

Redes de Ingeniería
E-ISSN: 2248-762X
Vol. 10 No. 1
Enero - Junio 2019
redesingenieria.ud@correo.udistrital.edu.co
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/REDES>



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

DIRECTIVAS

Ricardo García Duarte

Rector

Julio Barón Velandía

Decano Facultad de Ingeniería

REVISTA REDES DE INGENIERÍA

Ph.D. Nelson Leonardo Díaz Aldana

*Editor de la revista, Universidad Distrital
Francisco José de Caldas – Colombia*

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Juan Manuel Cueva Lovelle

Universidad de Oviedo - España

Dr. Oscar Sanjuán

ElasticBox - Estados Unidos

Dr. Rubén Aristides González Crespo

*Universidad Internacional de la Rioja – UNIR -
España*

COMITÉ CIENTÍFICO

Dr. Giovanni Mauricio Tarazona Bermúdez

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas -
Colombia*

Dr. Cristina Pelayo

Universidad de Oviedo - España

Dr. Daniel Burgos

Universidad Internacional de la Rioja- Unir - España

Dr. Edward Rolando Núñez

Universidad Carlos III de Madrid - España

Dr. I-Hsien Ting

National University of Kaohsiung - China

Dr. Jordán Pascual

Universidad de Oviedo - España

Dr. Luis Joyanes

Universidad Pontificia de Salamanca - España

Dra. Luz Andrea Rodríguez

Universidad de los Libertadores - Colombia

Dr. Manuel Pérez

Universidad de Vigo - España

Dra. Maria Mercedes Larrondo

Florida Atlantic University - Estados Unidos

Dr. Pablo Jojoa

Universidad del Cauca - Colombia

Dr. Paulo Gaona

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas
- Colombia*

Dr. Rafael Bello

Universidad Central de las Villas - Cuba

Dr. Raúl Ramos

Universidad Industrial de Santander - Colombia

Dr. Roberto Ferro Escobar

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas
- Colombia*

Dr. Wilfrido Moreno

University of South Florida - Estados Unidos

Dr. Vicente García Díaz

Universidad de Oviedo - España

COMITÉ EVALUADOR

PhD. José Humberto Ablanado Rosas

University of Texas at El Paso - Estados Unidos

PhD. Jorge Enrique Espíndola Díaz

*Universidad Pedagógica y Tecnológica de
Colombia*

PhD. Fabián Augusto Lamus Báez

Universidad Javeriana – Colombia

M.Sc. Yhan Paul Arias Jaramillo

Universidad Nacional de Colombia

M.Sc. Carlos Andrés Fajardo Gómez

*Universidad Nacional Abierta y a Distancia –
Colombia*

Esp. Germán Cabuya Parra

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas
– Colombia*

PREPARACIÓN EDITORIAL

Edna Johanna Cañas

Gestora editorial

Jenny Alexandra Jiménez

Corrección de Estilo

David Mauricio Valero

Diagramación

Cindy Medina Gallego

Portada, Santa Marta - Colombia

REVISTA REDES DE INGENIERÍA

Redes de Ingeniería es una revista electrónica Institucional adscrita a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Es una revista de carácter semestral que publica los resultados de Investigación, revisión, reflexión de la comunidad académico-científica los meses Junio y Diciembre de cada año. Posee un sistema de divulgación netamente electrónico y su primer número fue publicado en Junio del 2010.

Redes de Ingeniería es una revista arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. Las opiniones expresadas de esta publicación pueden ser reproducidas citando la fuente.

COBERTURA TEMÁTICA

Las líneas de publicación de la revista están enmarcadas en las áreas de las Telecomunicaciones, Electrónica, Sistemas, Bioingeniería, Eléctrica, Medio Ambiente, Educación, Industrial, Geomática; además de todos aquellos temas que converjan hacia la Ingeniería.

MISIÓN

La revista Redes de Ingeniería tiene el objetivo de servir como medio de divulgación de los resultados obtenidos a través procesos de investigación, reflexión, indagación en entornos Educativos y Empresariales en temas de actualidad en “pro” del mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad en general.

PÚBLICO OBJETIVO

Investigadores, docentes, estudiantes y demás profesionales de las ramas de la Ingeniería que deseen estar a la vanguardia de las teorías y/o tecnologías que rigen y regirán el mundo moderno desde un enfoque científico.

REPRODUCCIÓN

Los textos de los artículos son publicados bajo la responsabilidad de los autores y no reflejan el pensamiento de la revista, ni comprometen de ninguna manera a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

INDEXACIÓN

La revista Redes de Ingeniería es una publicación electrónica registrada en EBSCO HOST, en el índice bibliográfico e-revistas, Actualidad Iberoamericana, Índice de Revistas Latinoamericanas en ciencias PERIÓDICA, REDIB, DOAJ y Latindex.



Redes de Ingeniería
E-ISSN: 2248-762X
Vol. 10 No. 1
Enero - Junio 2019

T Tabla de Contenido

Editorial

Nelson Leonardo Díaz Aldana

4

Compatibilidad de un aislamiento del género *Trichoderma* con ocho fungicidas utilizados en el cultivo de rosa

Compatibility of an isolation of the genus *Trichoderma* with eight fungicides used in the crops of rose

Paulo Germán García Murillo

5-12

Uso de árboles de decisión para medir el impacto de la incertidumbre operativa en el beneficio de centralizar la cadena de suministro

A decision-tree-based assessment of the impact of the operational uncertainty on the benefit of centralizing supply chain decisions

Mario Luis Chew Hernández, Leopoldo Viveros Rosas, Verónica Velázquez Romero

13-25

El picosatélite Biosat1: una extensión de las capacidades científicas para la exploración y preservación de la fauna y flora en lugares de difícil acceso

The Biosat1 picosatellite: an extension of scientific capabilities for the exploration and preservation of fauna and flora in hard-to-reach places

Ricardo Andrés Santa Quintero

26-33

Uso de la fibra sintética en el concreto estructural para edificaciones

Applications of reinforced concrete with synthetic fiber for buildings

Andrés Ramírez Gómez, Cesar Stiveen Gutiérrez Almaro, Juan Miguel Granados Valderrama

34-42



Un espacio para divulgar el trabajo de nuestros investigadores en formación

Los nuevos resultados del último proceso de indexación de revistas por parte de Publindex, dejó claro que cada vez son más exigentes los requisitos para alcanzar las condiciones de indexación. Particularmente, resulta determinante el factor de impacto de las revistas las cuales requieren de mayor visibilidad y número mayor de citas convocatoria tras convocatoria. Por lo tanto, uno de los principales retos ahora de las revistas es incrementar su impacto mediante un mayor número de citas.

Para el caso particular de la revista Redes de Ingeniería, se ha hecho un esfuerzo constante buscando mejorar estos índices. Sin embargo, para la medición de la última convocatoria los resultados no fueron suficientes. A pesar de las mejoras en los procesos editoriales y el continuo crecimiento en las citas en el último año, no se llegó al umbral que permitía la indexación en Publindex. Dentro de las mejoras destacables en los procesos editoriales ha sido la reducción en el número de autores internos a la institución editora, causa principal de que la revista perdiera su indexación. Este sin duda es un punto importante dentro de los requisitos para los procesos editoriales, pero pone en cuestión y en consideración el cómo impulsar la producción de los investigadores en formación de la Universidad si las revistas científicas de la Universidad deben restringir el número de contribuciones internas.

La solución es simple y es mediante el apoyo a publicaciones de carácter divulgativo por parte de la institución editora. Sin embargo, para el caso particular de la Universidad Distrital no es claro que exista una política o incluso voluntad de dar apoyo a este tipo de publicaciones que no apuntan a hacer parte de los diferentes sistemas de indexación, sino que su principal tarea es brindar un espacio para la formación de nuevos investigadores.

A pesar que es importante que las revistas editadas por la Universidad cuenten con la indexación y que la Universidad dentro de sus políticas y diferentes estamentos proporcionen el apoyo necesario a las revistas indexadas. También, es necesario que se considere la labor formativa de la Universidad y este es un punto importante considerando que para muchos investigadores en formación una revista de divulgación puede convertirse en la primera aproximación al mundo de las publicaciones científicas en las cuales puedan mostrar su trabajo.

Por tanto, es importante que desde la Universidad se tomen posiciones y se definan políticas claras que permitan la permanencia y posicionamiento de las revistas divulgativas. Adicionalmente, se espera seguir contando con el apoyo de la Universidad para que las revistas que no consiguieron entrar en esta ronda de indexación continúen con su labor y permitan su supervivencia.

Agradecemos a nuestros autores por sus contribuciones y a los revisores por su colaboración que hace posible que se den a conocer de la mejor manera las contribuciones de nuestros autores.

Nelson Leonardo Díaz Aldana



Compatibilidad de un aislamiento del género *Trichoderma* con ocho fungicidas utilizados en el cultivo de rosa

Compatibility of an isolation of the genus *Trichoderma* with eight fungicides used in the crops of rose

Paulo Germán García Murillo¹ 

Para citar: García, P. (2019). Compatibilidad de un aislamiento del género *Trichoderma* con ocho fungicidas utilizados en el cultivo de rosa. *Redes de Ingeniería*, 10(1), 5-12, doi: <https://doi.org/10.14483/2248762X.15091>.

Recibido: 11-julio-2019 / Aprobado: 29-agosto-2019

Resumen

Actualmente, algunas especies del hongo del género *Trichoderma* son empleadas para el control preventivo de enfermedades en hortalizas, frutas y ornamentales, las cuales, tradicionalmente, son manejadas mediante la aplicación de fungicidas, pero con antecedentes de afectación ambiental en algunos casos. Razón por la cual, el propósito de este trabajo fue evaluar en una prueba *in vitro* la compatibilidad del aislamiento USTA-Tri004 de *Trichoderma* con los fungicidas Cabo[®], Sialex[®], Scala[®], Dithane[™], Mirage[®], Teldor[®]-Combi, Clortocaffaro[®] y Bellkute[®], de uso común en Colombia para cultivos de rosa. Con lo cual se encontró que los fungicidas Cabo[®] y Sialex[®] son los que menos inhiben el crecimiento del aislamiento USTA-Tri004 a las 120 horas, con diámetros de colonia de 24.2 cm y 39.3 cm respectivamente. De acuerdo con los resultados anteriores, el aislamiento *Trichoderma* puede ser evaluado en condiciones comerciales, en un esquema de manejo integrado del moho gris en rosa, pero aplicado de forma preventiva con los mencionados fungicidas.

Palabras clave: clorotalonil, control biológico, fenhexamida, procimidona, prochloraz.

Abstract

Currently, some species of the fungus of the genus *Trichoderma* are used for the preventive control of diseases in vegetables, fruits and ornamentals, which are, traditionally, managed through the application of fungicides, but with a history of environmental damage in some cases. Accordingly, the aim of this work was to evaluate in an *in vitro* test, the compatibility of the USTA-Tri004 isolation of the *Trichoderma*, with the fungicides Cabo[®], Sialex[®], Scala[®], Dithane[™], Mirage[®], Teldor[®]-Combi, Clortocaffaro[®] and Bellkute[®], commonly used in Colombia for rose cultivation. It was found that the fungicides Cabo[®] and Sialex[®] offered least inhibitory effect on the growth of USTA-Tri004 insulation at 120 hours of incubation, with colony diameters of 24.2 and 39.3 respectively. According to the results, *Trichoderma* isolation can be considered as a commercial product within an integrated management scheme for gray mold of rose applied in a preventive way with the mentioned fungicides.

Keywords: biological control, chlorothalonil, fenhexamid, procymidone, prochloraz.

1. Magíster en Ciencias Agrarias área de énfasis en Fitopatología, Universidad Nacional de Colombia. Docente de Tiempo Completo, Universidad Santo Tomás. Correo electrónico: pfgarciam@unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades causadas por fitopatógenos son, por lo general, controladas mediante el uso de fungicidas de síntesis química. Sin embargo, el mal uso de estos agentes es actualmente cuestionado debido a efectos indeseables, tales como la resistencia que se puede inducir hacia los mismos, un ejemplo de ello es el primer registro en 2019 de resistencia de *B. cinerea* a carbendazim y procimidona en fresa, arándano y tomate en Argentina [1]. Por esta misma línea, el uso de estos agentes químicos reduce las poblaciones de microorganismos no blancos que pueden ser potencialmente benéficos para los cultivos, además de generar tanto contaminación hídrica y de los suelos [2], como posibles riesgos para la salud humana, lo que genera en los consumidores opiniones de rechazo y demanda de productos que involucren prácticas agrícolas más limpias y sostenibles desde el punto de vista ambiental [3].

En respuesta a lo anterior, se propone como alternativa el control biológico mediante el uso de hongos y bacterias antagonistas, en donde se destacan algunas especies del género *Trichoderma*. Este hongo ha demostrado ser altamente efectivo para el control biológico de enfermedades producidas por el moho gris de la *Botrytis cinérea* que afectan a las hojas, los tallos, las flores y los frutos [4]; la marchitez vascular producida por *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* [5]; y la pudrición de cuello de raíz generada por *Rhizoctonia solani* entre otras [6]. En concordancia con lo dicho, en un trabajo previo se estableció que un aislamiento denominado USTA-Tri004 del género *Trichoderma* presenta alta actividad antagonica contra *B. cinerea* y *Rhizoctonia solani* [6]. Adicionalmente, el uso de algunas especies de *Trichoderma* presenta las siguientes ventajas: baja toxicidad, lo que no compromete la salud humana ni animal; la inducción de crecimiento y resistencia vegetal; la competencia por nutrientes y espacio; y la directa interacción, ya que este hongo es reconocido por ser micoparásito [7].

Por otra parte, no se descarta la compatibilidad de *Trichoderma* con la aplicación de plaguicidas, pero esta depende de la susceptibilidad de cada especie y la cepa de este hongo antagonista frente a los diferentes agentes químicos [8]. Es así como en ensayos *in vitro* se observa la compatibilidad de *Trichoderma* spp., con ingredientes activos de fungicidas como metalaxyl, dimetomorf, y otras sustancias como el oxiclورو de cobre [9]. Razón por la cual, el objetivo de este trabajo fue evaluar *in vitro* la compatibilidad del aislamiento USTA-Tri004 con ocho fungicidas de uso común en el cultivo de la rosa para el control del moho gris causado por *B. cinerea*.

MÉTODOS

El ensayo de compatibilidad del aislamiento USTA-Tri004 de *Trichoderma*, con ocho fungicidas, fue realizado en el laboratorio de Microbiología de la Universidad Santo Tomas en la sede Principal (Bogotá, Colombia). El mencionado aislamiento fue obtenido de una muestra de suelo procedente de una reserva forestal en el municipio de Tenjo, perteneciente al departamento de Cundinamarca (Colombia). Este microorganismo fue mantenido en cajas de Petri con medio Agar Sabouraud (Oxoid) a una temperatura de 20 °C por 12 días hasta el momento de la realización del ensayo.

Ensayo de compatibilidad del aislamiento USTA-Tri004

Se prepararon 15 cajas de Petri con medio Agar Sabouraud (Oxoid), por tratamiento (correspondiente a cada fungicida), en las dosis sugeridas en las fichas técnicas de cada producto de acuerdo con la Tabla 1, utilizando como tratamiento control el mismo medio de cultivo, pero sin adición de algún fungicida.

Para la inoculación del hongo antagonista, se tomaron cultivos del aislamiento USTA-Tri004, más específicamente discos de 5 mm de la zona más

Tabla 1. Fungicidas empleados en la prueba de compatibilidad in vitro del aislamiento de *Trichoderma* USTA_Tri-004 en medio agar Sabouraud.

Tratamiento	Ingrediente Activo	Dosis ml-g ⁻¹
Sabouraud (Control)	-	-
Sabouraud + Cabo [®] SC-500	fenhexamida	1.0
Sabouraud + Sialex [®] SC-50	procimidona	1.0
Sabouraud + Scala [®] 40-SC	pirimetanil	1.0
Sabouraud + Dithane [™] NT-80-WP	mancozeb	2.0
Sabouraud + Mirage [®] 40-EC	procloraz	0.5
Sabouraud + Teldor [®] Combi	fenhexamida+tebuconazol	1.5
Sabouraud + Clortocaffaro [®] 500-SC	clorotalonil	1.0
Sabouraud + Bellkute [®] 40-WP	iminocadina	0.3

Fuente: elaboración propia.

externa (joven) de cada colonia de *Trichoderma* con la ayuda de un sacabocado estéril. Asimismo, a todas las cajas de Petri, correspondientes a los diferentes tratamientos, se les inoculo en el centro con un disco del aislamiento USTA-Tri004 para luego ser puestas a incubación a 20 °C, de modo que sea posibilitara la opción de cuantificarse el diámetro de colonia del hongo antagonista a las 48 horas y 120 horas.

Cálculo del porcentaje de inhibición.

Para el montaje de este ensayo se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con 15 repeticiones para cada tratamiento incluyendo el control. A partir de las lecturas de los diámetros de colonia del aislamiento USTA-Tri004 obtenidos a las 48 horas y 120 horas se compararon los promedios de cada tratamiento mediante la prueba de diferencia mínima significativa DMS ($p \leq 0.05$) utilizándose para la realización del análisis estadístico el software Statgraphics[®] Centurion XVI.

Del mismo modo, a partir de los diámetros de colonia obtenidos a las 48 horas y 120 horas se calculó para cada tratamiento el porcentaje de inhibición [10], de acuerdo con la ecuación (1):

$$\text{Porcentaje de inhibición} = ((x - y) / x) * 100 \quad (1)$$

En donde:

x = diámetro de la colonia del aislamiento USTA-Tri004 en las cajas de Petri del tratamiento control.

y = diámetro de la colonia del aislamiento USTA-Tri004 en las cajas de Petri, de cada uno de los tratamientos (fungicidas).

RESULTADOS

A las 48 horas el crecimiento de la cepa USTA-Tri004, correspondiente al tratamiento control, alcanzó 3.8 cm de diámetro de colonia. En contraste, pero en presencia de los diferentes fungicidas, se presentó una reducción significativa en el promedio de los diámetros de colonia del hongo de la siguiente manera: a Cabo[®] de 2.1 cm y de 1.7 cm para el producto Sialex[®]; de 1.1 cm para Teldor[®] Combi y 0.8 cm para el producto Bellkute[®], y sin evidencia de crecimiento del hongo los fungicidas Scala[®], Dithane[™], Clortocaffaro[®] y Mirage[®] (Figura 1).

A las 120 horas, el crecimiento micelial del aislamiento USTA-Tri004 alcanza la totalidad de la superficie de las cajas de Petri en el tratamiento control (Figura 2), con diámetro promedio de colonia de 9.0 cm, a diferencia de todos los demás tratamientos

correspondientes a cada uno de los fungicidas, lo cuales, en el mismo periodo de tiempo, presentaron una reducción significativa de sus diámetros de colonia del aislamiento USTA-Tri004. Sin embargo, con los fungicidas Cabo® y Sialex® se observa la menor inhibición de diámetros de colonia en relación con los demás tratamientos de los fungicidas, siendo estos de 6.8 cm y 5.5 cm respectivamente. Con los fungicidas Scala®, Dithane™ y Teldor® Combi,

se observó una mayor reducción de los diámetros del aislamiento, en comparación al primer grupo de fungicidas, presentando valores de 3.1, cm, 2.5 cm y 2.0 cm respectivamente. Los menores valores de colonia del aislamiento USTA-Tri004 corresponden a los tratamientos de los fungicidas Clortocaffaro® con 1.1 cm, Bellkute® con 1.0 cm y Mirage® que no registra ningún valor de diámetro de colonia del mencionado aislamiento (Figura 2).

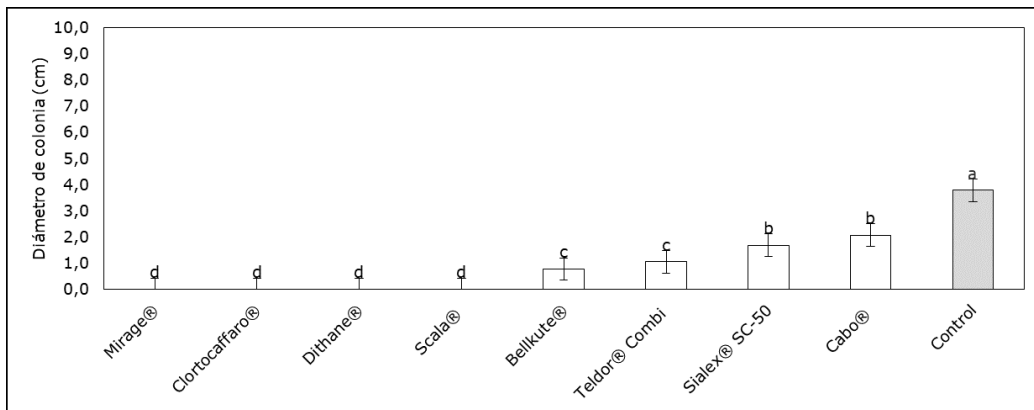


Figura 1. Crecimiento in vitro del aislamiento USTA-Tri004 a las 48 h, en presencia de ocho fungicidas utilizados para el control del moho gris en rosa.

Nota: Las columnas con la misma letra, no presentan diferencias significativas en relación con los promedios de diámetro de colonia, de acuerdo con la prueba de diferencia mínima significativa DMS ($p \leq 0.05$).

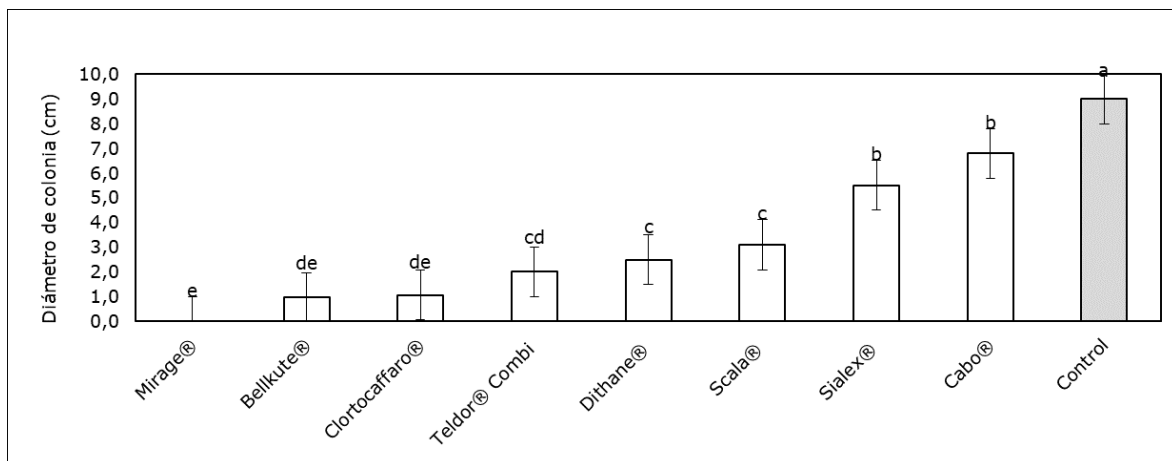


Figura 2. Crecimiento in vitro del aislamiento USTA-Tri004 a las 120 h, en presencia de ocho fungicidas utilizados para el control del moho gris en rosa.

Fuente: elaboración propia.

Nota: Las columnas con la misma letra, no presentan diferencias significativas en relación con los promedios de diámetro de colonia, de acuerdo con la prueba de diferencia mínima significativa DMS ($p \leq 0.05$).

Al comparar los valores de porcentaje de inhibición obtenidos a las 48 horas con los obtenidos a las 120 horas, se evidencia como todos los tratamientos, a excepción de los fungicidas Teldor®-Combi y Bellkute®, redujeron sus porcentajes de inhibición. Sin embargo, para el caso del tratamiento correspondiente a Mirage® se mantiene la inhibición total del crecimiento del aislamiento, tanto al inicio del ensayo como al final de este (Tabla 2).

Tanto a las 48 horas como a las 120 horas, de acuerdo con la clasificación propuesta en la Tabla 3, el fungicida Mirage® ejerce un alto nivel inhibitorio del aislamiento USTA-Tri004. Por su parte, los fungicidas Scala®, Dithane® y Clortocaffaro® también presentan alta toxicidad sobre el aislamiento del hongo antagonista a las 48 h, pero a las 120 horas desciende a moderadamente tóxico con el fungicida Clortocaffaro® y ligeramente tóxico con Dithane® y Scala® respectivamente (Tabla 3).

Con el producto Bellkute® se obtuvo una moderada toxicidad tanto al inicio del ensayo (48 horas) como al final de este (120 horas). Con los fungicidas Teldor®Combi, Sialex® y Cabo® se presenta una clasificación de ligeramente tóxico a las 48 horas, el cual decae para el fungicida Cabo® a las 120 horas hasta inofensivo (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de la toxicidad de los fungicidas de acuerdo al valor del crecimiento de la colonia del aislamiento USTA-Tri004.

Inhibición del crecimiento (%)	Clasificación
<30%	Inofensivo
30-75%	Ligeramente tóxico
75-90%	Moderadamente tóxico
>90%	Tóxico

Fuente: adaptado de OILB [10].

DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados, el ingrediente activo fenhexamida (Cabo®) presentó los menores porcentajes de inhibición tanto a las 48 horas como a las 120 horas, esto coincide con otra investigación en la cual se evaluaron las cepas de TH₁, TH₃ y TV₁ del género *Trichoderma* encontrándose una compatibilidad significativamente alta con la misma molécula. No obstante, estas mismas cepas presentan alta sensibilidad en presencia de chlorothalonil [11], lo cual es concordante con los resultados encontrados en este trabajo para el aislamiento USTA-Tri004. Cabe resaltar que la fenhexamida inhibe el crecimiento de *B. cinerea* debido a que esta molécula interfiere con la síntesis de esteroides y con la actividad de la ketoreductasa [12].

Los resultados obtenidos con la molécula procimidona, la cual es ingrediente activo del producto

Tabla 2. Inhibición presentada por el aislamiento USTA-Tri004 de *Trichoderma* en presencia de 8 fungicidas.

% de inhibición (<i>in vitro</i>) aislamiento USTA-Tri004			
Producto	Ingrediente activo	48 horas	120 horas
Cabo®	Fenhexamida	46.0	24.2
Sialex®	procimidona	56.0	39.3
Scala®	Pirimetanol	100.0	65.2
Dithane®	Mancozeb	100.0	72.0
Teldor®Combi	fenhexamida+tebuconazol	72.2	78.0
Clortocaffaro®	Clorotalonil	100.0	88.1
Bellkute®	Iminoctadina	80.0	89.3
Mirage®	Procloraz	100.0	100.0

Fuente: elaboración propia.

Sialex[®], son similares a los encontrados en la aplicación conjunta de la cepa C52 de *Trichoderma harzianum* y el ingrediente activo mencionado para el manejo de *Sclerotium cepivorum* en cebolla [13], donde no se observó disminución en la actividad del mencionado hongo antagonista ni del fungicida contra este fitopatógeno. Esto, permitiría hacer aplicaciones de este agente de control biológico con dosis menores de este fungicida, el cual tendría menores afectaciones desde el punto de vista ambiental [13]. En otro ensayo, sin embargo, se hizo la aplicación de procimidona más la cepa IBLF914 de *Trichoderma asperellum* contra *S. sclerotiorum* en lechuga, donde se encontró que el fungicida reduce la viabilidad tanto del hongo antagonista como del fitopatógeno en mención [14]. Lo anterior, deja ver como la molécula procimidona actúa sobre los microorganismos fitopatógenos presentando interferencia sobre la transducción de señales de las membranas celulares de los hongos, pero su uso inadecuado puede generar fenómenos de resistencia en *B. cinerea* y en otros hongos fitopatógenos [12].

En otros trabajos de investigación, se evaluó la compatibilidad de la cepa Jn14 de *T. harzianum* con la molécula de pirimetanil utilizada para el control del moho gris en fresa. La mencionada cepa, tanto en ensayos *in vitro* como *in vivo* (bajo condiciones de invernadero), es tolerante al pirimetanil, en contraste con *B. cinerea* que presenta alta sensibilidad hacia este agente químico [15]. Sin embargo, en este ensayo el fungicida Scala[®] (i. a. pirimetanil) presenta una reducida compatibilidad con el aislamiento USTA-Tri004 de *Trichoderma*. Cabe resaltar que este ingrediente activo inhibe la síntesis de proteínas y aminoácidos en los hongos expuestos a este agente químico, por lo que se observa una resistencia a esta molécula por parte de *B. cinerea* y *Venturia* principalmente [12].

Al respecto, sobre la inhibición de crecimiento del aislamiento USTA-Tri004 en este trabajo, al ser

expuesto al fungicida Dithane[™] (i. a. mancozeb) fue del 72% a las 120 horas, la cual fue mayor a la observada en otro trabajo de investigación [9], en el cual se obtuvo aproximada 46.9% de inhibición en *Trichoderma* spp., a los 5 días, pero con una dosis de 100 mg i.a.*l⁻¹. En concordancia con lo dicho, en otra evaluación *in vitro* con una cepa denominada A-34 de *Trichoderma harzianum* se obtuvo con el mismo fungicida una escala ligeramente tóxica [10].

En cuanto a procloraz, en un ensayo *in vitro* realizado con un aislamiento de *T. harzianum* se observó una inhibición total de este hongo antagonista, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este ensayo a la misma dosis del fungicida [16]. La inhibición observada sobre el aislamiento USTA-Tri004 en presencia de esta molécula se puede atribuir a que esta interfiere con la biosíntesis de esteroides en la membrana celular que también se observa en *B. cinerea* [12].

Los resultados obtenidos con el producto Teldor[®] Combi corresponden a ligeramente tóxico y moderadamente tóxico respectivamente a las 48 horas y 120 horas (tabla 2 y 3). Estas se pueden explicar a luz de la acción de la molécula tebuconazol, perteneciente al grupo químico de los triazoles, los cuales también reducen la síntesis de esteroides en las membranas celulares [12].

Como se mencionó anteriormente, el aislamiento USTA-Tri004 en presencia de iminocadina presenta una escala de moderadamente tóxico (Tabla 3) observándose poca compatibilidad. Lo anterior también se observó en un ensayo realizado en cultivo, en donde se aplicó en mezcla *T. harzianum* con iminocadina para el control de la pudrición parda en durazno. Ante ello, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con la aplicación individual del agente químico debido a la interferencia del fungicida, tanto sobre el desarrollo del fitopatógeno, como del hongo antagonista [17].

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos sugieren que las moléculas de fenhexamida y procimidona, las cuales son ingredientes activos (i. a.) de los fungicidas Cabo® y Sialex® respectivamente, son compatibles con el crecimiento micelial del aislamiento de USTA-Tri004 de *Trichoderma*, por lo que se sugiere realizar ensayos bajo condiciones de invernadero con los mencionados fungicidas en combinación con el hongo antagonista para el posible control de *B. cinerea* en aplicaciones de tipo preventivo. Los restantes fungicidas, inhiben el crecimiento del aislamiento USTA-Tri004, lo que los hace incompatibles para su uso combinado, para el manejo del moho gris y otras enfermedades bajo condiciones comerciales de producción de la rosa.

REFERENCIAS

- [1] F. J. Sautua, C. Baron, O. Pérez-Hernández, and M. A. Carmona, "First report of resistance to carbendazim and procymidone in *Botrytis cinerea* from strawberry, blueberry and tomato in Argentina," *Crop Prot.*, vol. 125, no. July, pp. 2017–2020, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104879>
- [2] S. Saito and S. Suzuki, "Fungicide Resistant Profiles of *Botrytis cinerea* in a Vineyard," *J. Asev Jpn*, vol. 20, no. 1, pp. 8–14, 2009.
- [3] M. H. Badii and J. Landeros, "Plaguicidas que afectan a la salud humana y la sustentabilidad," *CULCyT*, no. 19, pp. 21–34, Mar. 2007.
- [4] Pratibha Sharma, "Biocontrol genes from *Trichoderma* species: A review," *African J. Biotechnol.*, vol. 10, no. 86, pp. 19898–19907, 2011. <https://doi.org/10.5897/ajbx11.041>
- [5] P. G. García, A. M. Pascuas, and E. Garces-de-Granada, "Effect of two *Trichoderma* spp. isolates on *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* in carnation (*Dianthus caryophyllus*)," *Acta Hort.*, vol. 482, no. 153–157, 1999. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1999.482.22>
- [6] P. G. Garcia-Murillo, "Evaluación de tres aislamientos del género *Trichoderma*, en combinación con pregerminación controlada de semillas, contra *Botrytis cinerea* y *Rhizoctonia solani*," *Actual. Biológicas*, vol. 36, pp. 236–337, 2014.
- [7] P. K. Mukherjee, B. A. Horwitz, A. Herrera-Estrella, M. Schmoll, and C. M. Kenerley, "*Trichoderma* Research in the Genome Era," *Annu. Rev. Phytopathol.*, vol. 51, no. 1, pp. 105–129, 2013. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102353>
- [8] B. Martínez, D. Infante, and Y. Reyes li, "*Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos," *Rev. Protección Veg*, vol. 28, no. 1, pp. 1–11, 2013.
- [9] B. L. Muiño, M. Sáenz, M. Stefanova, A. Porrás, and I. Díaz, "Compatibilidad de *Trichoderma* spp. con plaguicidas y fertilizantes en el cultivo del tabaco," *Fitosanidad*, vol. 5, no. 2, pp. 3–9, 2001.
- [10] R. H. Pérez and D. G. Sánchez, "Efecto in vitro de plaguicidas comerciales sobre *Trichoderma harzianum* cepa A- 34," *Rev. FCA UNCUYO*, vol. 47, no. 2, pp. 185–196, 2015.
- [11] W. Khirallah *et al.*, "Compatibility of *Trichoderma* spp. with some fungicides under in vitro conditions," *Int. J. Recent Sci. Res.*, vol. 7, no. 2, pp. 9060–9067, 2016.
- [12] FRAC, "FRAC Code List © * 2018 : Fungicides sorted by mode of action (including FRAC Code numbering)," 2018. [Online]. Available: <http://www.phi-base.org/images/fracCodeList.pdf>. [Accessed: 16-Mar-2019].
- [13] K. L. Mclean, J. Hunt, and a Stewart, "Compatibility of the Biocontrol Agent *Trichoderma Harzianum* C52 With Selected Fungicides," *In Vitro*, vol. 88, pp. 84–88, 2001. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2001.54.3780>
- [14] M. A. F. da Silva, K. E. de Moura, K. E. de Moura, D. Salomão, and F. R. A. Patrício, "Compatibility of *Trichoderma* isolates with pesticides used in lettuce crop," *Summa Phytopathol.*, vol.

- 44, no. 2, pp. 137–142, 2018. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/176873>
- [15] R. M. Barakat and M. I. Al-masri, “Effect of *Trichoderma harzianum* in Combination with Fungicides in Controlling Gray Mould Disease (*Botrytis cinerea*) of Strawberry,” *Am. J. Plant Sci.*, no. 8, pp. 651–665, 2017. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.84045>
- [16] M. A. Sushir, K. K. Suryawanshi, and S. P. Patole, “Sensitivity of *Trichoderma harzianum* Rifai against systemic fungicides,” *Int. J. Appl. Res.*, vol. 1, no. 7, pp. 403–405, 2015.
- [17] E. P. Pavanello, A. Brackmann, F. R. Thewes, T. L. Venturini, A. Weber, and E. Blume, “Postharvest biological control of brown rot in peaches after cold storage preceded by preharvest chemical control,” *Rev. Ceres*, vol. 62, no. 6, pp. 539–545, 2015. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201562060005>





Uso de árboles de decisión para medir el impacto de la incertidumbre operativa en el beneficio de centralizar la cadena de suministro

A decision-tree-based assessment of the impact of the operational uncertainty on the benefit of centralizing supply chain decisions

Mario Luis Chew Hernández¹ Leopoldo Viveros Rosas² Verónica Velázquez Romero³

Para citar: Chew, M., Viveros, L., y Velázquez, V. (2019). Uso de árboles de decisión para medir el impacto de la incertidumbre operativa en el beneficio de centralizar la cadena de suministro. *Redes de Ingeniería*, 10(1), 13-25, doi: <https://doi.org/10.14483/2248762X.14910>.

Recibido: 22-mayo-2019 / **Aprobado:** 18-octubre-2019

Resumen

Mientras otros estudios tratan la relación entre la incertidumbre en la demanda y el beneficio del manejar centralizadamente una cadena de suministro, aquí se aborda el impacto de la incertidumbre operativa (productividad) de los eslabones sobre este beneficio. Usando árboles de decisión, el beneficio del manejo central se calcula como la diferencia entre la ganancia esperada de una cadena así administrada y la suma de las ganancias esperadas de los eslabones si decidieran individualmente. Resulta que la centralización es más redituable a más incierta la productividad, dado que la certeza en bajas productividades limita el provecho de la supresión de la incertidumbre en la demanda de los eslabones intermedios, mientras que la certeza en altas productividades causa que los eslabones, por separado y manejados centralmente, tomen las mismas decisiones. Se concluye que existe un fuerte efecto interactivo de las incertidumbres en productividad y en demanda sobre la ventaja de administrar centralmente la cadena.

Palabras clave: árboles de decisión, cadena de suministro, colaboración, integración.

Abstract

Several studies deal with the relation between demand uncertainty and the worth of centralized chain management. This work, in contrast, explores the effect of the links' operational variability on said benefit. Decision trees are used to model the entities' decisions while the benefit of centralizing the chain management is measured as the difference between the expected profit of the centralized chain and the sum of the expected link profits when acting separately. The worth of centralized chain management increases the more uncertain the productivity is, as a certainty in low productivities decreases the benefit of suppressing the intermediate links' demand uncertainty, while a certainty in high productivities causes that the links, acting separately, make the same decisions as when centrally managed. The results show that there is a strong, interactive effect of productivity and demand uncertainty on the benefit accrued by centralizing the chain decisions.

Keywords: collaboration, decision trees, integration, supply chain management.

1. PhD., University of Nottingham, Reino Unido. Docente de Tiempo Completo, Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, México. Correo electrónico: mario@tesco.edu.mx
2. M. en C. en Ingeniería Industrial – Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, México. Docente de Tiempo Completo, Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, México. Correo electrónico: lviverosr@hotmail.com
3. M. en C. en Ingeniería Industrial, Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, México. Docente de Tiempo Completo, Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, México. Correo electrónico: ing_ind_amb@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Una cadena de suministro consta de los eslabones involucrados en entregar un producto a un cliente final. Su manejo puede ser tanto descentralizado, donde cada eslabón decide por separado; como centralizado, donde las decisiones se toman simultáneamente buscando maximizar la utilidad neta de la cadena. Cada eslabón enfrenta dos fuentes de incertidumbre: una interna (p. ej. su productividad) y otra externa (las demandas de otros eslabones y del cliente final). El manejo central suprime la incertidumbre en la demanda de los eslabones intermedios, logrando mayores utilidades. Este trabajo usa árboles de decisión para estudiar el efecto de las incertidumbres en la cadena, diferenciando según su fuente, sobre la ventaja de su manejo centralizado.

Anteriormente, se han usado árboles de decisión para diseñar cadenas de suministro bajo incertidumbre [1-9]. Se ha determinado, además, analíticamente o por simulación, que la colaboración y centralización del manejo de la cadena mejoran su desempeño [10-16], en una medida mayor a mayor incertidumbre en la demanda [17-19]. Casos específicos son mostrados por Wong et al. [20] para la integración proveedor-cliente, Adamczak et al. [21] para sistemas de logística-producción y Yan y Wang [22] en empresas de alta tecnología. En contraste, otros autores concluyen que la compartición de información puede ser perjudicial, tal como Iyer et al. [23] que la abordaron en el contexto del comercio en línea y Titah et al. [24] que atribuyen

el perjuicio a la desalineación en las metas de los eslabones. Finalmente, existen estudios empíricos relacionando la centralización y/o la colaboración en la cadena y mejoras en su desempeño: Lee et al. [25] y Chin et al. [26] reportan mayores beneficios a mayor incertidumbre en la demanda, con otros autores señalando que la mejora depende de elementos locales [27, 28] y Matanda y Freeman [29] documentando colaboraciones que resultaron perjudiciales para las empresas.

Los reportes previos no abordan el efecto de la incertidumbre operativa de los eslabones sobre la ventaja de la centralización. Adicionalmente, no existen aplicaciones de los árboles de decisión para evaluar el beneficio del manejo centralizado de la cadena.

METODOLOGÍA

Se toma como caso de estudio una cadena con tres procesos (Figura 1). En la Producción de Materia Prima se cultiva un área A_C (m^2) de terreno con un rendimiento γ_{MP} (kg de materia prima/ m^2), mientras que la Transformación tiene la productividad γ_P (kg de producto/kg de materia prima) y, en la Venta al Menudeo, el Cliente compra Q_{CC} unidades de producto al precio unitario $P_{V,M}$. Las productividades γ_{MP} y γ_P son inciertas al depender de elementos más o menos impredecibles como el clima, o intrínsecamente variables, como el tamaño, la textura y la humedad de los frutos cosechados. La demanda del cliente Q_{CC} es incierta al estar sujeta al accionar de los competidores y cambios en el gusto de los clientes.

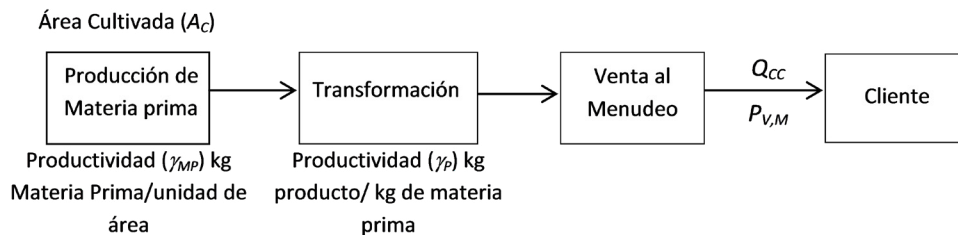


Figura 1. Procesos de la cadena de suministro.

Fuente: elaboración propia.

Toma de decisiones individual (descentralizada) en la cadena

La Figura 2 muestra los Diagramas de Influencia (DI) de los eslabones. Los cuadrados, óvalos con borde sencillo o doble y hexágono representan, respectivamente, decisiones, incertidumbres, variables determinísticas y función objetivo [30]. Las flechas indican dependencia probabilística o conocimiento de una variable al decidir.

El Proveedor (Figura 2-a) fija el área (A_C) y precio de materia prima ($P_{V,MP}$) en incertidumbre sobre la productividad (γ_{MP}) y la demanda del Productor (Q_{CP}), condicionada en $P_{V,MP}$. Si c_{MP} es un costo de cultivo, su ganancia esperada $E[G_{MP}]$ es:

$$E[G_{MP}] = P_{V,MP} \times E[\min\{Q_{CP}, \gamma_{MP} \times A_C\}] - A_C \times c_{MP} \quad (1)$$

El Productor (Figura 2-b) decide cuánta materia prima comprar (Q_{CP}) al precio ($P_{V,MP}$) y el precio de su producto ($P_{V,P}$), en incertidumbre sobre la productividad (γ_P) y la demanda del Minorista (Q_{CM})

condicionada en $P_{V,P}$. Si el costo de proceso es c_P , su ganancia esperada $E[G_P]$ es:

$$E[G_P] = P_{V,P} \times E[\min\{Q_{CM}, \gamma_P \times Q_{CP}\}] - Q_{CP} \times (P_{V,MP} + c_P) \quad (2)$$

Finalmente, la Figura 2-c muestra que el Minorista, sabiendo el precio del producto ($P_{V,P}$) decide cuánto comprar (Q_{CM}) y qué precio ofrecer al cliente ($P_{V,M}$), cuya demanda (Q_{CC}) está condicionada en este precio. La ganancia esperada del Minorista $E[G_M]$ es

$$E[G_M] = P_{V,M} \times E[\min\{Q_{CC}, Q_{CM}\}] - P_{V,P} \times Q_{CM} \quad (3)$$

Administración centralizada de la cadena

El DI del manejo central se muestra en la Figura 3: Se decide el área (A_C) y el precio de venta al cliente ($P_{V,M}$) en incertidumbre sobre la productividad (γ_{MP} y γ_P) y la demanda del cliente (Q_{CC}), procurando la máxima ganancia esperada $E[G_{ED}]$ (Ecuación 4), con Q_{CC} condicionada en $P_{V,M}$.

$$E[G_{ED}] = P_{V,M} \times E[\min\{Q_{CC}, \gamma_{MP} \times \gamma_P \times A_C\}] - A_C \times (c_{MP} + E[\gamma_{MP}] \times c_P) \quad (4)$$

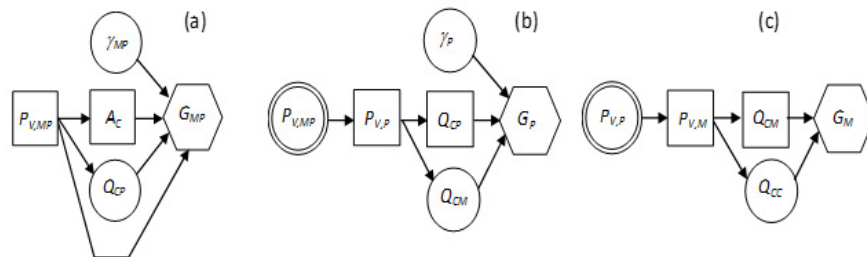


Figura 2. DI's del manejo descentralizado de la cadena: a) Proveedor, b) Productor y c) Minorista.

Fuente: elaboración propia.

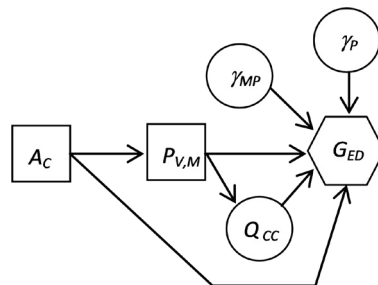


Figura 3. Diagrama de influencia de la cadena centralizada.

Fuente: elaboración propia.

Si $P_{V,MP}^*$ y A_C^* son las decisiones del Proveedor maximizando $E[G_{MP}]$; $P_{V,P}^*$ y Q_{CP}^* las del Productor maximizando $E[G_P]$ y $P_{V,M}^*$ y Q_{CM}^* las del Minorista maximizando $E[G_M]$, la suma de ganancias esperadas (S_{GE}) de la cadena es:

$$S_{GE} = E[G_{MP}|P_{V,MP}^*, A_C^*] + E[G_P|P_{V,P}^*, Q_{CP}^*] + E[G_M|P_{V,M}^*, Q_{CM}^*] =$$

$$P_{V,MP}^* \times (E[\min\{Q_{CP}^*, \gamma_{MP} A_C^*\}] - Q_{CP}^*) + P_{V,P}^* \times (E[\min\{Q_{CM}^*, \gamma_P \times Q_{CP}^*\}] - Q_{CM}^*) +$$

$$P_{V,M}^* \times E[\min\{Q_{CC}^*, Q_{CM}^*\}] - (c_{MP} \times A_C^* + c_P \times Q_{CP}^*) \quad (5)$$

Las decisiones que maximizan el valor esperado de la ganancia global de la cadena, $E[G_{ED}]$, se denotan A_C^{**} y $P_{V,M}^{**}$ y llamando G_{MED} al valor máximo de esta ganancia esperada, se tiene:

$$G_{MED} = E[G_{ED}|P_{V,M}^{**}, A_C^{**}] = P_{V,M}^{**} \times E[\min\{Q_{CC}^*, \gamma_{MP} \times A_C^{**}\}] - A_C^{**} \times (c_{MP} + E[\gamma_{MP}] \times c_P) \quad (6)$$

En la ecuación (5) $E[\min\{Q_{CP}^*, \gamma_{MP} \times A_C^*\}] - Q_{CP}^*$ es la diferencia entre la venta esperada del Proveedor y la demanda del Productor y $E[\min\{Q_{CM}^*, \gamma_P \times Q_{CP}^*\}] - Q_{CM}^*$ es la distancia entre la venta esperada del Productor y la demanda del Minorista. Estos términos dependen de la incertidumbre en demandas y productividades y no aparecen en (6), siendo propios del manejo descentralizado. Tomamos $G_{MED} - S_{GE}$ como medida de la ventaja de la administración centralizada.

Árboles de decisión

Las variables se restringen a niveles Alto y Bajo (superíndices A y B). Las Figuras 4-6 muestran los árboles del Proveedor, Productor y Minorista, entretanto el manejo centralizado se muestra (dividido) en las Figuras 7 y 8. En este caso, la incertidumbre en productividad está dada por su probabilidad de ser alta $P(\gamma_{MP}^A)$ y $P(\gamma_P^A)$, mientras que la incertidumbre en las demandas del Productor, el Minorista y el Cliente están dadas por su probabilidad de ser altas a precio alto, $P(Q_{CP}^A|P_{V,MP}^A)$, $P(Q_{CM}^A|P_{V,P}^A)$ y

$P(Q_{CC}^A|P_{V,M}^A)$ y a precio bajo, $P(Q_{CP}^B|P_{V,MP}^B)$, $P(Q_{CM}^B|P_{V,P}^B)$ y $P(Q_{CC}^B|P_{V,M}^B)$. Se supone que la probabilidad de demanda alta es mayor a precio bajo. Los valores de los parámetros son: Cultivo $\gamma_{MP}^A=0.4$ kg/m², $\gamma_{MP}^B=0.1$ kg/m², $A_C^A=1000$ m², $A_C^B=500$ m², $P_{V,MP}^A=20$ \$/kg, $P_{V,MP}^B=15$ \$/kg y $c_{MP}=0.5$ \$/m²; Transformación $\gamma_P^A=0.8$ kg producto/kg materia prima, $\gamma_P^B=0.6$ kg producto/kg materia prima, $P_{V,P}^A=45$ \$/kg, $P_{V,P}^B=40$ \$/kg, $Q_{CP}^A=200$ kg, $Q_{CP}^B=100$ kg y $c_P=2$ \$/kg, y Venta $P_{V,M}^A=60$ \$/kg, $P_{V,M}^B=55$ \$/kg, $Q_{CM}^A=160$ kg, $Q_{CM}^B=60$ kg, $Q_{CC}^A=160$ kg y $Q_{CC}^B=60$ kg. Para simplificar se asume:

- Existe la misma probabilidad, $P(\gamma^A)$, de observar valores altos de las productividades en la siembra y producción, esto es $P(\gamma^A_X)=P(\gamma^A_{MP})=P(\gamma^A_P)$.
- La probabilidad de demanda alta a precio alto se denota $P(Q_{CX}^A|P_{V,X-1}^A)$ y es igual para toda la cadena, $P(Q_{CX}^A|P_{V,X-1}^A)=P(Q_{CP}^A|P_{V,MP}^A)=P(Q_{CM}^A|P_{V,P}^A)=P(Q_{CC}^A|P_{V,M}^A)$.
- $P(Q_{CX}^B|P_{V,X-1}^B)$ es la probabilidad de demanda alta a precio bajo y es constante en la cadena, $P(Q_{CX}^B|P_{V,X-1}^B)=P(Q_{CP}^B|P_{V,MP}^B)=P(Q_{CM}^B|P_{V,P}^B)=P(Q_{CC}^B|P_{V,M}^B)$.

El efecto de la incertidumbre sobre el provecho de la administración centralizada, $G_{MED} - S_{GE}$ se estudia variando $P(\gamma^A_X)$, $P(Q_{CX}^A|P_{V,X-1}^A)$ y $P(Q_{CX}^B|P_{V,X-1}^B)$ y resolviendo los árboles de decisión.

RESULTADOS

Efecto de la incertidumbre en las productividades

La Figura 9 muestra los resultados de variar $P(\gamma^A_X)$ con $P(Q_{CX}^A|P_{V,X-1}^A)$ y $P(Q_{CX}^B|P_{V,X-1}^B)$ fijas. La gráfica 9-a muestra las ganancias totales de las formas de manejo (G_{MED} y S_{GE}) y las individuales; la 9-b indica el área fijada centralmente (A_C^{**}) y por el Proveedor (A_C^*); la 9-c el precio al cliente fijado centralmente ($P_{V,M}^{**}$) y por el Minorista ($P_{V,M}^*$) y los precios del Proveedor y Productor ($P_{V,MP}^*$ y $P_{V,P}^*$) y la 9-d las demandas del Productor y Minorista (Q_{CP}^* y Q_{CM}^*).

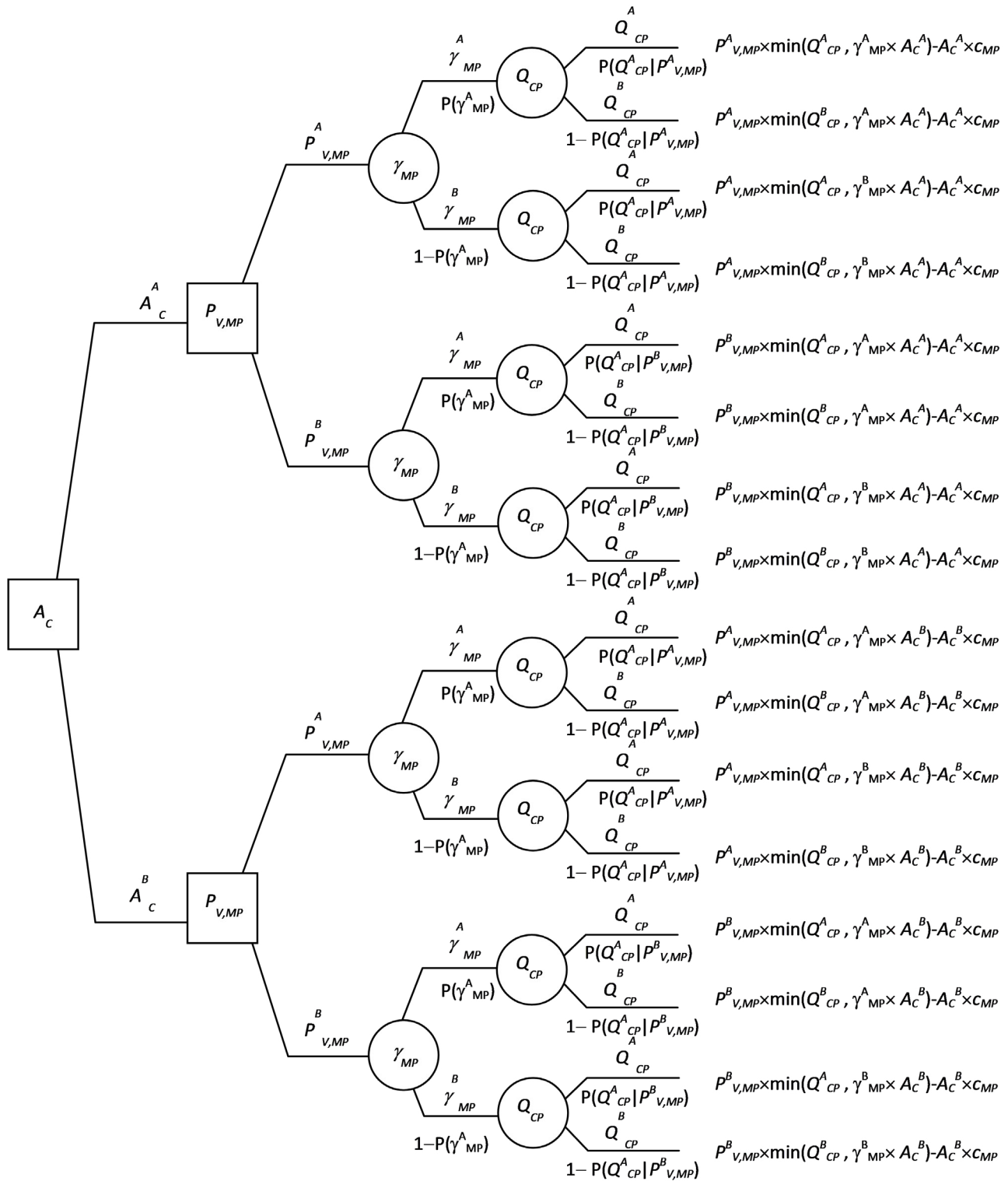


Figura 4. Árbol de decisión del Proveedor de Materia Prima.

Fuente: elaboración propia.

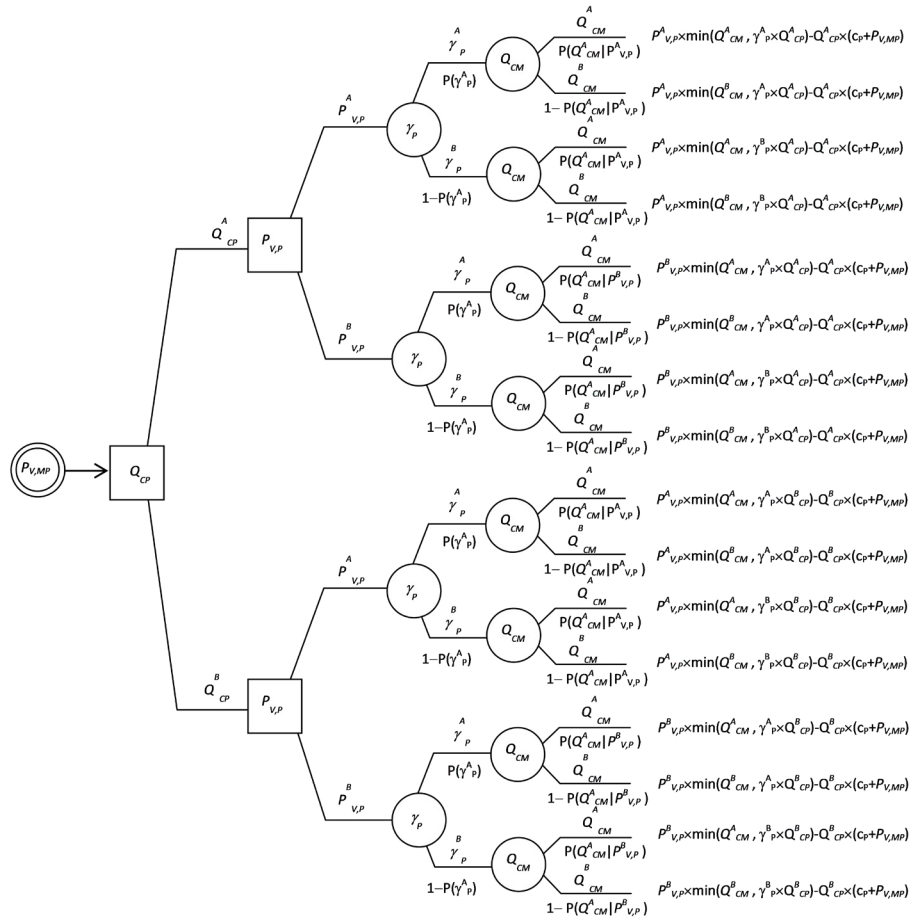


Figura 5. Árbol de decisión del Productor.

Fuente: elaboración propia.

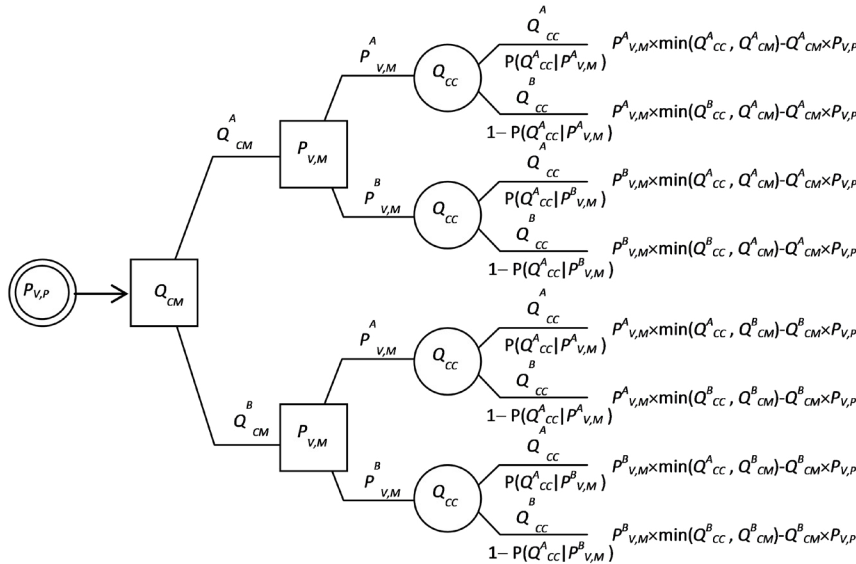


Figura 6. Árbol de decisión del Minorista.

Fuente: elaboración propia.

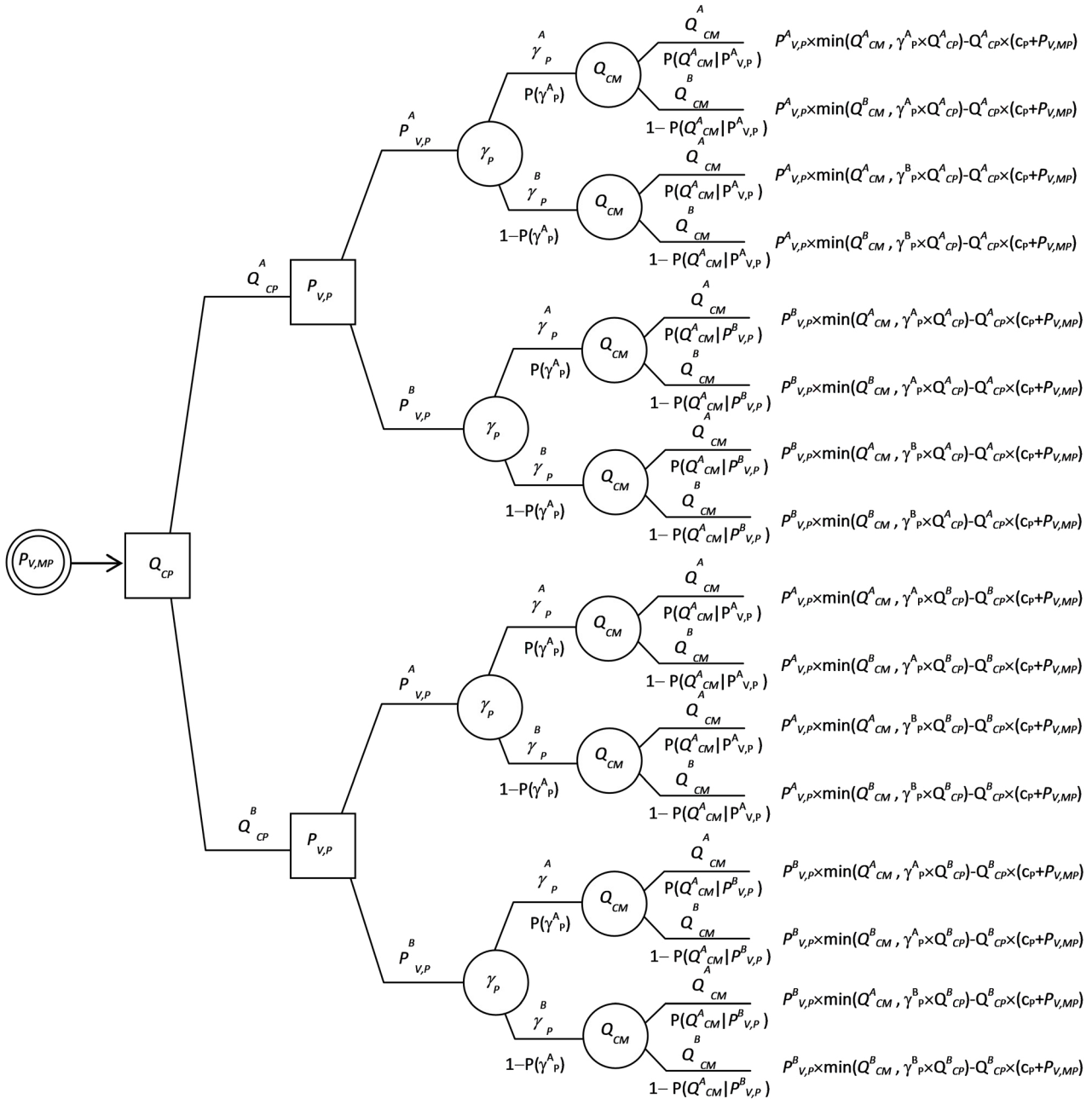


Figura 7. Parte superior del árbol de decisión de la cadena manejada centralizadamente.

Fuente: elaboración propia.

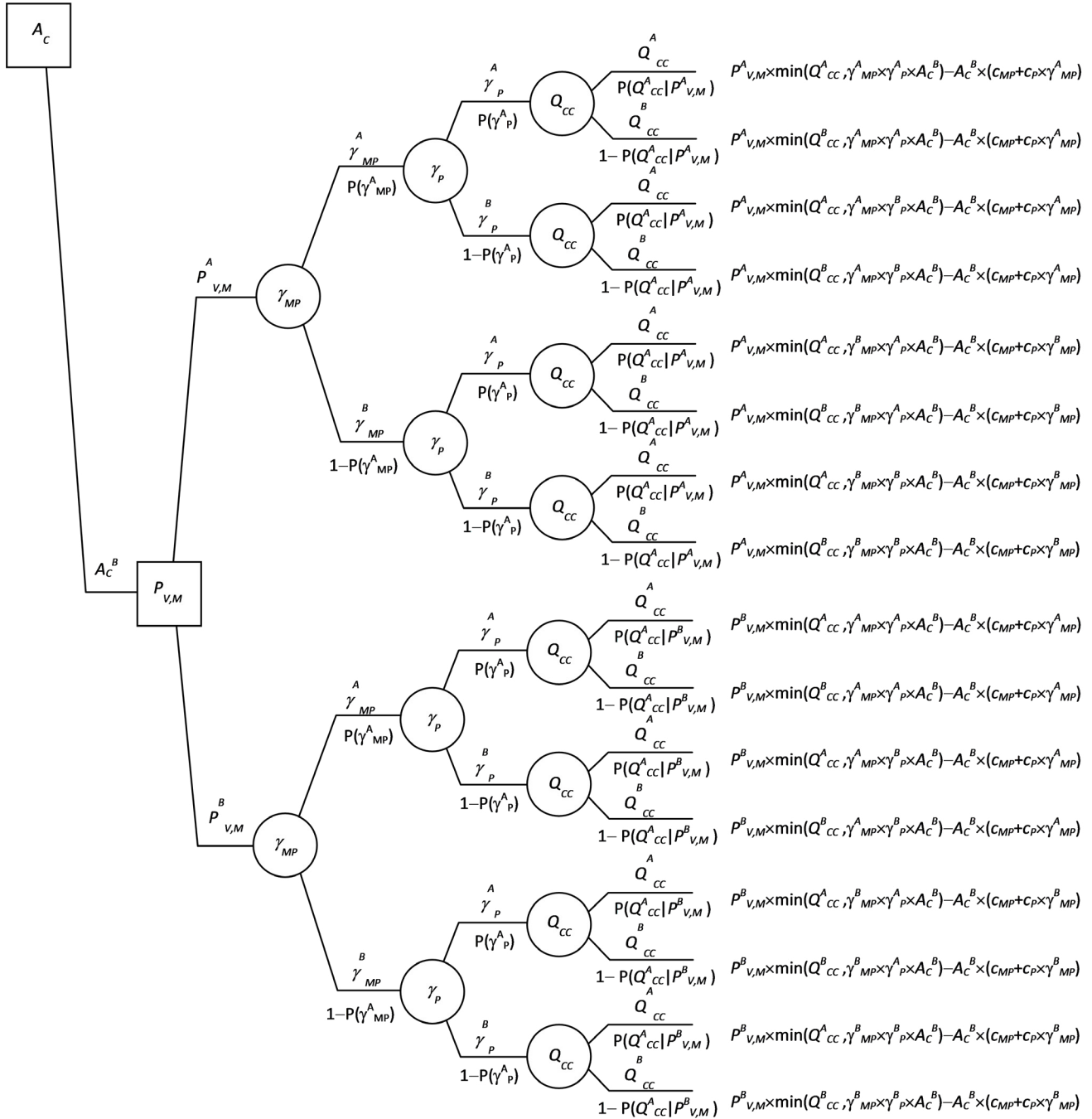


Figura 8. Parte inferior del árbol de decisión de la cadena manejada centralizadamente.

Fuente: elaboración propia.

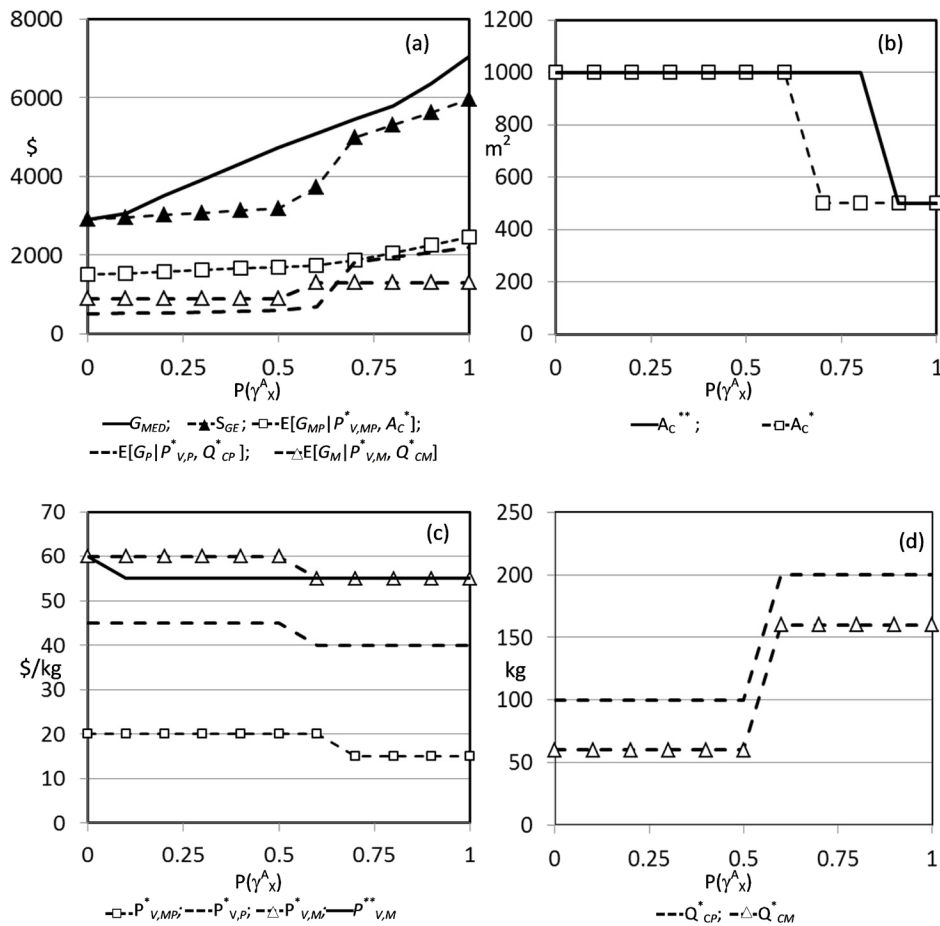


Figura 9(a-d). Ganancias y decisiones vs. $P(\gamma^A_X)$ con $P(Q_{ACX}|PAV,X-1)=0.2$ y $P(Q_{ACX}|PBV,X-1)=0.8$

Fuente: elaboración propia.

$G_{MED} - S_{GE}$ muestra un pico en $P(\gamma^A_X)=0.5$, S_{GE} crece débilmente con $P(\gamma^A_X)$ antes de este valor, mientras G_{MED} sube marcadamente. Esto, debido a que el manejo central fija precio bajo (Figura 9-c) con probabilidad de demanda alta, $P(Q_{CC}^A|P_{VM}^B)$ de 0.8, mientras el Proveedor y Productor fijan precios altos con prospectiva de demanda alta $P(Q_{CP}^A|P_{VM}^A)$ y $P(Q_{CM}^A|P_{VP}^A)$ de 0.2 limitando el impacto de $P(\gamma^A_X)$. Si $P(\gamma^A_X) > 0.5$, Productor y Minorista fijan precios bajos y demandas altas (Figura 9-c y d) y S_{GE} sube rápidamente con $P(\gamma^A_X)$ acercándose más a G_{MED} . Si el Proveedor decide precio y área bajos (Figura 9-b y c). Si $P(\gamma^A_X) \rightarrow 1$, ambos manejos deciden lo mismo en los extremos de la cadena ($A_C^{**} = A_C^* = A_C^B$ y $P_{VM}^{**} = P_{VM}^* = P_{VM}^B$) y el valor de $G_{MED} - S_{GE}$ se

debe a la incertidumbre en la demanda: al $P(\gamma^A_X) \rightarrow 1$, los primeros términos de la ecuación (5) tienden a $E[Q_{CP}] - Q_{CP}^*$ y $E[Q_{CM}] - Q_{CM}^*$ negativos para Q_{CP}^* y Q_{CM}^* altos. En resumen, a más incertidumbre en la productividad, $P(\gamma^A_X)$ cerca de 0.5, mayor $G_{MED} - S_{GE}$: un bajo $P(\gamma^A_X)$ limita el impacto de suprimir la incertidumbre en la demanda y si $P(\gamma^A_X) \rightarrow 1$, ambas formas de manejo deciden igual.

Efecto conjunto de las incertidumbres en productividad y demanda

La Figura 10 muestra el efecto sobre $G_{MED} - S_{GE}$ de las probabilidades de demandas altas, $P(Q_{CX}^A|P_{V,X-1}^A)$ y $P(Q_{CX}^A|P_{V,X-1}^B)$ y productividad alta $P(\gamma^A_X)$.

Como $P(Q_{CX}^A | P_{V,X-1}^B) \geq P(Q_{CX}^A | P_{V,X-1}^A)$, la línea para un $P(Q_{CX}^A | P_{V,X-1}^A)$ dado nace en $P(Q_{CX}^A | P_{V,X-1}^B) = P(Q_{CX}^A | P_{V,X-1}^A)$. Los valores negativos en la Figura 10, surgen porque la ganancia del Minorista, que no considera $P(\gamma_X^A)$, crece con la certeza de venta alta $P(Q_{CX}^A | P_{V,X-1}^B) \rightarrow 1$. Pero si $P(\gamma_X^A) < 1$, esto sobreestima S_{GE} pues no se tendrá suficiente producto. En contraste, la administración central sí considera $P(\gamma_X^A)$ y no sobreestima G_{MED} . Al inicio, $G_{MED} - S_{GE}$ toma un valor constante, que crece si $P(Q_{CX}^A | P_{V,X-1}^A)$ sube desde 0.1 y luego baja si $P(Q_{CX}^A | P_{V,X-1}^A) \rightarrow 1$. Dados los picos en $G_{MED} - S_{GE}$ se concluye que a demanda más incierta (probabilidad cerca de 0.5) mayor $G_{MED} - S_{GE}$. Sobre el impacto de $P(\gamma_X^A)$, se observa que $G_{MED} - S_{GE}$ es muy baja si $P(\gamma_X^A) = 0.2$,

subiendo a mayor $P(\gamma_X^A)$, además, el valor inicial de $G_{MED} - S_{GE}$ aumenta con $P(\gamma_X^A)$, en una proporción mayor a mayor $P(Q_{CX}^A | P_{V,X-1}^A)$. Al aumentar $P(Q_{CX}^A | P_{V,X-1}^B)$, el manejo centralizado fija precio bajo y $G_{MED} - S_{GE}$ sube con una pendiente mayor a mayor $P(\gamma_X^A)$, para luego alcanzar un pico y caer drásticamente. Es a partir de aquí que ambas formas de administrar deciden lo mismo.

Si $P(Q_{CX}^A | P_{V,X-1}^A)$ se mantiene constante y $P(\gamma_X^A)$ sube, el máximo se corre a la izquierda. Esto indica que el rango de valores de $P(Q_{CX}^A | P_{V,X-1}^B)$ donde el manejo central y por separado deciden igual (i.e. la parte de las curvas a la derecha del máximo) crece si $P(\gamma_X^A) \rightarrow 1$. Resumiendo:

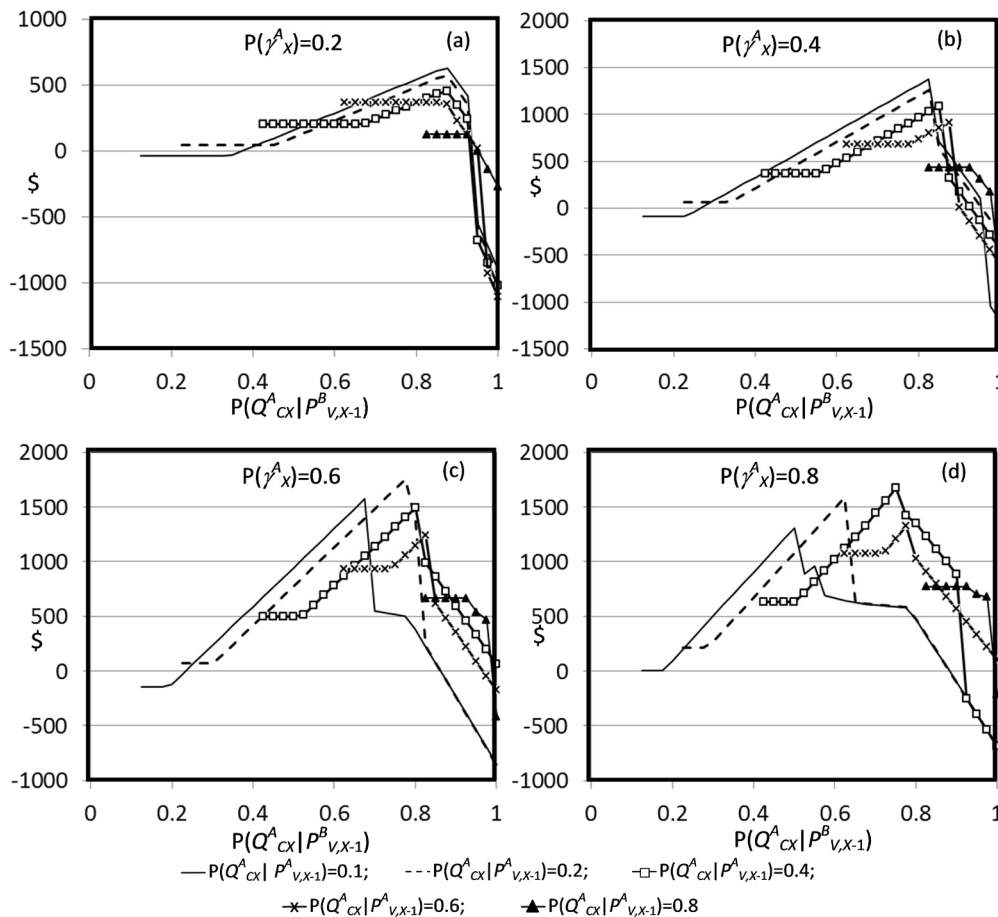


Figura 10(a-d). GMED–SGE contra probabilidad de productividades y demandas altas.

Fuente: elaboración propia.

- A demanda más incierta (probabilidad cercana a 1/2), mayor ventaja del manejo central.
- La prospectiva de alta productividad impacta la ventaja de la centralización
 - La certeza en baja productividad causa una baja ventaja de la centralización.
 - Si la probabilidad de productividad alta sube desde cero, aumenta la ventaja del manejo central; a mayor prospectiva de demanda alta, mayor tamaño del aumento.
 - La certeza en alta productividad disminuye el conjunto de valores de probabilidad de demanda con una alta ventaja de la centralización, dado que las decisiones tomadas centralmente y por separado tienden a igualarse.

CONCLUSIONES

Previamente se ha visto que a más incertidumbre en las demandas de los eslabones, mayor es el beneficio de manejar centralmente una cadena, dado que se suprime la incertidumbre en la demanda de los eslabones intermedios. Pero la operación interna de los eslabones también está sujeta a incertidumbre, que no disminuye por la centralización. Este trabajo presentó un estudio del efecto de la incertidumbre operativa sobre la ventaja de centralizar las decisiones en la cadena usando árboles de decisión con base en una cadena hipotética que, si bien muy simplificada, abstrae los elementos mínimos básicos de las decisiones de una cadena real. Se encuentra que la ventaja de la centralización es mayor si la productividad es más incierta: la certeza en bajas productividades limita el impacto de suprimir la incertidumbre en la demanda, mientras que la certeza en altas productividades provoca que las decisiones alcanzadas centralizada e individualmente sean iguales. Como la cooperación de la cadena acerca su manejo a uno central, la ventaja de la centralización representa el máximo provecho a obtenerse al colaborar, por lo que lo aquí mostrado contribuye a identificar situaciones prácticas donde esto resulte más beneficioso.

Finalmente, para limitar el número de parámetros cuyo efecto se busca examinar, lo presentado incurre en ciertas simplificaciones como, por ejemplo, asumir la igualdad de las probabilidades de la demanda a lo largo de la cadena. Si bien se debe investigar el efecto de esta suposición, pues se antoja difícil que se verifique exactamente en la realidad, puede esperarse que su relajación aumente la descoordinación entre los eslabones y, por tanto, la ventaja del manejo centralizado.

REFERENCIAS

- [1] J. Thénier, J. P. Vial, "Step decision rules for multistage stochastic programming: A heuristic approach", *Automatica*, 44(6):1569-1584, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2008.02.001>
- [2] S. Nickel, F. Saldanha-da-Gama, H.-P. Ziegler, "A multi-stage stochastic supply network design problem with financial decisions and risk management", *Omega*, 40(5):511-524, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.09.006>
- [3] V. De Rosa, M. Gebhard, E. Hartmann, J. Wollenweber, "Robust sustainable bi-directional logistics network design under uncertainty", *International Journal of Production Economics* 145(1): 184-198, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.04.033>
- [4] S.H. Amin, G. Zhang, P. Akhtar, "Effects of uncertainty on a tire closed-loop supply chain network", *Expert Systems with Applications*, 73:82-91, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.12.024>
- [5] N. Ayoub, R. Martins, K. Wang, H. Seki, Y. Naka, "Two levels decision system for efficient planning and implementation of bioenergy production", *Energy Conversion and Management* 48(3): 709-723, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.09.012>
- [6] F. Oliveira, P.M. Nunes, R. Blajberg, S. Hamacher, "A framework for crude oil scheduling in an integrated terminal-refinery system under supply uncertainty", *European Journal of*

- Operational Research*, 252(2): 635-645, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.01.034>
- [7] S. Kumar, T. Havey, "Before and after disaster strikes: A relief supply chain decision support framework", *International Journal of Production Economics*, 145(2): 613-629, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.016>
- [8] A. Soeanu, M. Debbabi, D. Alhadidi, M. Makkawi, M. Allouche, M. Bélanger, N. Léchevin, "Transportation risk analysis using probabilistic model checking", *Expert Systems with Applications*, 42(9): 4410-4421, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.12.052>
- [9] S. Vogel, H. Meyr, "Decentral allocation planning in multi-stage customer hierarchies", *European Journal of Operational Research*, 246(2): 462-470, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.009>
- [10] P. Fiala, "Information sharing in supply chains", *Omega*, 33(5): 419-423, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.07.006>
- [11] R. Guillaume, G. Marques, C. Thierry, D. Dubois, "Decision support with ill-known criteria in the collaborative supply chain context", *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 36:1-11, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2014.06.013>
- [12] J. Gaudreault, J.-M. Frayret, G. Pesant, "Distributed search for supply chain coordination" *Computers in Industry*, 60(6):441-451, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2009.02.006>
- [13] Ch. Van Delft, J.-P. Vial, "A practical implementation of stochastic programming: an application to the evaluation of option contracts in supply chains", *Automatica* 40(5):743-756, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2003.12.008>
- [14] H. M. Wee, P. C. Yang, "The optimal and heuristic solutions of a distribution network" *European Journal of Operational Research*, 158(3): 626-632, 2004. [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(03\)00383-7](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(03)00383-7)
- [15] F. Galasso, C. Thierry, "Design of cooperative processes in a customer-supplier relationship: An approach based on simulation and decision theory", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22(6): 865-881, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2008.10.008>
- [16] C.H. Lee, B.-D. Rhee, T.C.E. Cheng, "Quality uncertainty and quality-compensation contract for supply chain coordination", *European Journal of Operational Research*, 228(3): 582-591, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.02.027>
- [17] G. Zhang, J. Shang, W. Li. "Collaborative production planning of supply chain under price and demand uncertainty", *European Journal of Operational Research*, 215(3): 590-603, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.07.007>
- [18] Y. Acar, S.N. Atadeniz, "Comparison of integrated and local planning approaches for the supply network of a globally-dispersed enterprise", *International Journal of Production Economics*, 167: 204-219, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.05.028>
- [19] D.P. Van Donk, T. Van der Vaart, "A case of shared resources, uncertainty and supply chain integration in the process industry", *International Journal of Production Economics*, 96(1): 97-108, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.03.002>
- [20] C.Y. Wong, S. Boon-itt, C.W.Y. Wong, "The contingency effects of environmental uncertainty on the relationship between supply chain integration and operational performance", *Journal of Operations Management*, 29(6): 604-615, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2011.01.003>
- [21] M. Adamczak, R. Domanski, L. Hadas, P. Cyplik, "The integration between production-logistics system and its task environment - chosen aspects", *IFAC-PapersOnLine*, 49(12): 656-661, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.771>
- [22] R. Yan, K.-Y. Wang, "Franchisor-franchisee supply chain cooperation: Sharing of demand

- forecast information in high-tech industries", *Industrial Marketing Management*, 41(7): 1164-1173, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2012.06.013>
- [23] K.N.S. Iyer, R. Germain, C. Claycomb, "B2B e-commerce supply chain integration and performance: A contingency fit perspective on the role of environment", *Information and Management*, 46(6): 313-322, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.im.2009.06.002>
- [24] R. Titah, S. Shuraida, Y. Rekik, "Integration breach: Investigating the effect of internal and external information sharing and coordination on firm profit", *International Journal of Production Economics*, 181-A: 34-47, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.01.002>
- [25] H. Lee, M.S. Kim, K.K. Kim "Interorganizational information systems visibility and supply chain performance" *International Journal of Information Management* 34(2): 285-295, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfor.2013.10.003>
- [26] T.A. Chin, A.B.A. Hamid, A. Rasli, H.H. Tat "A Literature Analysis on the Relationship between External Integration, Environmental Uncertainty and Firm Performance in Malaysian SMEs" *Procedia, Social and Behavioral Sciences* 130:75-84, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.04.010>
- [27] C.W.Y Wong, K.-H. Lai, E.W.N. Bernroider "The performance of contingencies of supply chain information integration: The roles of product and market complexity" *International Journal of Production Economics* 165: 1-11, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.03.005>
- [28] D.J.-F. Jeng, "Generating a causal model of supply chain collaboration using the fuzzy DEMATEL technique" *Computers and Industrial Engineering* 87: 283-295, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.05.007>
- [29] M.J. Matanda, S. Freeman "Effect of perceived environmental uncertainty on exporter-importer inter-organizational relationships and export performance improvement" *International Business Review* 18(1): 89-107, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2008.12.004>
- [30] R.T. Clemen, "Making Hard Decisions" Segunda Edición. Duxbury Press. EUA, 1996





El picosatélite Biosat1: una extensión de las capacidades científicas para la exploración y preservación de la fauna y flora en lugares de difícil acceso

The Biosat1 picosatellite: an extension of scientific capabilities for the exploration and preservation of fauna and flora in hard-to-reach places

Ricardo Andrés Santa Quintero¹ 

Para citar: Santa, R. (2019). El picosatélite Biosat1: una extensión de las capacidades científicas para la exploración y preservación de la fauna y flora en lugares de difícil acceso. *Redes de Ingeniería*, 10(1), 26-33, doi: <https://doi.org/10.14483/2248762X.14959>.

Recibido: 31-mayo-2019 / **Aprobado:** 12-noviembre-2019

Resumen

Se desarrolla el diseño conceptual de un picosatélite del tamaño de una lata de refresco, el cual permite realizar misiones como sonda en las superficies de los planetas, como satélite de baja altura y como satélite en órbita geoestacionaria. Incluye el diseño conceptual de la estación terrena y los mecanismos para publicar la información en internet y permitir su consulta en línea.

Palabras clave: Cansat, exploración, geoestacionaria, picosatélite, sonda.

Abstract

Conceptual design of a picosatellite the size of a can of soda, which allows to perform missions as a probe on the surfaces of planets, as a low-altitude satellite and as a satellite in geostationary orbit. It includes the conceptual design of the earth station and the mechanisms to publish the information on the internet and allow its online consultation.

Keywords: Cansat, exploration, geostationary, picosatellite, probe.

1. Magíster en tecnologías digitales aplicadas a la educación, Universidad Manuela Beltrán, Colombia. Correo electrónico: ricardo.santa@docentes.umb.edu.co, ricardo.santa@softwareultimate.com

INTRODUCCIÓN

Tal como en los tiempos antiguos, hoy todavía los seres humanos continúan explorando los lugares de la tierra y del espacio tratando de desentrañar sus características y todo aquello que se pueda conocer en este mundo; sin embargo, hoy se reemplaza el sextante y las pinzas por el GPS y los sensores, las cajas de hojalata por las tecnologías de la información y las comunicaciones. Aun así, la pretensión sigue siendo la misma: conocer el universo [1].

Al igual que Humboldt en el continente americano, el Biosat1 será el pionero en explorar zonas donde el ser humano aún no ha podido llegar para analizar las características del lugar, no solo en la superficie como sondas que reciben los datos del nuevo mundo que se desconoce [2], [3], sino también como satélites aerostáticos que observan la atmósfera. Este obtiene datos como el campo magnético, sus propiedades en la estratósfera del planeta y los relaciona para tener una imagen más detallada de esos lugares aún inaccesibles o de difícil acceso; así, hay un conocimiento más real de estos lugares sin alterar demasiado el ambiente del mismo. Como dice Elon Musk: “deseas despertarte en la mañana y piensas que el futuro va a ser magnífico —y eso es lo que significa ser una civilización del vasto espacio—” [4].

USO DEL SATÉLITE BIOSAT1

Este pequeño satélite, picosatélite [5], se diseña siguiendo los parámetros de tamaño y peso definidos para un Cansat [6]. El diseño permite que este picosatélite realice tres tipos de misiones:

- Monitoreo ambiental en lugares inaccesibles. Explora lugares inaccesibles de la superficie del planeta [7] al ser lanzada desde gran altura, llega intacta a la superficie gracias al paracaídas (Figura 1). Siempre transmite la información a receptores situados a decenas de kilómetros utilizando su sistema de comunicaciones.



Figura 1. Paracaídas desplegado del Biosat1 durante las pruebas en Bituima, Cundinamarca. Noviembre de 2018

Fuente: elaboración propia.

- Picosatélite para control de cultivos. Flota en la atmósfera a una altura de 20 kilómetros y hasta 40 kilómetros mediante un globo de helio. Transmite la información recolectada a la superficie terrestre o a un satélite de gran altura. En esta misión, se miden variables ambientales específicas con el cultivo, lo cual permite su control.
- Constelaciones de picosatélites fijos para monitoreo de zonas en riesgo. Al estar fijos sobre una misma zona en la superficie terrestre mide calidad del aire, campos magnéticos, luminosidad y temperatura sobre la zona de estudio, permitiendo alertar sobre cambios en las mediciones de la atmosféricas y relacionar los eventos en la superficie como incendios, sequías, precipitaciones [8].

DISEÑO DEL SATÉLITE

Biosat1 es un pequeño satélite modular [9] que permite monitorear en tiempo real las variables

atmosféricas, campos magnéticos, radiación UV y luminosidad de un punto dado en diversas misiones; así, posibilita obtener información detallada de lugares de difícil acceso para el ser humano. Tiene las siguientes características:

- Utiliza energía solar. Utiliza energía solar para su funcionamiento y tiene cero emisiones de carbono. Las celdas solares se despliegan una vez está en posición estable. Lleva baterías como sistema de almacenamiento que le permite soportar largos períodos de funcionamiento sin luz solar.
- Permite explorar. Permite explorar y monitorear lugares naturales que deben conocerse sin destruirlos o invadirlos, tales como la selva, el océano, los desiertos, los páramos, los nevados y los polos. Es una exploración de bajo impacto que, sin embargo, entrega datos relevantes en todo momento y que permitirán tener información del comportamiento de los diversos ecosistemas.
- Brinda datos y permite obtener información y conocimiento. Brinda datos de diversa índole sobre las condiciones atmosféricas y medioambientales de lugares inaccesibles o peligrosos para el ser humano, como aquellos donde ocurrieron accidentes nucleares (como Chernóbil y Fukushima).
- Sistema de apoyo. Se convierte en un sistema de apoyo para las labores de rescate en zonas de desastre natural, permitiendo la ubicación de personas afectadas y desaparecidas.
- Observa y transmite. Cuando llega a lugares inexplorados brinda datos de vital importancia para las expediciones de exploración futuras, preparando el camino para la segunda generación de exploradores y, seguramente, para los primeros seres humanos que las explorarán.
- Extiende los sentidos. Es una extensión de los sentidos del ser humano, le permite tener datos más exactos y en tiempo real de los lugares que explora y preserva en el planeta y fuera de él.

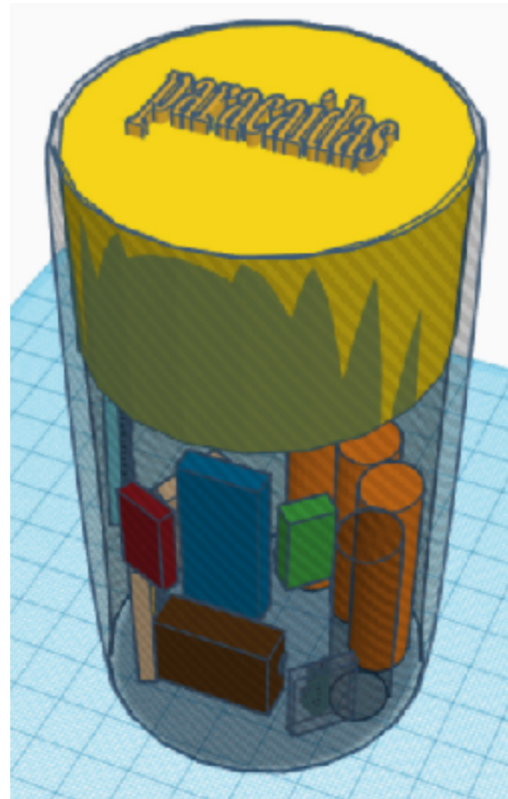


Figura 2. Modelo 3D del Biosat1.

Fuente: elaboración propia.

FUNCIONAMIENTO

En las tres misiones, los datos se transmiten desde el Biosat1 a la base terrena o base de retransmisión que los recopila, almacena y distribuye a servidores en internet, ello con el fin de que puedan ser consultados por diversos usuarios. En estos servidores, los datos se registran, tabulan, organizan, analizan, segmentan y comparan, permitiendo generar información de pronósticos, estimaciones, tendencias y relaciones entre hechos o fenómenos que parecen independientes.

Los usuarios pueden acceder a estos resúmenes o a los datos en bruto a través de servicios web o aplicaciones que corren en dispositivos móviles o computadores. El sistema de información genera los siguientes resultados:

- Pronóstico del estado del tiempo (clima).
- Alertas tempranas de eventos naturales.

- Alertas por rayos ultravioleta.
- Alerta cambios en el campo magnético.
- Información en línea de datos de la ubicación del Biosat1 tales como latitud, longitud, altitud, presión atmosférica, temperatura, radiación UV y Campo magnético.

Por su bajo costo, pueden lanzarse miles de Biosat1 para establecer redes de monitoreo detallado sobre lugares específicos, poco conocidos, de difícil acceso o peligrosos para los humanos.

TECNOLOGÍA UTILIZADA

La construcción del Biosat1 se basa en módulos con funcionalidades precisas, de tal forma que pueden intercambiarse de acuerdo con las necesidades de las misiones, las condiciones del lugar y las características de la exploración [10]. Incluye (Figura 3).

- Tarjeta programable Arduino nano para el control de los sensores, las comunicaciones y la misión [11].

- Conjunto de sensores de luminosidad, radiación UV, campo magnético, presión atmosférica, humedad y gases.
- GPS para misiones en superficie o de baja altura.
- Sistema de potencia que contiene baterías recargables y paneles solares.
- Sistema de paracaídas, lanzador y liberador.
- Sistemas de comunicaciones de baja frecuencia que consta de un amplificador y una antena para transmitir a grandes distancias [12].
- Dispositivos de respaldo para todos los sistemas vitales del Biosat1 que incluye baterías, celdas solares, unidad de procesamiento, sistema de comunicaciones y sensores expuestos (Figura 4).

Sin el sistema de respaldo, todos estos componentes tienen un peso de 196 gramos que puede reducirse al momento de la construcción. El peso total con paracaídas no supera los 360 gramos. El sistema del Biosat1 es resistente a impactos, a temperaturas extremas (-80 y 300 grados Celsius), humedad, arena y polvo. Cuenta con un recubrimiento interno que abullona, preserva y sostiene los componentes.

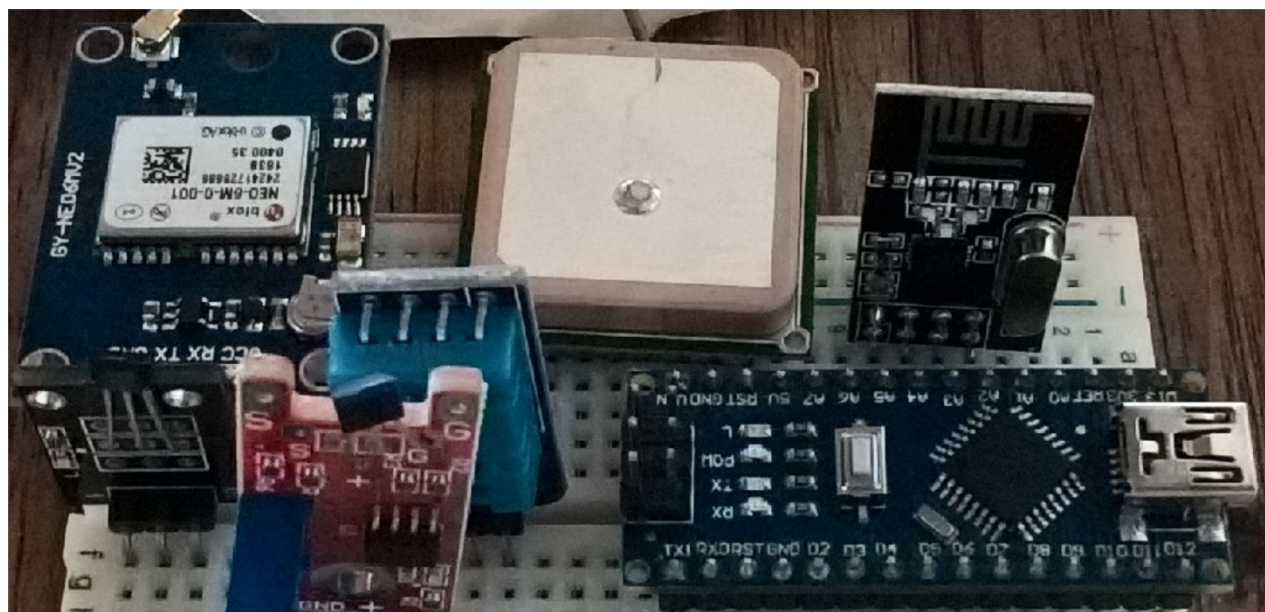


Figura 3. Componentes electrónicos utilizados en el Biosat1.

Fuente: elaboración propia.

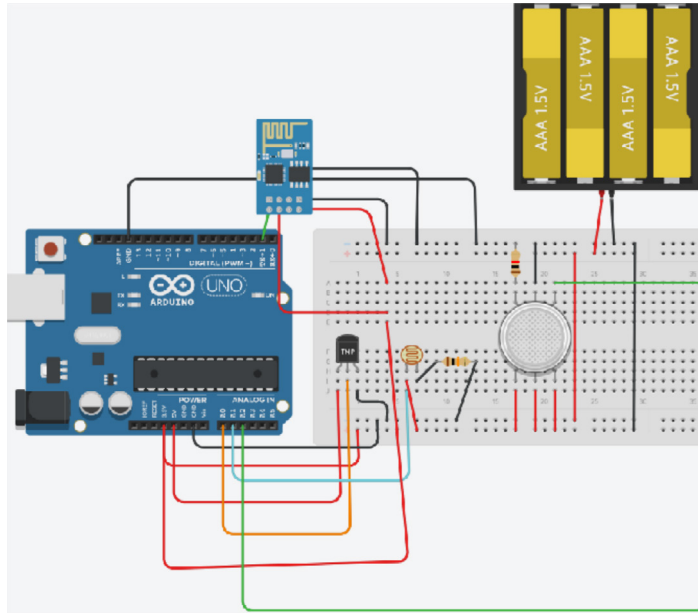


Figura 4. Diseño de ensamblaje para baterías, sensores y comunicaciones del Biosat1.

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

Este proyecto entiende como una de sus mayores responsabilidades la recolecta datos en cada misión de prueba, teniendo como premisa que “una misión de demostración exitosa se mide por la calidad de la información que se obtiene y que se aprovecha para mejorar el vehículo de lanzamiento para nuestros clientes actuales y futuros” [13].

Las pruebas realizadas en tierra utilizaron la configuración expuesta en la Tabla 1.

Biosat1: Configuración	
Componente	Característica
Cantidad de sensores análogos	4
Cantidad de sensores digitales	4
alcance de la transmisión	840 mts
Peso del satélite (con baterías)	250 grs
Consumo de energía	520mAh
Estación terrena conectada a internet	1
Sitio web para visualizar datos	1
Costo insumos por satélite	U\$144

Tabla 1. Características del Biosat1.

Fuente: elaboración propia.

La base terrena recopiló, en sesiones de dos horas continuas, datos del picosatélite. Fueron analizadas y publicadas en la nube donde están disponibles para el estudio de las misiones (Figura 5).

Los datos almacenados están disponibles en repositorios para ser utilizadas en línea a través de aplicaciones móviles y páginas web, también para descarga y posterior tabulación y análisis fuera de línea (Figura 6).

DISCUSIÓN

La construcción de picosatélites con capacidades de monitoreo y transmisión en tiempo real es totalmente factible desde el punto de vista técnico y legal [14]. Las habilidades necesarias para realizar este tipo de desarrollos tecnológicos y proveer soluciones para la investigación o la empresa están disponibles, incluso, en estudiantes de secundaria.

La capacidad para lograr que estos desarrollos tecnológicos sean utilizados de forma seria por la industria y el comercio aún está en ciernes. Los grupos de investigación que participan en los retos

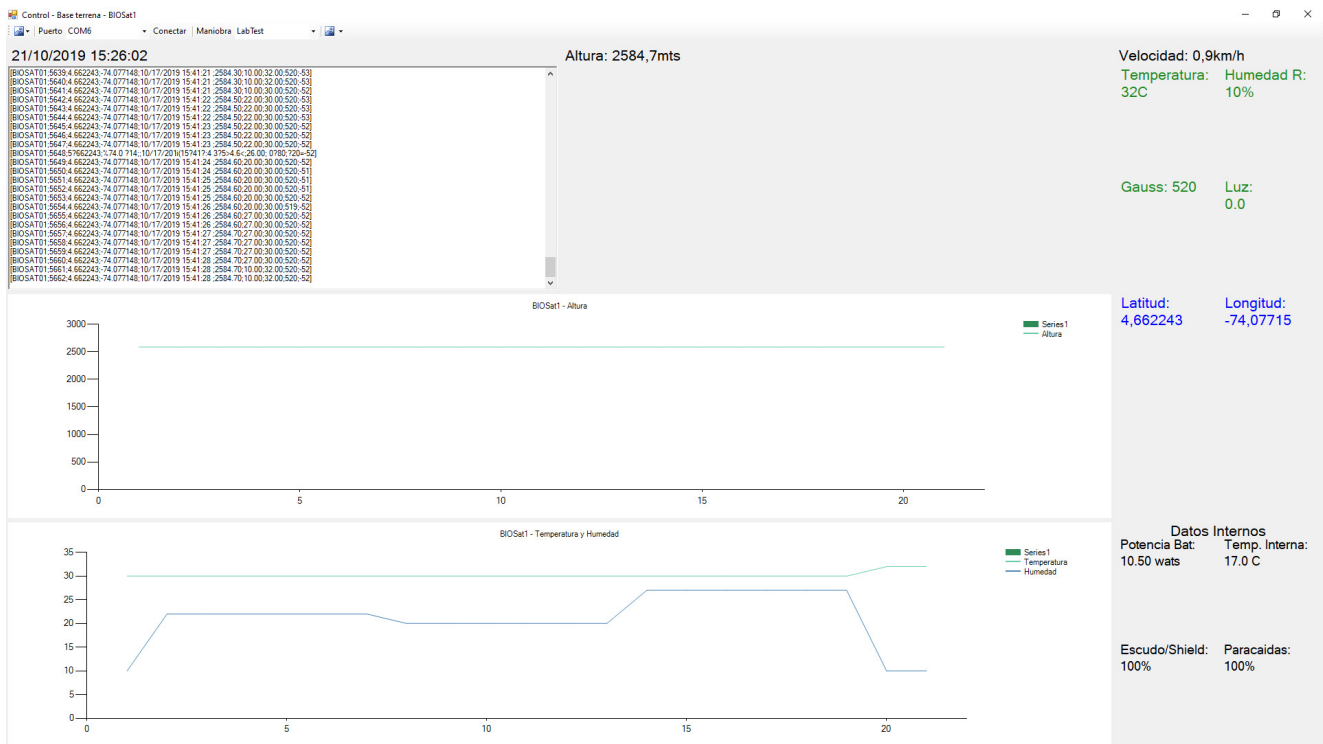


Figura 5. Software de control de la base terrena del Biosat1.

Fuente: elaboración propia.

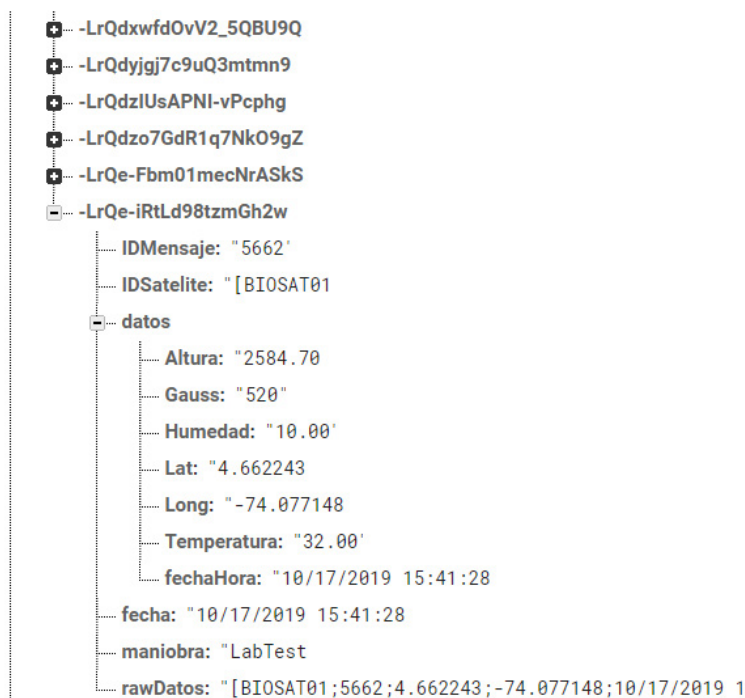


Figura 6. Datos almacenados de las misiones de pruebas del Biosat1.

Fuente: elaboración propia.

de innovación apenas están logrando insertarse en el mercado tecnológico con sus soluciones.

Cabe señalar que los estándares de diseño y construcción de los picosatélites en Colombia no son aplicados, dificultando el enfoque de las iniciativas.

CONCLUSIONES

A lo largo del texto se demuestra que es factible la construcción de picosatélites con las tecnologías disponibles en el mercado; sin embargo, el desarrollo y construcción de piezas que permitan ser homologadas para el ensamblaje de picosatélites aún está por nacer.

La imposibilidad de realizar pruebas reales en el espacio o a gran altura no permiten adentrarse en la investigación fáctica del espacio [15]. La utilización de estos picosatélites en monitoreo medioambiental y las aplicaciones al sector agrícola es posible utilizando globos aerostáticos de baja altura (inferior a 75mts) y atados a tierra; en explotaciones mineras o industriales pueden utilizarse postes de gran altura, chimeneas y construcciones altas para sostener los picosatélites.

Vale la pena señalar que:

En esta conquista, no hay conquistadores ni piratas de mirada feroz y manchados de sangre; no figuran en ella caballeros cubiertos de acero ni arcabuceros escupiendo fuego. Las armas más ofensivas de estos hombres de conquista son cajas de hojalata para los insectos, sextantes y pinzas, pues sus héroes son los naturalistas, los hombres de ciencia que abrieron Sudamérica. [1]

REFERENCIAS

[1] V. W. Von Hage, *South America Called Them: Explorations of the Great Naturalists: La Condamine, Humbolt, Darwin*. Nueva York: Spruce, 1945. <https://doi.org/10.2307/1438297>

- [2] S. Buettrich, "Cálculo de Radioenlace". [En línea]. Disponible en: http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf. <https://doi.org/10.21640/ns.v6i12.21>
- [3] NASA, *CubeSat 101: basic concepts and processes for first-time CubeSat developers*. San Luis Obispo: NASA, 2017.
- [4] SpaceX, "Making life multiplanetary". [En línea]. Available: http://www.spacex.com/sites/spacex/files/making_life_multiplanetary-2017.pdf.
- [5] A. Colin, «Picosatélites CANSAT,» Ciencia y sociedad - UNANL, pp. 10-16, 2016.
- [6] European Space Competition. CanSat. [En línea]. Disponible en: <http://www.esa.int/Education/CanSat>
- [7] Latam Satelital, "Desarrollo satelital en Colombia, frustraciones y oportunidades". [En línea]. Disponible en: <http://latamsatelital.com/desarrollo-satelital-en-colombia-frustraciones-y-oportunidades/>. <https://doi.org/10.2307/j.ctv86dh5c.8>
- [8] El Espectador, "Gobierno Nacional suspende compra de satélite". [En línea]. Disponible: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/gobierno-suspende-compra-de-satelite-articulo-516839>
- [9] S. Nakasuka, "What is Important in Micro/nano/pico-satellites Development". [En línea]. Disponible en: http://www.unisec-global.org/pdf/uniglo5/day1/Lecture1_Nakasuka.pdf
- [10] UNISEC, "Can Satellite (CanSat): Design Manual. University Space Engineering Consortium". [En línea]. Disponible en: <http://www.rast.org.tr/UTEB/doc/egitim/doc-2.pdf>
- [11] S. Libow y G. Stager, *Invent to learn. Making, tinkering and engineering in the classroom*. Ohio: Constructing Modern Knowledge Press, 2013.
- [12] R. Faludi, *Building wireless sensor network*. Newton: O'Reilly Media, 2010.
- [13] SpaceX, "Falcon heavy press kit v1". [En línea]. Disponible en: http://www.spacex.com/sites/spacex/files/falconheavypresskit_v1.pdf

[14] Departamento Nacional de Planeación, “Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022: implementar una política nacional para desarrollar el sector espacial”. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación, 2019. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n89a06>

[15] J. G. Portilla, “El limbo de la Comisión Colombiana del Espacio”. [En línea]. Disponible en: <https://www.semana.com/tecnologia/articulo/el-limbo-de-la-comision-colombiana-del-espacio/486295>. <https://doi.org/10.2307/j.ctv86dfx3.6>





Uso de la fibra sintética en el concreto estructural para edificaciones

Applications of reinforced concrete with synthetic fiber for buildings

Andrés Ramírez Gómez¹  Cesar Stiveen Gutiérrez Almarino² 
Juan Miguel Granados Valderrama³ 

Para citar: Ramírez, A., Gutiérrez, C. y Granados, J. (2019). Uso de la fibra sintética en el concreto estructural para edificaciones. *Redes de Ingeniería*, 10(1), 34-42, doi: <https://doi.org/10.14483/2248762X.14250>.

Recibido: 10-diciembre-2018 / **Aprobado:** 8-noviembre-2019

Resumen

En el 2016, se inicia la investigación buscando un concreto con mayor resistencia sin aumentar significativamente su costo. Al consultar varias fuentes se evidenció que el uso de las fibras en el mundo estaba aumentando. Ante los estudios realizados por otros investigadores, se plantea la hipótesis de que el uso de las fibras sintéticas en las estructuras verticales era demasiado limitado; así, se inició la consulta de fuentes acerca de las propiedades físicas y químicas de esta fibra. El inicio del uso a nivel mundial en materia de fibras sintéticas se da en Japón, lugar de varias empresas que fabrican y comercializan este material como refuerzo del concreto. La investigación llevó a la Universidad de Michigan, donde el director de investigaciones, el doctor Víctor Li, también avanzaba en el estudio del comportamiento y usos del concreto reforzado con fibra sintética, lo cual brindó la motivación para creer que el camino escogido era el correcto.

Palabras clave: elementos estructurales, fibra sintética, reforzamiento, sismorresistencia.

Abstract

In 2016 the research begins, looking for a material with the premise of increasing the strength of the concrete without this being directly proportional to the relationship with the cost. After consulting several sources, it was evidenced that the use of fibers in the world was increasing. Before the studies carried out by other researchers, it was hypothesized that the use of synthetic fibers in vertical structures was too limited. The consultation of sources about the physical chemical properties of these fibers was initiated, thus posing a possible solution to the problem of improving resistance versus reasonable cost. The beginning of the use worldwide in the matter of synthetic fibers goes back to Japan, place of several companies that manufacture and commercialize this material as reinforcement of the concrete. The research transported us to more than 10,000 kilometers, taking us to the University of Michigan, where the director of research Dr. Víctor Li, also advanced in the study of the behavior and uses of synthetic fiber reinforced concrete, several emails and conversations with the research center, gave the motivation to believe that the chosen path was the right one.

Keywords: synthetic fiber, reinforcement, structural elements, earthquake resistance.

1. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia. Correo electrónico: arginco@yahoo.es, andres.ramirezg@ustadistancia.edu.co
2. Estudiante Construcción en Arquitectura e Ingeniería, Universidad Santo Tomas, Colombia. Correo electrónico: cesargutierrez@ustadistancia.edu.co
3. Estudiante Construcción en Arquitectura e Ingeniería, Universidad Santo Tomas, Colombia. Correo electrónico: juangranados@ustadistancia.edu.co

INTRODUCCIÓN

En el territorio colombiano, al igual que en la gran mayoría de los países, se ha establecido el concreto como el material de mayor uso en las construcciones a beneficio de la sociedad: viviendas con sistemas estructurales avalados por la norma vigente, puentes con grandes luces entre apoyos o columnas, mallas viales construidas sobre suelos flexibles y rígidos, placas de contrapiso de amplia área en zonas de uso comercial, entre otras. La idea inicial de aumentar las capacidades de este material sin aumentar significativamente su costo indiscutiblemente venía de la mano con la necesidad de enfocarse en la construcción de elementos estructurales duraderos, reducción en su sección transversal, mejora en la resistencia y obtención de mejor desempeño ante los esfuerzos a los que se ve sometida una estructura frente a un sismo.

El uso de concreto flexible también se requiere en temas urbanísticos como en reparación de puentes, ello ante la disminución de su fisuración o agrietamientos, donde las fibras sintéticas no reemplazan el acero, pero sí aportan a las propiedades mecánicas del material compuesto; es allí donde actúan de la mejor manera posible, amarrándose a la mezcla y evitando un fisuramiento generalizado y profundo del concreto.

Cabe resaltar que la fibra no busca reemplazar el acero, el cual es un material muy importante y de alta resistencia para tomar los esfuerzos de tensión en los elementos estructurales de concreto reforzado en sus diferentes usos, sino que la fibra sintética se integra a este material compuesto con el fin de establecer una mayor resistencia a la compresión, ductilidad y tracción ante esfuerzos generados, principalmente, por eventos sísmicos, fuerzas dinámicas u otros.

Una de las construcciones ya realizadas con este tipo material es el puente Mihara Bridge en Hokkaido, Japón. Este puente es un 40% más ligero que si

hubiese sido construido en concreto convencional y se estima que tiene una vida de servicio de 100 años. En Colombia, para la segunda fase del Centro Comercial Diver Plaza, ubicado en Bogotá D.C., se utilizaron fibras en las placas de contrapiso y entrepiso, siendo este tipo de construcción de uso comercial; asimismo, en otros sectores la fibra ha destacado por ser útil en pisos industriales, muros de contención y placas en sótanos [1].

USOS Y FUNDAMENTOS

Se realizó un proyecto de investigación cuyo proceso técnico fijó un objetivo para utilizar el concreto convencional combinado con fibras sintéticas. El material compuesto presenta mejoras en las propiedades mecánicas como compresión, flexión y tracción indirecta con respecto al concreto convencional, además de la reducción de las secciones transversales y del peso de los elementos estructurales.

Se crea una propuesta viable en la industria de la construcción mediante la implementación de nuevas tecnologías en materiales y alternativas para diferentes usos en construcciones verticales u horizontales, entre estos se pueden mencionar edificios, vías, puentes, túneles, cimentaciones, entre otros. Asimismo, cabe resaltar que su objeto de estudio principal son elementos como vigas y placas de entre piso, cuyo estudio de diseño y proceso constructivo está acorde con las normas vigentes colombianas tales como la NSR-10.

Este tipo de material ha sido usado en países como Japón, Corea, Suiza y Australia; sin embargo, a nivel mundial no se ha logrado expandir debido a que faltan estudios en elementos cargados a largo plazo. Lo anterior genera que en el comercio no sea un producto altamente solicitado, ya que las investigaciones a fondo son limitadas y, por lo tanto, son pocos los visionarios que se deciden a implementarlas en una obra real. Las pruebas realizadas a corto plazo muestran resultados muy

satisfactorios, esto sirve de base para profundizar en otros estudios complementarios y vitales, augurándole un éxito a este complemento.

De acuerdo con la investigación de Su-Jin Lee y Jong-Pil Won en 2014, se puede obtener una equivalencia entre la fibra sintética y la fibra de acero, de tal manera que la mezcla sea manejable sin la reducción de la resistencia por los altos porcentajes de fibra sintética [2]. Además, las mezclas con 10 kg/m³ dosis de fibras sintéticas de poliolefina han cumplido los requisitos establecido en las normas que permiten considerar la contribución de las fibras en el diseño estructural de un elemento [3].

Según la investigación de Asad Zia y Majid Ali en 2017, la adición de fibras de nylon al 1% al hormigón mejoró la compresión, tracción y resistencias a la flexión en un 7%, 10% y 12% respecto al hormigón convencional. La ductilidad del hormigón también se mejoró y se observó una mayor durabilidad debido a la reducción de la fisuración con la consiguiente mejora del hormigón para la construcción de canales [4].

En la investigación adelantada por Mohammad Abdur Rasheed y Suriya Prakash en 2015, el comportamiento mecánico de los cilindros bajo compresión pura y bloques bajo flexión con y sin refuerzo de fibra estructural de poliolefina, así como híbrido, arrojaron resultados de las pruebas que indican que la adición de fibras estructurales mejoró la resistencia a la compresión de hasta 66.8% para la fracción de volumen de 0.55%. La ductilidad pospico mejoró hasta un factor de nueve en caso de compresión para una fracción de volumen del 0.55%. Del mismo modo, resultó en un aumento del 15.31% de ductilidad a la flexión pospico mediante una adición híbrida de 0.44% y 0.02% de fracción de volumen de macro y microfibras respectivamente. El refuerzo de fibra híbrida mejoró la resistencia máxima y la ductilidad, lo cual indicó un mejor puente de grietas tanto a nivel micro como macro [5].

Los resultados de la investigación realizada en 2012 por Amir Alani y Derrick Beckett demuestran que el uso de las fibras sintéticas a una dosis de 7 kg/m³ se comparan favorablemente con fibras de acero con gancho en una dosis de 40 kg/m³ [6].

CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO

Los concretos en la industria se han denominado como material de mayor uso en las diferentes construcciones que se observan en la sociedad, siendo este el promotor del desarrollo de diferentes países en razón de que la infraestructura genera avances tecnológicos y ampliación de conocimientos; por ello, el concreto de alto desempeño se puede considerar uno de los más estudiados ante las estructuras, obteniendo resistencias aproximadas de 42 MPa (6000PSI) [3]. Este tipo de concretos de alto desempeño es utilizado en edificaciones de alturas considerables, presentándose ante la industria como una alternativa con ventajas sumamente positivas para la construcción de rascacielos [7]. Vale la pena resaltar que en Colombia se ha utilizado este concreto de alto desempeño en la ciudad de Barranquilla, edificio Grattacielo [8].

Finalmente, es importante mencionar que, en un comparativo de concretos de alto desempeño versus el material sintético antes mencionado, cada diseño de mezcla debe contar con un agregado fino (cemento) de alta calidad para que sea óptima su resistencia [9].

MÉTODOS

Programa experimental

Dentro de la investigación realizada por la Universidad Santo Tomás, Vicerrectoría de Universidad Abierta y a Distancia (VUAD) y por el semillero de investigación "SIAC" en avances de la construcción, se realizaron un total de 48 especímenes. Semanalmente se construyeron doce, discriminados en ocho Cilindros y cuatro viguetas, los cuales

fueron fundidos en los laboratorios de la Universidad Santo Tomas; los ensayos se realizaron en las instalaciones de Asocreto Colombia, una entidad certificada para realizarlos. La programación fue diseñada para optimizar los costos y el tiempo de realización de los ensayos, dando espacio al fraguado y desencofrado del concreto [10], [11].

Los ensayos a los especímenes se realizan a los catorce y veintiocho días después de fundido el material, de a dos especímenes por fecha, logrando obtener un resultado promedio de las resistencias a compresión, flexión y tensión indirecta [12], [13].

El método empleado para la dosificación y mezcla se realizó siguiendo la norma ACI 211.1 con un concreto de 21 MPa de resistencia nominal a la compresión ($f'c$); además, se tuvieron en cuenta las recomendaciones dadas por los fabricantes y los profesionales con amplia experiencia en laboratorio de materiales, ello con el fin tener una guía práctica para continuar con el proceso investigativo [14].

Se realizaron tres ensayos del mismo tipo variando la mezcla para un total de dieciséis ensayos. Los

Tabla 1. Tipos de ensayos realizados y edad de falla.

Especímen	Tipo de ensayo	Fallar a los catorce días	Fallar a los veintiocho días
0 Kg/M3 de Fibra	Compresión	2	2
	Flexión	0	4 (2 con acero)
	Tracción indirecta	2	2
4 Kg/M3 de Fibra	Compresión	2	2
	Flexión	0	4 (2 con acero)
	Tracción indirecta	2	2
8 Kg/M3 de Fibra	Compresión	2	2
	Flexión	0	4 (2 con acero)
	Tracción indirecta	2	2
12 Kg/M3 de Fibra	Compresión	2	2
	Flexión	0	4 (2 con acero)
	Tracción indirecta	2	2

Fuente: elaboración propia.

ensayos de laboratorio a realizar fueron: flexión, compresión y tracción indirecta. Se presenta a continuación en la Tabla 1 los tipos de ensayos realizados y su tiempo de curado (fallados a los catorce y veintiocho días).

Para la elaboración de los especímenes reforzados con fibra y ensayados, se emplearon los materiales mencionados a continuación [15].

Tabla 2. Tipos de ensayos realizados y edad de falla.

Material	Resistencia	Características
Concreto	$f'c = 26.3$ MPa	Concreto reforzado con 4 kg/m^3 de fibra sintética hallado en la investigación.
Acero de refuerzo longitudinal	$F_y = 420$ MPa	Usado para las viguetas patrón en varillas de $\phi 3/8"$.
Fibra sintética (Sika)	F a tensión = 550 MPa	Usada para mezclado con el concreto convencional.
Agregado fino	N.A.	Arena de río, cantidad proporcional según el diseño de mezcla evaluado por su peso específico: 2500 kg/m^3 , absorción 2,7136 (NTC 385), humedad 6,81 (NTC 1776), módulo de finura 2.62, densidad 1.97 gr/m^3 (NTC 237).
Agregado grueso	N.A.	Grava tamaño máximo: $3/4"$, peso específico 1600 kg, absorción 3,20% (INVIAS E 223), cantidad de humedad 5,28% (NTC 1776), densidad $2,31 \text{ gr/m}^3$ (NTC 176).
Aditivo: Sika Viscocrete 2100 de Sika	N.A.	Sika Viscocrete 2100 de Sika, funcional para mayor maleabilidad al concreto, es decir, una textura de alta plasticidad para generar una mezcla homogénea.

Fuente: elaboración propia.

MATERIALES

En la Tabla 2, se muestra la caracterización de los materiales usados en la investigación.

En la Figura 1 y la Figura 2, se muestra el curado de los cilindros y el etiquetado de especímenes. En la Figura 3 y la Figura 4, se registran los ensayos realizados.



Figura 1. Curado de cilindro en laboratorio.

Fuente: elaboración propia.



Figura 2. Etiquetado de especímenes.

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

Con el objetivo de optimizar los materiales de construcción y los espacios habitables, además de impulsar la implementación de las fibras en la construcción vertical de orden habitacional, se trabajó con tres



Figura 3. Ensayo de compresión.

Fuente: elaboración propia.



Figura 4. Ensayo de tracción indirecta.

Fuente: elaboración propia.

cantidades de fibra sintética agregadas a un concreto convencional apoyados en anteriores investigaciones [16], [17]. Se obtienen los siguientes resultados:

- Se evidencia un aumento en la resistencia a la compresión de 35% para el diseño de mezcla

de concreto reforzado con fibra de 4 kg/m³ con respecto al concreto convencional sin refuerzo.

- Se observa una reducción de la resistencia a la compresión para los diseños de mezcla con respecto a 8 y 12 kg/m³, donde se demuestra que la dosificación óptima es de 4 kg/m³.
- La resistencia a la compresión máxima alcanzada con el diseño de mezcla a 4 kg/m³ de fibra a los 28 días es de 28.10 MPa, superior a los valores alcanzados por los otros diseños.
- Se concluye que es viable su uso para edificaciones en concreto reforzado en elementos estructurales por la reducción de las secciones transversales y del peso de la estructura.
- Para un edificio de tres pisos de uso habitacional, se evidenció mediante el diseño estructural con el programa SAP 2000 una reducción en el peso de la estructura reforzada con fibra sintética del 20% con respecto a la estructura en concreto convencional.
- Se evidencia la reducción de las fuerzas sísmicas, reducción del tamaño de la cimentación, aumento de la ductilidad y de la durabilidad del concreto reforzado con fibra sintética gracias a la reducción de la probabilidad de fisuras.
- De acuerdo con la cantidad de fibra sintética, se observa que se pueden generar planos de

falla o se reduce la resistencia a esfuerzo de compresión para valores de fibra mayores a 4 kg/m³.

Tablas de tendencia

En la Figura 5, puede observarse la resistencia a la compresión en relación con la cantidad de fibra sintética.

En la Figura 6, se presenta la resistencia a la tracción indirecta en relación con la cantidad de fibra sintética.

En la Figura 7, se presenta la resistencia a la flexión en relación con la cantidad de fibra sintética.

En la Figura 8, Figura 9 y Figura 10, se presenta la estructura en concreto según diferentes parámetros.

En la Figura 9, se muestran las secciones diseñadas para concreto de $f'c = 21$ Mpa sin adición de fibra sintética.

En la Figura 10, se muestran las secciones diseñadas para concreto de $f'c = 21$ Mpa con adición de fibra sintética, las cuales son menores que las de la Figura 9.

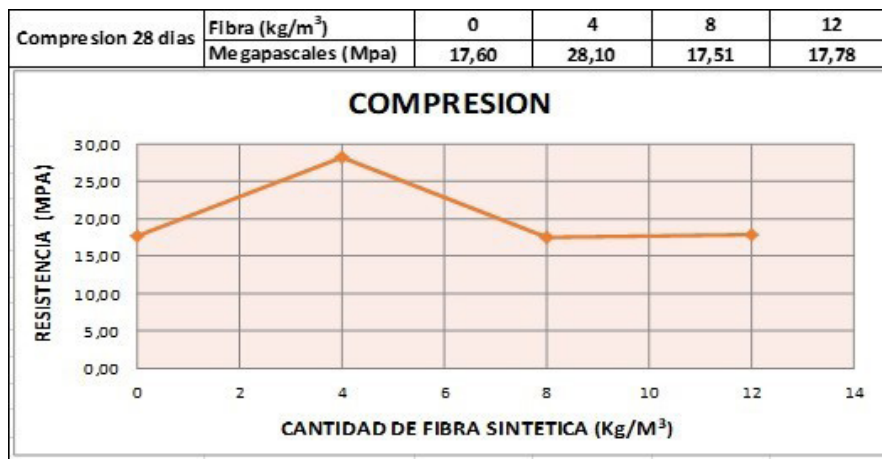


Figura 5. Resistencia a la compresión versus cantidad de fibra sintética.

Fuente: elaboración propia.

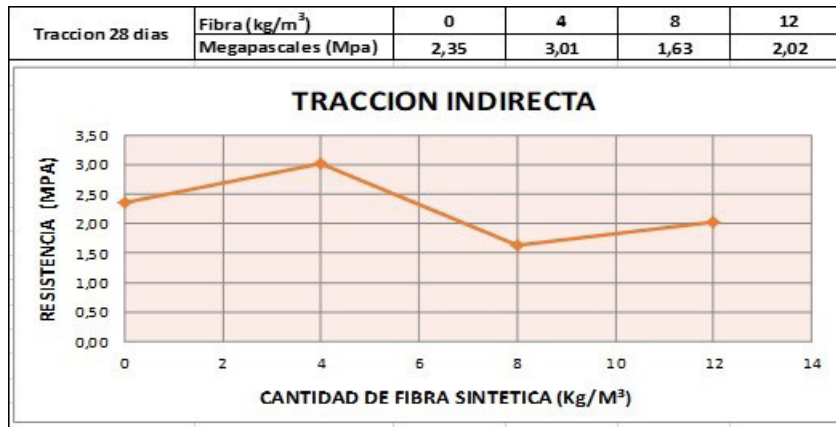


Figura 6. Resistencia a la tracción indirecta versus cantidad de fibra sintética.

Fuente: elaboración propia.

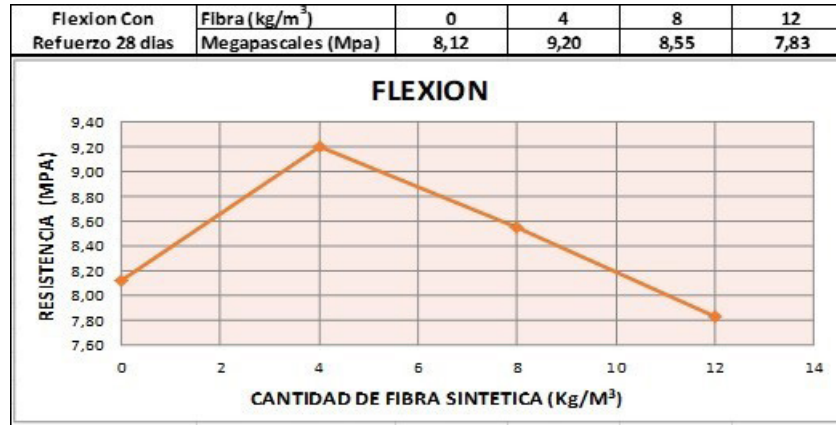


Figura 7. Resistencia a la flexión versus cantidad de fibra sintética.

Fuente: elaboración propia.

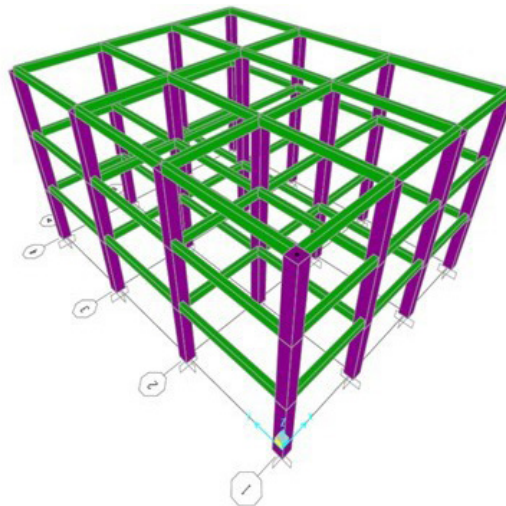


Figura 8. Modelo de estructura en concreto reforzado en SAP 2000.

Fuente: elaboración propia.

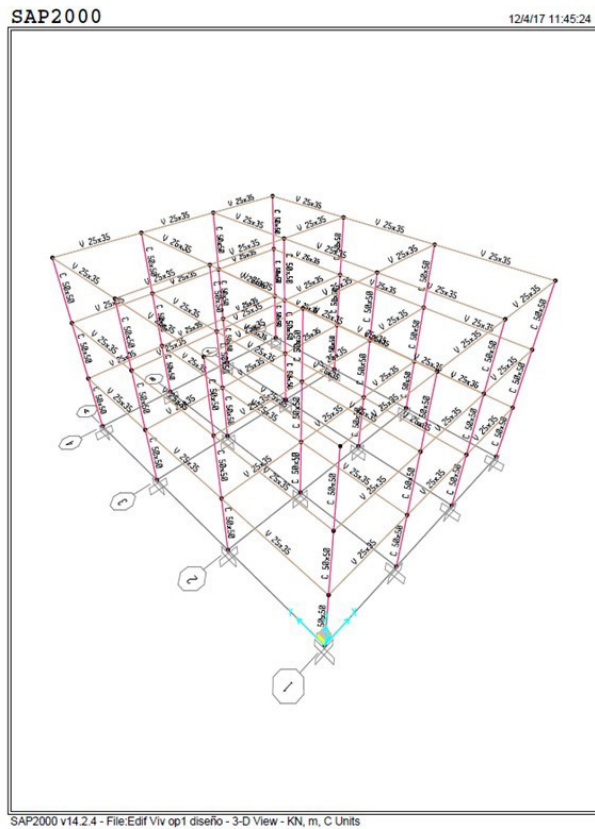


Figura 9. Modelo de estructura en concreto sin fibra sintética.
Fuente: elaboración propia.

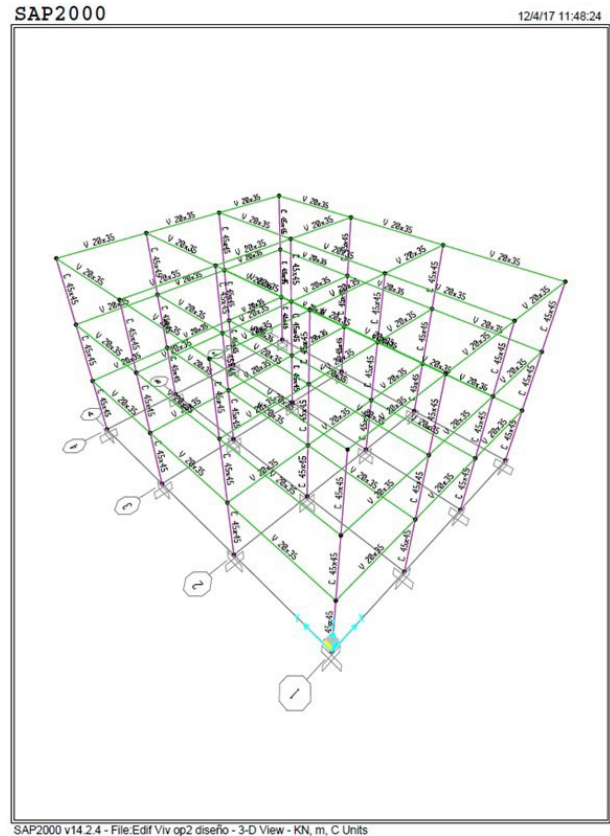


Figura 10. Modelo de estructura en concreto con fibra sintética.
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, al aumentar la cantidad de fibra sintética por encima de los 4 Kg/m³ se reduce la resistencia del concreto, posiblemente debido a la aparición de nuevos planos de falla y vacíos entre la fibra y el concreto. Sin embargo, tras realizar varios ensayos se evidenció que las mayores resistencias mecánicas se presentaron para una dosificación de fibra sintética de 4 Kg/m³. Con este resultado positivo para la industria de la construcción se pueden lograr mayores resistencias a partir de los mismos materiales pétreos y costos similares, ello con la consiguiente reducción de las secciones transversales de los elementos estructurales y el peso global de las estructuras.

Este tipo de concreto reforzado con fibra sintética de alto desempeño se puede utilizar en la

construcción de edificios residenciales con mayores espacios arquitectónicos en relación con el uso del concreto convencional.

Teniendo en cuenta los procesos constructivos para la ejecución de puentes, túneles, vías, placas de entrepiso, de contrapiso, tanques, estructuras portuarias, plantas de tratamiento y demás, al reforzar cada elemento con fibras sintéticas de acuerdo con la cantidad calculada y efectiva se determina la optimización de recursos para la construcción en usos residenciales, comerciales, industriales y de transporte.

En los últimos quince años, el concreto de alto desempeño se ha diseñado con concretos de resistencias altas, donde uno de sus usos principales son las cimentaciones y superestructura en grandes proyectos de infraestructura; por ello, la fibra sintética, de acuerdo con los resultados obtenidos

y su comportamiento en el concreto, tiene un uso importante en la industria de la construcción.

REFERENCIAS

- [1] García, "360 Grados en Concreto". [En línea]. Disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/concretos-de-alto-desempeno-en-edificios/>
- [2] J. Won and S. Lee, "Flexural behavior of precast reinforced concrete composite members reinforced with structural nano-synthetic and steel fibers", *Composite Structures*, n.º 118, pp. 571-579, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.07.042>
- [3] M. G. Alberti, A. Enfedaque y J. C. Gálvez, "Comparison between polyolefin fibre reinforced vibrated conventional concrete and self-compacting concrete". *Construction and Building Materials*, n.º 85, pp. 182-194, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.007>
- [4] A. Zia and M. Ali, "Behavior of fiber reinforced concrete for controlling the rate of cracking in canal-lining", *Construction and Building Materials*, n.º 155, pp. 726-739, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.078>
- [5] M. A. Rasheed and S. S. Prakash, "Mechanical behavior of sustainable hybrid-synthetic fiber reinforced cellular light weight concrete for structural applications of masonry", *Construction and Building Materials*, n.º 98, pp. 631-640, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.137>
- [6] A. M. Alani and D. Beckett, "Mechanical properties of a large scale synthetic fibre reinforced concrete ground slab". *Construction and Building Materials*, n.º 41, pp. 335-344, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.043>
- [7] J. D. Tabares, "El concreto: tan flexible como resistente". [En línea]. Disponible en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoryid/178/categoryname/concreto/el-concreto-tan-flexible-como-resistente>
- [8] Argos, "Portal Lógico de Colombia". [En línea]. Disponible en: <http://plc.mintransporte.gov.co/es/noticias/concreto-avanzado-solucion-para-estructuras-en-zonas-costeras>
- [9] S. Franco, "360 Grados". [En línea]. Disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/concretos-de-alto-desempeno-en-edificios/>
- [10] P. Dahl, «"Plastic shrinkage and cracking tendency of mortar and concrete containing fiber mesh", FCB Cement and Concrete Institute, Trondheim, Norway,,» 1985.
- [11] A. 211.1, « Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete. Reported by ACI Committee 211,» 1991.
- [12] U. Commons, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3324/55872-8.pdf>
- [13] Arqhys, "Resistencia del concreto al corte". [En línea]. Disponible en: <http://www.arqhys.com/contenidos/resistencia-concreto-corte.html>
- [14] Instituto Nacional de Vias, "Resistencia a la flexión del concreto. Método de la viga simple cargada en el punto central. [En línea]. Disponible en: ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-415-07.pdf. <https://doi.org/10.7203/normas.3.4678>
- [15] J. Maracano, "360 Grados en Concreto". [En línea]. Disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/el-concreto-tan-flexible-como-resistente/>.
- [16] C. J. Mendoza, C. Aire y P. Dávila, "Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido", *Concreto y Cemento*, n.º 2, vol. 2, 2011.
- [17] A. Alhozaimy, P. Soroushian and F. Mirza, "Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials", *Cement and Concrete Composites*, pp. 85-92, 1992. [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(95\)00003-8](https://doi.org/10.1016/0958-9465(95)00003-8)

