



Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Predicción de heladas en cultivos usando redes neuronales en la zona de Salvatierra Guanajuato



Colaboración

Villaseñor Aguilar Marcos Jesús, Montecillo Puente Francisco Javier, Sámano Abone Obed Noé, Zuñiga Maldonado Walter Manuel, López Enriquez Renato, Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra

RESUMEN: Un sistema para la predicción de heladas para la región agrícola de Salvatierra, Guanajuato es presentado en este artículo. Este sistema se basa en una red neuronal que es entrenada usando algunas variables atmosféricas para la predicción de temperaturas. Luego, estas temperaturas son utilizadas para determinar posibles riesgos de daños a cultivos en la región. Particularmente, el trabajo se enfoca a especies comunmente cultivadas en la región, como son: ajo, lechuga, cebolla, col, coliflor, brócoli, frijoles, pepino, calabaza y zanahoria. La temperatura es utilizada como factor de prevención de riesgo, ya que en función de heladas es una de las variables que más dañan los cultivos. Los datos de entrenamiento para la red neuronal son obtenidos de tres estaciones meteorológicas que son parte del sistema del monitoreo meteorológico de la SAGARPA. El sistema es implementado en MATLAB para modelar la red neuronal y LABVIEW para el sistema de predicción de heladas en los cultivos. La contribución principal de este artículo es el uso de técnicas de inteligencia artificial junto con registros meteorológicos a la agricultura, este tipo de agricultura es llamada actualmente agricultura precisión.

PALABRAS CLAVE: agricultura, red neuronal, variables atmosféricas.

ABSTRACT: This article outlines the prediction of temperatures for the agricultural region in Salvatierra, Guanajuato. Temperature is one of the major factors that affect crop production. The temperatures are predicted from a neural network trained with the following set of data: precipitation, minimum, average and maximum atmospheric temperature, average and maximum wind velocities, average direction of the wind, maximum solar radiation, relative humidity, evapotranspiration and potential evaporation. These temperatures are then used to determine possible risks in crop production in the region. Temperature predictions were carried out for the following produce: garlic, onions, lettuce, col, cauliflower, broccoli, cucumber, beans, zucchini and carrot. Raw data for training the neural network was obtained from three different meteorological stations within the SAGARPA Meteorological monitoring system. The neural network was modeled and implemented in MATLAB while the predictions of the temperatures in LABVIEW. This article contributes to the use of Artificial Intelligence (AI) techniques in agricultural precision.

KEYWORDS: agricultural, neuronal network, atmospheric variable.

INTRODUCCIÓN

Distintas técnicas se han empleado para el modelado de las variables climáticas. dichas variables permiten predecir heladas, sequías, lluvias en la distintas regiones. La importancia de predecir de manera oportuna las variables beneficia al sector agrícola.

En el sector agrícola las heladas provocan grandes pérdidas económicas en los distintos cultivos, dependiendo de su intensidad, momento de ocurrencia y fenología del cultivo, es decir, la etapa de desarrollo. De acuerdo a los factores agroclimáticos de la

región, las heladas son el principal factor que causa pérdidas económicas a la producción agrícola.

Es de gran relevancia en el proceso agrícola tener conocimiento del comportamiento de los parámetros climáticos como radiación, temperatura, humedad relativa, precipitaciones, entre otros. Estos parámetros son utilizados para la toma de decisiones en el sistema agropecuario [1]. Grandes variaciones en estos parámetros ocasionan problemas en el sector, sin embargo, logrando conocer de manera anticipada el comportamiento de estos permite solucionarlos y obtener una agricultura rentable. Por ejemplo, los invernaderos tratan de controlar algunas de estas variables para que exista producción continua de algunas especies. En la producción abierta es complicado lograr esto, en particular, realizar previsiones para la lucha activa frente al fenómeno de helada es un gran reto [1][3].

Se han desarrollado trabajos sobre las predicciones de variables climáticas. Uno de los trabajos de referencias es el desarrollado por Ovando [5]. El trabajo consistía en modelo en una Red Neuronal Artificial (RNA) del tipo Backprogration para predecir días helados. El modelo emplea la temperatura, humedad relativa, nubosidad, dirección y velocidad del viento. Riabani [9] desarrolló una máquina de aprendizaje. Conjuntamente utilizó un algoritmo propuesto por Huang para una Red Neuronal Artificial (RNA) monocapa con propagación hacia adelante. La RNA se enfocaba en la predicción temprana de heladas de la Cochabamba Bolivia tomando datos de 6 estaciones meteorológicas. González [8], propuso un modelo de predicción evapotranspiración basado en una RNA feed-forward backpropagation. El modelo constaba con cuatro neuronas en la capa intermedia y una neurona en la capa de salida. Para lograr predecir la evapotranspiración emplea la temperatura del aire, la radiación solar, la humedad relativa y la velocidad del viento.

Para la prevención de heladas existen técnicas que analizando las variables climáticas permiten predecir el comportamiento y llegada de estas. Entre las técnicas para este propósito existen tales como estadística inferencial, modelos caóticos, técnicas de inteligencias artificial entre otros,[1][5]. Las técnicas de la inteligencia artificial han logrado ser de gran utilidad para la predicción de modelos, identificación de patrones, clasificación e identificación de objetos, por mencionar algunos casos, [2]. En este trabajo se utiliza una técnica ampliamente conocida llamada redes neuronales para la predicción de clima.

Las redes neuronales computacionales son modelos simplificados de los biológicos. Estos modelos son conocidos como Redes Neuronales Artificiales (RNA). Las RNA tratan de emular las capacidades del cerebro para resolver ciertos problemas de visión, reconocimientos de patrones o control. En la Figura 1 se puede observar la representación esquemática de una RNA también llamada neuro-computadora, red conexionista o procesador paralelo distribuido. La definición de las RNA según Haykin es

un procesador paralelo distribuido y masivamente interconectados que almacena conocimiento experimental [4]. Las RNA presentan las características siguientes: forma de adquirir el conocimiento experimental y los pesos de interconexión (sinapsis) que varían constantemente [4] [7].

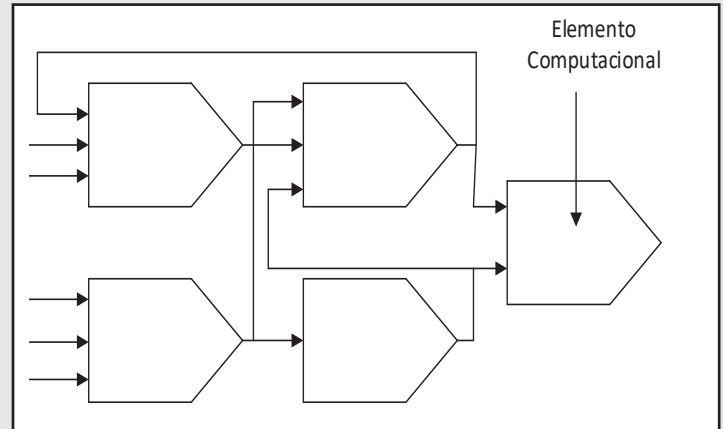


Figura 1.- Representación de una RNA

Las RNA ofrecen las siguientes ventajas: a) No linealidad, el procesador neuronal es básicamente no lineal y, por consecuencia, la RNA también. Los modelos climáticos son no lineales y algunas llegan a ser caóticos. b) Transformación entrada-salida, el proceso de aprendizaje consiste básicamente en presentar a la red un ejemplo y modificar los pesos sinápticos de acuerdo a su respuesta. Esto permite adaptarse al comportamiento de muchos sistemas, por ejemplo de predicción de clima local. c) Adaptabilidad, La red tiene la capacidad de adaptar los parámetros, aun en tiempo real. d) Tolerancia a fallas, debido a la interconexión masiva, la falla de un procesador no altera permanentemente la operación. e) Uniformidad en el análisis y diseño. Esto permite garantizar características precisas de funcionamiento. Las RNA utilizan el perceptrón que es el modelo de neurona más simple, una representación del perceptrón se muestra en la Figura 2.

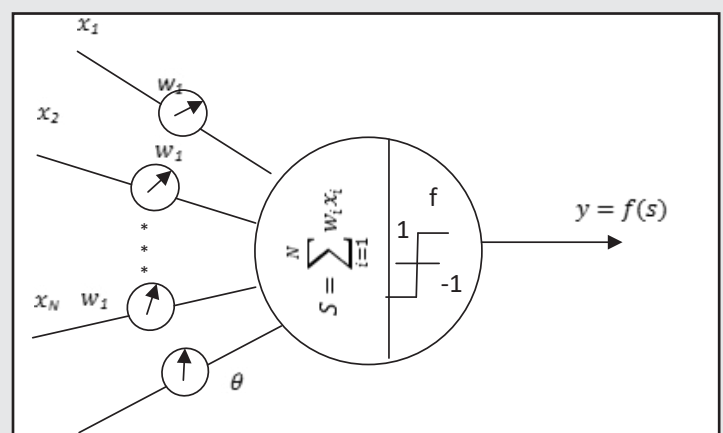


Figura 2. Modelo del perceptrón: x_i señales de entrada, w_i pesos, S podenración del perceptron, f función de activación, [17][18].

Las RNA se distinguen por tener al menos una o varias capas ocultas como se muestra en la Figura 3. Estas redes presentan la ventaja de resolver problemas complejos, tales como sistemas de predicción, modelos no lineales [18]. Las redes neuronales requieren de entrenamiento supervisado o no supervisado que consiste en utilizar datos de entrada y salida que definen el comportamiento del sistema. Una vez entrenada la red neuronal solo se evalúa la red y esta entrega las salidas correspondientes del sistema para la cual fue entrenada.

Las diferentes especies tienen rangos de temperatura bien definidos para que estas no se vean afectadas, sea en su crecimiento o en su daño total. Un sistema de predicción de riesgo de especies en agricultura está compuesto por una RNA y la toma de decisión de riesgo de alguna especie particular.

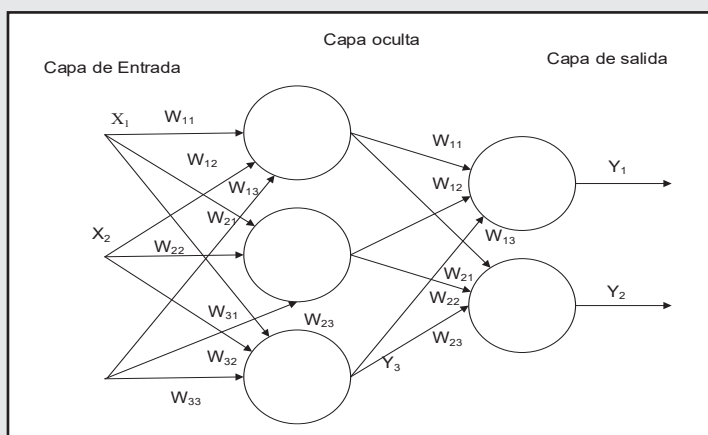


Figura 3. Arquitectura de una red neuronal multicapa

La contribución principal en este trabajo es el uso de variables meteorológicas para entrenar una red neuronal en la predicción de heladas en la zona de Salvatierra. Particularmente para cultivos de ajo, lechuga, cebolla, col, coliflor, brócoli, frijoles, pepino, calabaza y zanahoria. Además, del uso de las estaciones meteorológicas de monitoreo en tiempo real de la SAGARPA en la zona y la toma de decisiones sobre el riesgo en cultivos.

El contenido del artículo se organiza como sigue, en las siguientes secciones se muestran la metodología empleada y los materiales empleados. Además, se presenta la validación de las técnicas utilizadas, el sistema de predicción y toma de decisiones de riesgo, finalmente se presentan la discusión y conclusiones finales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se presenta la metodología empleada y los materiales para la implementación del sistema de predicción de heladas. Un diagrama de bloques de las diferentes etapas del sistema se muestra en la Figura 4.

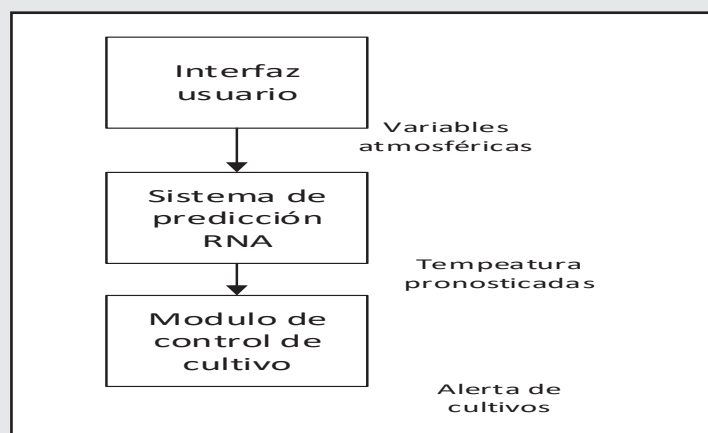


Figura 4. Diagrama de bloques del sistema: a) Interfaz de usuario desarrollada en Matlab®, b) Sistema de predicción desarrollada en Matlab®, c) Módulo de control de cultivo desarrollado en Labview®.

El primer bloque es la interface de usuario, es el medio a través del cual se proporcionan los valores de las variables meteorológicas: precipitación total, velocidad del viento máxima, dirección de la velocidad máxima del viento, velocidad promedio del viento, dirección promedio del viento, radiación global, humedad relativa, evapotranspiración de referencia, evaporación potencial. El segundo bloque es el sistema de predicción RNA de temperaturas, es un módulo que se utiliza para pronosticar o predecir las condiciones futuras de temperatura utilizando las entradas de la interfaz de usuario. Por último, el tercer bloque es una aplicación en Labview® que genera alertas. Estas permiten determinar que cultivos se pueden dañar de acuerdo a la predicción generada por la red neuronal.

1. RECOPIACIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS

Los datos de las variables meteorológicas para el entrenamiento de la red neuronal fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas; El Sabino, El Cubo y Huatzindeo. Su ubicación en Salvatierra se muestran en la Figura 5.

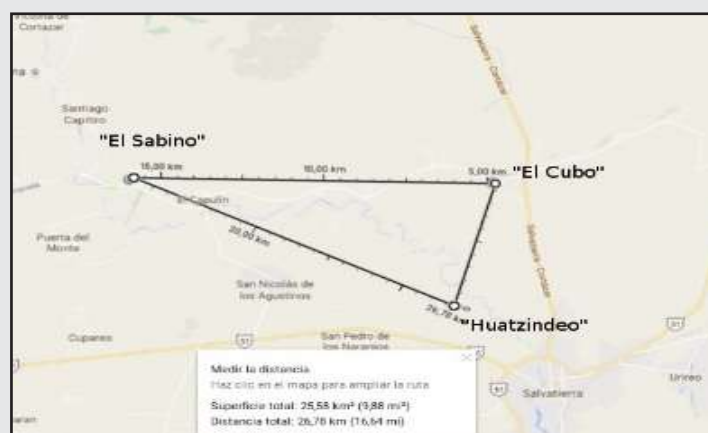


Figura 5. Ubicación de las estaciones meteorológicas

En conjunto de datos entrenamiento para la red neuronal se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de los años 2006 al 2015. El pre-procesamiento de estos sigue las etapas mostradas en la Figura 6.

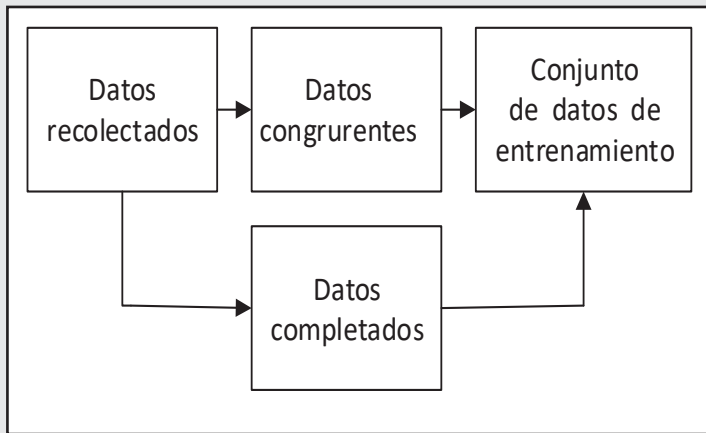


Figura 6. Pre-procesamiento de datos: a) Datos recolectados b) Datos congruentes, c) Datos completados, d) Conjuntos de datos de entrenamiento.

El primer bloque consiste en la recolección de datos de las estaciones meteorológicas; El Sabino; El Cubo y Huatzindeo. El bloque de datos congruentes consiste en revisar que tuvieran la mayor cantidad de variables de las mediciones requeridas, es decir, que no faltaran registros. El bloque de datos completados, consiste en concluir los registros faltantes. Estos se completaron con la información proporcionada por la estación meteorológica del INIFAP ubicada en Celaya, Gto. A una distancia de 50 Km a Salvatierra. El bloque final, consiste en formar el conjunto de entrenamiento con registros completados y escalados a un rango de $(-1, 1)$. El escalamiento es requerido ya que facilita el aprendizaje de la red. Los datos registrados, se dividen en dos partes, los datos de entrada y datos de salida a la red. Los datos de entrada corresponden a las variables de un día particular y los datos de salidas consisten en las temperaturas registradas dos días después.

2. ENTRENAMIENTO DE RED NEURONAL

En esta sección se presenta la metodología empleada para el desarrollo de la red neuronal. Además, se analiza la respuesta del entrenamiento de la red neuronal variando algunas de las características, principalmente la cantidad de neuronas en la capa oculta. Lo anterior con la finalidad de elegir la mejor configuración de red posible.

El esquema de entrenamiento utilizado, se muestra en la Figura 7. La entrada u del modelo es comparada con la salida $\tilde{u}$ de la RNA. Con el error obtenido por la resta entre $\tilde{u}$ y y se realiza el ajuste de los pesos de todas las capas de la RNA mediante el empleo del algoritmo de aprendizaje PROBABILISTIC [7]. El ajuste de los pesos se realiza de manera iterativa con todo el conjunto de

datos de entrenamiento para que el modelo de predicción tenga una adecuada respuesta. El aprendizaje de la red depende del conjunto de entrenamiento, entre mayor sea el conjunto de entrenamiento, la red tendrá una mejor respuesta, es decir, su comportamiento se asemejará en mayor medida al modelo real.

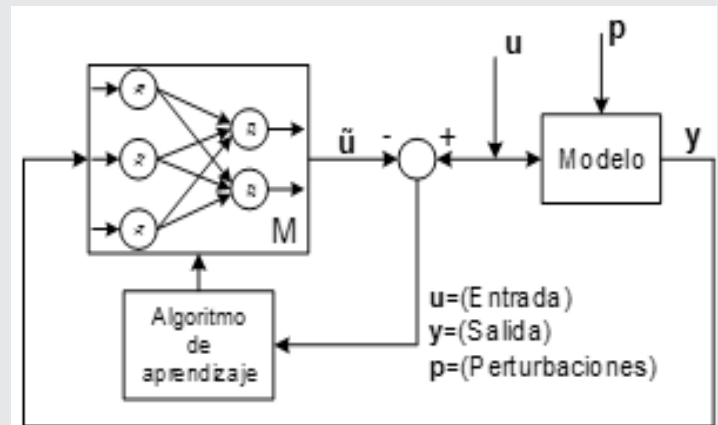


Figura 7. Esquema de entrenamiento del modelo.

La importancia de la RNA backpropagation consiste en su capacidad de autoadaptar los pesos de las neuronas de las capas intermedias para aprender la relación que existe entre un conjunto de patrones dados como ejemplo y sus salidas correspondientes [5].

En la Tabla 1, se muestran los resultados obtenidos del entrenamiento de las cuatro propuestas de modelos de predicción de heladas usando RNA. Para el modelo de predicción la propuesta 2 es la que tiene el menor error de los modelos. La RNA de 50 neuronas en la capa oculta 1 y 2 será empleada para el desarrollo del sistema de predicción de heladas. Esta RNA presenta el error mínimo de 0.00145 en el entrenamiento. Para este propósito se empleo el Toolbox de redes neuronales de Matlab.

Tabla 1. Redes neuronales entrenadas

Red	Entradas	Capa oculta 1	Capa oculta 2	Salida	Error
Modelo 1	24	100	-	3	0.00340
Modelo 2	24	50	50	3	0.00145
Modelo 3	24	25	25	3	0.00555
Modelo 3	24	35	35	3	0.00338

Los resultados del entrenamiento se presentan en el histograma de la Figura 8, se muestra el error entre el valor de salida de la RED y el valor real. El eje horizontal muestra intervalos de error. El eje vertical indica cuantos registros de prueba caen en un intervalo error específico. La canti-

dad de datos de entrenamiento de entrada y salidas fueron 3096, con dimensionalidad 7 y 3, respectivamente.

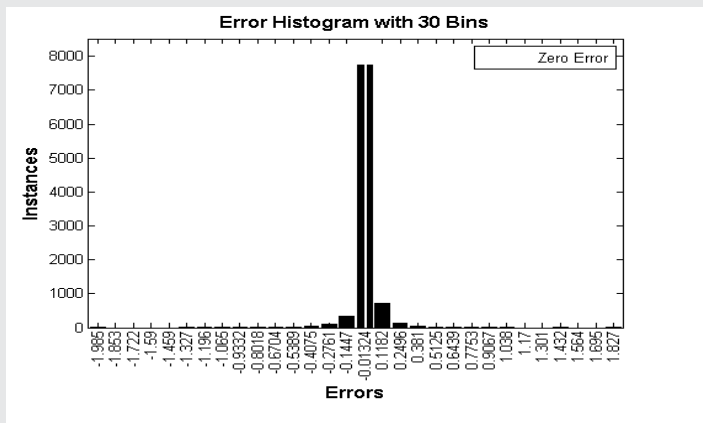


Figura 8. Histograma de error de entrenamiento de la RNA de predicción de heladas. Este histograma muestra los errores de los tres datos de salida juntos, 3x 3096 datos.

3. VALIDACIÓN DE RED NEURONAL

Registros de los meses Enero a Mayo del 2016, corresponden a 150 registros de todas las variables involucradas, fueron utilizados para la validación del entrenamiento de la RNA. Después de introducir estos datos a la red entrenada se obtuvo un error cuadrático medio de 0.15 aproximadamente. El histograma de error para estos datos se muestran en la Figura 9.

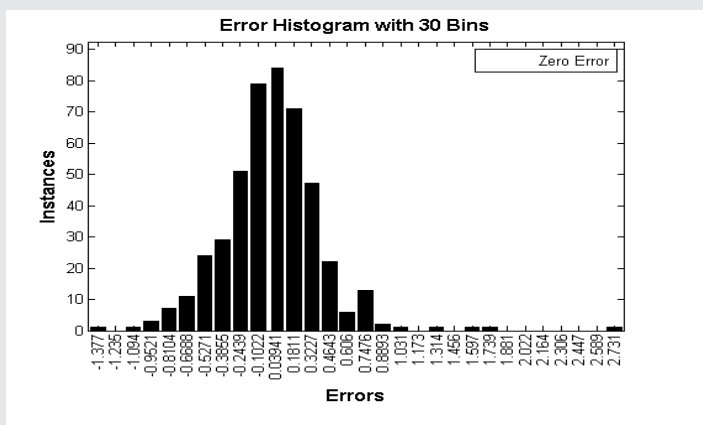


Figura 9. Histograma de error de validación de la RNA de predicción de heladas usando datos del 2016 del periodo Enero-Mayo.

Las gráficas de predicción del sistema con los datos antes mencionados se presentan en la Figura 10. Las gráficas corresponden a las tres temperaturas (Temperatura máxima, Temperatura mínima, Temperatura media); se puede observar que la predicciones siguen a las temperaturas reales. Sin embargo, también se pueden observar variaciones pronunciadas en algunos puntos, estos se podrían reducir entrenando la red de manera continua utilizando los datos recientes de las estaciones meteorológicas.

1. INTERFAZ DE PREDICCIÓN DE HELADA

El sistema para predicción de heladas utiliza una aplicación en Labview que permite identificar el estado al que se encontraran expuestos los cultivos. Para este fin, las variables meteorológicas actuales son ingresadas a la RNA que hace una predicción de dos días de anticipación de las temperaturas máximas, mínimas y medias.

Estas temperaturas son ingresadas al módulo de control de cultivo, que emite una alerta sobre las posibles heladas que pueden perjudicar los diferentes cultivos. En la Tabla 2 se muestran las temperaturas críticas con las que se pueden dañar un tipo de cultivo particular.

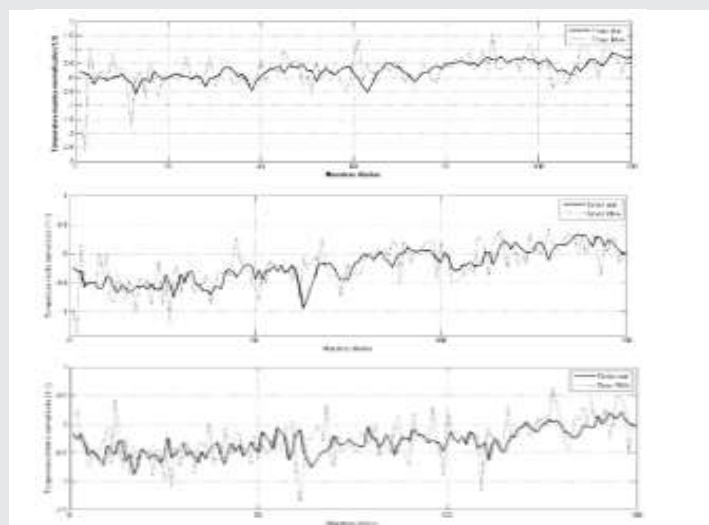


Figura 10. Gráficas comparativas de la temperatura real contra la temperatura RNA. La línea continua es la temperatura real y la línea punteada es la temperatura pronosticada. a) La grafica superior representa la temperatura máxima, b) La grafica intermedia representa la temperatura mínima, c) La grafica inferior representa la temperatura máxima.

La interfaz tiene como objetivo ingresar los parámetros de la Tabla 2 con las temperaturas críticas para cada cultivo. y con los rangos de temperatura específicos para cada cultivo. Además, determina si el cultivo se encuentra en la fase detención vegetal, germinación, floración, desarrollo y maduración. A continuación se muestra la Figura 11 y en la que se muestra el icono del SubVi (aplicación en LabView), el panel frontal y el diagrama de programación gráfica que contiene.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El modelado de fenómenos meteorológicos se manifiesta como un proceso no lineal por la involucrar gran cantidad de variables dependientes, cuya función de ellas no se conocen. La aplicación de modelos no lineales hace factible el uso de las RNA [5]. A diferencia de modelos tradiciones que la estadística.

Los resultados obtenidos muestran que se tiene un sistema de predicción bueno considerando que el clima es un sistema caótico. Para tener resultados reales y actuales del sistema completo, sería conveniente supervisar los diferentes cultivos durante una ventana de temporal a partir de ahora e ir actualizando el sistema de predicción con los nuevos registros que obtengan.

Tabla 2. Rango de temperatura de cultivos proporcionadas por Infoagro.

Cultivo	Temperatura de daños de cultivo C°		Temperaturas óptimas de desarrollo C°	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Ajo	-1	40	10	34
Brócoli	2	30	20	24
Calabacín	0	35	25	30
Cebolla	-1	25	16	22
Col	8	30	18	20
Coliflor	0	27	15	22
Frijol	2	35	20	30
Lechuga	-6	30	14	20
Pepino	1	30	20	30
Zanahoria	-5	28	16	18

En la siguiente tabla se presenta un análisis comparativo del modelo reportado en la literatura versus el propuesto en este trabajo. En los modelos propuestos Ovando et al. tiene como variables de entrada temperatura a nivel del abrigo (Ta), humedad relativa (Hr), temperatura a punto de rocío (Tr), dirección del viento (DV), velocidad del viento (VV) y nubosidad (N). Se seleccionó el modelo M1 que tiene las siguientes características: 15 neuronas en la capa de entrada, 15 en la capa oculta, un error de validación de 1 y sus días con error son 2.27 días.

En el segundo modelo M2 emplea todas las variables excepto la humedad relativa. El modelo cuenta con 13 neuronas en la capa de entrada, 7 en la capa oculta, un error de validación de 7.5 y sus días con error son 1.87 días.

El tercer modelo M3 propuesto por López emplea como entrada la temperatura media del aire (Tamed), radiación solar (Rg), velocidad media del viento (VV-med). La RNA cuenta con 4 neuronas en la capa de entrada, 1 en la capa oculta y 4.

En la comparativa presentada en la Tabla 3, se puede observar que existen trabajos parecidos que emplean las variables meteorológicas. Pero no incluyen algunos componentes adicionales como en el modelo propuesto en este trabajo. La ventaja que presenta integra un módulo de decisiones de heladas y prevención para el daño de cultivos en la zona de Salvatierra, Guanajuato.



PANEL

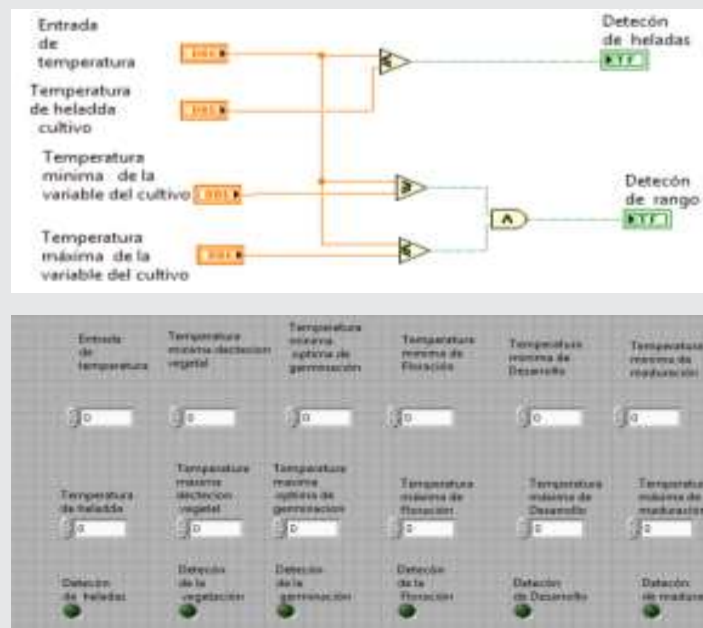


Figura 9. Histograma de error de validación de la RNA de predicción de heladas usando datos del 2016 del periodo Enero-Mayo.

Los resultados obtenidos muestran que se tiene un sistema de predicción bueno considerando que el clima es un sistema caótico. Para tener resultados reales y actuales del sistema completo, sería conveniente supervisar los diferentes cultivos durante una ventana de temporal a partir de ahora e ir actualizando el sistema de predicción con los nuevos registros que obtengan. Además, de tener contacto directo con los agricultores sobre sus cultivos.

Tabla 3. zRango de temperatura de cultivos proporcionadas por Infoagro.

Modelo	M1 Ovando (2005)	M2 Ovando (2005)	M3 González (2011)	Propuesto
Predicción	heladas	Heladas	Evotranspiración	Temperatura para decisión de heladas
Variables entrada	Ta, Hr, Tr, DV, VV, N	Ta, Tr, DV, VV, N	Ta, Tr, DV, VV, N	T, Hr,, DV, VV, N
Capa entrada	15	13	4	24
Capa oculta 1	15	7	4	50
Capa oculta 2	-	-	-	50
Criterio de validación (Error Cuadrático)	1.0 días	7.5 días	-	0.00145 Temperatura
Descripción del funcionamiento del modelo.	El modelo pronostica los días de heladas	El modelo pronostica los días de heladas	El modelo pronostica los días de heladas -	El modelo pronostica las temperatura e involucra un módulo de decisión para las heladas

BIBLIOGRAFÍA

- [1] García, F., Sostillo, C., Casagrande, G., Vergara, G. (2015). Caracterización de régimen de heladas en Aguil, Provincia de la Pampa (Argentina). SEMIDIARIA Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam, 17-23.
- [2] Madrid, C.M., (2016). Las Matemáticas del cambio climático. Noviembre, 9, 2016, Universidad Complutense de Madrid.
- [3] Mercado, F., Fernandez, W.,Herrera, J. (2016). Sistema de inteligencia artificial para la predicción temprana de heladas meteorológicas .Acta Nova, 483-489.
- [4] Hykin Simon,Neural Networks and Learning Machines (2013) (3 ed.).
- [5] Ovando, G., Bocco, M., & Sayago, S. (2005). Redes neuronales para modelar la predicción de heladas .Agricultura Técnica, 66-72.
- [6] Ramirez A., A. , Gadea G., R., Colom P. , R., (2008). Diseño y experimentación de un cuantizador vectorial hardware basado en redes neuronales para un sistema de codificación de video. (Tesis Doctoral). C.C. De Universidad Politécnica de Valencia.
- [7] Vlacic, V., (2016). Summary of the training functions in Matlab's NN toolbox. Noviembre, 9, 2016,http://alumni.cs.ucr.edu/~vladimir/cs171/nn_summary.pdf
- [8] González-Camacho J.M., R. Cervantes, W. Ojeda, e I. López ,predicción de la evapotranspiración de referencia mediante redes neuronales artificiales.”, , ingeniería hidráulica en México , Vol.1, 2008, pp.127-139
- [9] Riabani Mercado F., García Fernandez W.,Herrera Acebey J.,Sistema de inteligencia artificial para la predicción temprana de helada meteorológicas.”, RevActaNova , Vol.7, 2016, pp.483-495.



Ingeniantes

Revista de Investigación • Instituto Tecnológico Superior de Misantla