

Revista

Publicación especializada en la gestión de servicios públicos

epm[®]

No. 17 | Enero - Junio 2021

Caos, cambio y evolución
Lecciones de una pandemia

**Experiencia en la implementación
del pensamiento ágil**
como detonante de la innovación
en el mejoramiento de procesos

Ticsa
Grupo·epm

**Soluciones integrales,
confiables y factibles para
el tratamiento de aguas**





energía | gas natural | aguas

Revista EPM No.17
Enero – Junio 2021
ISSN: 2145-1524

Grupo Directivo EPM:

Jorge Andrés Carrillo Cardoso

Gerente General

María Cristina Toro Restrepo

Secretaria General

Daniel Arango Ángel

Vicepresidente Ejecutivo Gestión de Negocios

Daño Amar Flórez

Vicepresidente Ejecutivo Nuevos Negocios, Innovación y Tecnología

Gabriel Jaime Betancourt Mesa

Vicepresidente Ejecutivo Proyectos e Ingeniería

Martha Lucía Durán Ortiz

Vicepresidente Ejecutivo Finanzas Corporativas e Inversiones

Carlos Alberto Solano Bonnet

Vicepresidente Generación Energía

Inés Helena Vélez Pérez

Vicepresidenta Transmisión y Distribución Energía

Carlos Israel Orduz Aguilar

Vicepresidente Gas

Santiago Ochoa Posada

Vicepresidente Agua y Saneamiento

William Giraldo Jiménez

Vicepresidente Proyectos Generación Energía

Juan Felipe Valencia Gaviria

Vicepresidente Comercial

Alejandro Jaramillo Arango

Vicepresidente Crecimiento Negocios

Mónica María Ruíz Arbeláez

Vicepresidenta Estrategia y Planeación

Alejandra Vanegas Valencia

Vicepresidenta Talento Humano y Desarrollo Organizacional

Carlos Enrique Londoño Amariles

Vicepresidenta Suministros y Servicios Compartidos

Angela María Guerrero Bolívar

Vicepresidente Asuntos Legales (e)

Mabel R. López Segura

Vicepresidente Comunicación y Relaciones Corporativas

Andrés Felipe Uribe Mesa

Vicepresidente Riesgos

Óscar Alberto Cano Castrillón

Vicepresidente Auditoría Corporativa

Edición y coordinación de la Revista EPM:

Carlos Mario Montoya Díaz

Dirección Desarrollo del Talento Humano

Luz Beatriz Rodas Guerrero

Dirección Desarrollo del Talento Humano

José Ignacio Murillo Arango

Gerencia Comunicación Corporativa

Paola Andrea Valencia Valencia

Gerencia Identidad Corporativa

Amparo Elisa Peña Peña

Lady Johana Romero Herrera

Ana María Bustamante Moreno

Dahianna Elisey Moreno

Elizabeth Cristina Zuluaga Ramírez

Estefanía Londoño Delgado

Valeria Flórez García

Alejandro Ruiz Bonilla

Stevens Aguirre Pérez

Biblioteca EPM - Fundación EPM

Periodicidad: semestral

Solicitud de Canje a:

Biblioteca EPM

Carrera 54 No.44-48 Plaza de Cisneros

Teléfono: 3807500

Bibliotecaepm@epm.com.co

Medellín – Colombia

Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

Carrera 58 No. 42 – 125 Apartado 940

E-mail: epm@epm.com.co Tel: 3808080

Medellín – Colombia

www.epm.com.co

Presentación

Si el año 2020 presentó retos importantes para las organizaciones, el presente año no ha sido menor en cuanto a exigencias en la implementación de nuevas formas de pensar y hacer; y lo más importante, quizás, hacerlo todo en el menor tiempo posible. Ampliar la perspectiva, pensar de manera sistémica, actuar de manera ágil; entender los sucesos sociales, económicos, políticos, etc., que impactan las organizaciones desde distintos enfoques y de manera integral, serán las competencias esenciales que apalancarán el logro de los objetivos empresariales.

El cambio, como la constante en las dinámicas organizacionales, también ha permeado la Revista EPM. La publicación se abre para interactuar con el ecosistema de aprendizaje y conocimiento del Territorio y, por ello, a partir del presente año invita a las empresas y profesionales de las universidades e instituciones de educación superior a participar enviando sus artículos para ser evaluados por el Comité Editorial de la Revista EPM (al buzón: dep01980568@epm.com.co).

Esta edición número 17, correspondiente al primer semestre del 2021, inicia con un artículo en el que la autora, a propósito de la pandemia, comparte una reflexión profunda sobre cómo ésta, a nivel personal, ha dejado grandes lecciones; ha sido un curso intensivo de emociones, de aprendizajes y de experiencias. Así mismo, desde el punto de vista laboral, ha traído desafíos asociados al empoderamiento, la autogestión, el trabajo en red y la transformación digital.

Siguiendo la línea de los temas “blandos”, pero no así en su orden de aparición en el cuerpo de la revista, el artículo Pronóstico del presupuesto de efectivo con series de tiempo y Machine Learning en Python, describe una secuencia de pasos para la elaboración de un pronóstico de los pagos mediante el uso de series de tiempo con modelos univariantes, aplicando conceptos de Machine Learning y el uso del lenguaje computacional Python.

En el artículo Experiencia en la implementación del pensamiento ágil como detonante de la innovación en el mejoramiento de procesos, su autor propone una reflexión de cómo las metodologías ágiles están transformando la dinámica de trabajo entre equipos, la innovación en el mejoramiento de procesos y la búsqueda de una eficiencia operacional, permitiendo entender las ventajas que tienen sus herramientas y como aumentan la capacidad de innovación de la organización.

Se destacan en esta edición la participación de funcionarios de dos filiales nacionales del Grupo EPM, CENS y TICSA con los siguientes artículos, respectivamente: Análisis de criticidad para los circuitos de distribución a 13.8 kV de Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P.; y el artículo TICSA, soluciones integrales, confiables y factibles para el tratamiento de aguas, a través del cual se puede conocer más sobre la empresa, su historia, así como algunos de sus proyectos más relevantes; además de conocer la relación que ha construido directamente con el Grupo EPM.

Así mismo, se resalta la participación, por primera vez de profesionales de la Universidad del Cauca con el artículo Diversidad del banco de semillas germinable de un bosque alto Andino de la vereda el Cofre, Municipio de Totoro, Popayán -Cauca.

Finalmente y en la línea técnica se presentan los artículos: Descargas de color en el agua residual afluyente a la PTAR San Fernando de EPM: cómo afectan el proceso de tratamiento de aguas residuales y el artículo, Implementación de un sistema de drenaje sostenible en una cuenca piloto del Área Metropolitana. Temas que, esperamos sean de interés para los interesados en el mundo de los negocios del agua.

El interés permanente del Grupo EPM es el de propiciar prácticas que conlleven a la transferencia de conocimiento, en doble vía, con los distintos actores del Ecosistema. Compartir conocimiento y buenas prácticas, aprender de los otros y crecer de manera sostenible, son los llamados que nos hace el entorno a todos y cada uno de los que habitamos el planeta tierra.

Desde la Revista EPM continuamos tendiendo puentes para conectarnos de manera más fluida con el territorio y, de esta manera, "Contribuir a la armonía de la vida para un mundo mejor".

Comité Editorial Revista EPM



Caos, cambio y evolución: lecciones de una pandemia

Chaos, change and evolution: lessons from a pandemic

PAG 8



Descargas de color en el agua residual afluente a la PTAR San Fernando de EPM: Cómo afectan el proceso de tratamiento de aguas residuales

Color discharges in the influent wastewater to the WWTP San Fernando of EPM: How they affect the wastewater treatment process

PAG 16



Pronóstico del presupuesto de efectivo con series de tiempo y Machine Learning en Python

Cash budget forecasting with time series and Machine Learning in Python

PAG 38



Análisis de criticidad para los circuitos de distribución a 13.8 kV de Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P. (febrero 2020)

Criticality analysis for the 13.8 kV distribution circuits of Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P. (February 2020)

PAG 58



Experiencia en la implementación del pensamiento ágil como detonante de la innovación en el mejoramiento de procesos

Experience in the implementation of agile thinking as a trigger for innovation in process improvement

PAG 72



Diversidad del banco de semillas germinable de un bosque alto andino de la vereda El Cofre, municipio de Totoró, Popayán - Cauca

Diversity of the germinable seed bank of a high andean forest of the village of El Cofre, municipality of Totoró, Popayán - Cauca

PAG 84



Implementación de un sistema de drenaje sostenible y flexible en una cuenca urbana en expansión del Valle de Aburrá

Implementation of a sustainable and flexible drainage system in an expanding urban watershed of Valle de Aburra

PAG 98



TICSA, soluciones integrales, confiables y factibles para el tratamiento de aguas

TICSA, comprehensive, reliable and feasible solutions for water treatment

PAG 114



Caos, cambio y evolución: lecciones de una pandemia

Chaos, change and evolution: lessons from a pandemic

**Ana María
Giraldo Maestre**

Unidad Transformación Cultural, EPM

ana.maria.giraldo@epm.com.co

Resumen

La pandemia ha dejado grandes lecciones, ha sido un curso intensivo de emociones, de aprendizajes y de experiencias, desde el punto de vista laboral ha traído desafíos asociados al empoderamiento, la autogestión, el trabajo en red y la transformación digital; desde la dimensión personal, el asunto no ha sido menor. De un día para otro, apareció el caos con todo su movimiento y paulatinamente se fue avanzando hasta comprender que en la evolución estaba la respuesta. Esto ha permitido comprender

que ni el caos, ni el equilibrio son eternos, de hecho, pertenecen al mismo movimiento pendular en el que la vida danza en su infinita sabiduría. Lo insignificante cobró una relevancia especial, y para todos sin excepción, desde la realidad cronológica y también desde la realidad interna personal, como una revelación, se comprendió desde la piel hasta el alma, que el cambio y la adaptabilidad se sentarían diariamente con todos en la mesa.

Palabras clave:

Evolución cultural, Adaptabilidad, Nueva normalidad, Gestión del cambio, Cultura organizacional.

Keywords:

Cultural evolution, Adaptability, New normality, Change management, Organizational culture.

El caos: punto de partida

Existe un fenómeno botánico que se conoce como la timidez de los árboles. Se llama así porque, en algunas especies, las copas de los árboles no se tocan en las alturas y forman unas grietas sorprendentes y de una belleza natural. Las teorías del porqué del fenómeno son variadas y van desde la poda recíproca y causas genéticas, hasta las que sostienen que se trata de una cooperación mutua para permitir el paso de la luz.

No es hablar de botánica lo que inspira esta reflexión, pero el fenómeno del distanciamiento de estas especies arbóreas, se parece al que hoy se vive producto de una pandemia que ya supera el año y que por ahora no piensa irse.

El mundo, las organizaciones, los contextos escolares, laborales, sociales y familiares cambiaron su dinámica, no permite el encuentro en las *copas*: se mantiene la distancia, y el reconocimiento entre las personas se hace desde lejos. El mundo cambió. Y quizás se carecía de preparación para habitar la incertidumbre como hogar permanente: ¿se contaba con los recursos internos? ¿con la templanza suficiente? ¿se dimensionaba lo que se estaba poniendo en juego? ¿había sensación de seguridad en los vínculos y afectos? ¿se contaba con la resistencia interna para sortear la sacudida del cambio?

Se coincide con la psicoanalista, Carmen Grifoll (2020), directora de la Fundación Nou Barris para la Salud Mental, cuando expresa que "quizás esta situación ha puesto en evidencia la vulnerabilidad del ser humano y ha tocado en cada uno de nosotros, en lo más profundo, el entramado significativo en el que se sostenía".

Y es que nadie estaba preparado para una pandemia y sus efectos. Si bien es por todos

sabido que *lo único constante es el cambio* cuando éste sucede obviamente deja sin piso, y surge la necesidad de reinventarse. Se aprendió, por obligación, de un día para otro, a trabajar con la casa a cuestas como caracoles. Y como en el mundo de estos moluscos, el mundo se ralentizó por unas semanas y se guardó silencio como cuando el tsunami pasa y no se sabe qué sigue.

Rápidamente el mundo comenzó un movimiento frenético. Las empresas debieron mantener su operación mientras la mayoría de sus colaboradores estaban trabajando desde casa. Aún medio paralizados, con el ritmo interno del caracol, y al mismo tiempo, con el ritmo exterior del personaje de la liebre, en la fábula la Liebre y la Tortuga de Esopo, comenzó una carrera vertiginosa por mantener a flote el empleo y en algunos casos el desempleo responsabilidades de hogar, hijos desescolarizados, pareja 24 horas, miedos, ansiedad e incertidumbre. Un cóctel explosivo que hubiera podido desquiciar a cualquiera.

El caos, predecesor de la transformación, condición contribuyente y necesaria del cambio se hacía evidente con total claridad. Tal como lo expresa Pablo Cazau (2020) "la realidad es una mezcla de desorden y orden, y el universo funciona de tal modo que del caos nacen nuevas estructuras, llamadas estructuras "disipativas". Esta teoría es también conocida como teoría del caos. La realidad en su sabia inercia, danza en un vaivén infinito y es el desafío humano acompañarse al ritmo que cada orden y desorden vaya trayendo. La pandemia invitó, una vez más, a salir a la pista de baile sin ensayo con fuertes desafíos como personas, empleados, hijos y padres; desafíos asociados a los diferentes roles propios de los seres humanos y que obligaron a transitar un nuevo camino de transformación.

Como en todo cambio, surgió la necesidad de abandonar antiguas maneras de hacer las cosas. Se sumó, además, la resignación de perder espacios, libertad, contacto físico y tantos otros asuntos del orden personal, laboral, familiar, emocional y social.

Internamente se inició un proceso de duelo, en medio de una mezcla de emociones, que aún hoy se mantienen, y que no es posible saber cuánto tiempo más estarán presentes.

El caos visto a la luz de esta teoría invita a otra cosa: a observar el movimiento como un componente práctico y real de la vida puesto que, el asunto de lo estático sólo hace parte de una ilusión eterna, propio de los seres humanos de mantener el control, de saber qué sigue, de conocer la fórmula y de repetirla perfecta una y otra vez.

La transformación como camino

Si bien el caos atraviesa a todos sin excepción, también es cierto que las pérdidas, que traen los cambios, se viven de forma particular y con éstas, el dolor sin duda se vive de forma única bajo las propias estrategias que impone la naturaleza individual. Beatriz Leveratto (2014), plantea en su libro titulado *Cada siete años, la vida y sus estaciones astrológicas* que, el ciclo evolutivo se da por septenios y refiere que los diferentes climas de la evolución de los seres humanos se corresponden con los que proponen los ciclos de los planetas:

hay edades muy significativas y ciertas regularidades temporales que nos atraviesan a todos más allá de cualquier singularidad. Las diferentes edades se inscriben dentro de un patrón de evolución que, aunque se dé respuesta a ello con los rasgos particulares de cada personalidad, será común a todos los individuos de una misma generación. Si se comparte la misma edad, también se unirá la misma experiencia vital.

Así las cosas, e hilado con lo anterior, todos viven el caos de diferente manera, y lo transmutan también de manera particular. Quienes atravesaban los 20 años tenían una expectativa de vida diferente y por lo tanto el confinamiento será, pasados los años, un asunto más del orden anecdótico probablemente. Las cifras de la pandemia siempre han evidenciado que la tasa de mortalidad en las personas jóvenes era, por mucho, inferior a la tasa en personas que sobrepasaban los 60 años. Para estas personas, cuya vida atravesaba la sexta década en adelante, la pandemia emocional y psicológicamente ha tenido efectos diferentes. En esa misma línea el duelo que precede a la transformación también se ha vivido diferente.

Se hace importante entender que el duelo es una reacción emocional, cognitiva y comportamental que se manifiesta cuando se ha perdido algo que resulta significativo: un vínculo afectivo, un ciclo laboral, una etapa personal, por mencionar algunas pérdidas. El confinamiento prolongado generó en muchas personas la sensación de pérdida y esto trajo consigo duelos constantes.



Si bien el duelo emocional, y sus etapas, está estrechamente relacionado con la muerte de un ser amado, la pandemia sumó otras pérdidas: de libertad, de salud, de cercanía con la familia o del empleo, entre otros, que, si bien no se equiparan con la pérdida definitiva de un ser amado, se sumaron sensaciones de tristeza, desolación, abatimiento, frustración y desesperanza. En línea con Beatriz Leveratto, las edades de las personas se circunscriben en patrones comunes y comparten semejanzas.

Si bien la psicología habla del ciclo del duelo y expresa que el mismo está conformado por etapas -Negación, ira/tristeza, aceptación e integración- éstas son vividas por las personas de manera particular aun en condiciones de distanciamiento o cercanía, y la duración de cada etapa puede variar. En algunos casos se avanza en el ciclo, en otros momentos se retrocede en el mismo, hasta finalmente atravesar el proceso y continuar.

Se mencionaba entonces que, en medio del caos y caminando hacia la puerta de la transformación -la que se abre siempre en algún momento cuando hay caos- se inició de manera orgánica un proceso de duelo. La pandemia atravesó todas las esferas y dimensiones de la vida, dejó la respiración contenida, aturdimiento, desorientación -etapa de negación- y para no morir por ahogamiento, se hizo necesario soltar poco a poco el aire y continuar el proceso.

La rabia y el enojo hacen parte de la segunda etapa, y generalmente se descargan contra la vida, Dios, el jefe, la expareja, el gobierno, entre otros. En este duelo, no había contra quién enojarse, no había nadie distinto al sí mismo que lo pudiera recibir, concluyendo entonces que la única opción era hacerse cargo de los propios sentimientos.

No era culpa del sistema, ni de la edad, ni de los hábitos de vida saludable que se hubiera tenido o no hasta entonces, no había un *otro* a quién reclamarle. Era como darle puños al aire. Y la tristeza y el enojo se viven diferente a los 20 que a los 60 años. Porque además en esta sexta década, y las siguientes, un nuevo jugador entraba al terreno: la posibilidad de morir se anticipadamente.

Los abuelos habían perdido la misma libertad, que los nietos, la diferencia era que estos últimos no estaban en edad de riesgo: tenían una angustia menor.

La etapa de la aceptación, al igual que las anteriores, es, y seguirá siendo, vivida por todos de manera diferente. Sin embargo, en ésta se comparte, independiente de la edad, algunas similitudes que con mayor o menor grado de profundidad o impacto pertenecen a todos: se comienza a aceptar que las cosas cambiaron para siempre. Generalmente aparecen renuncias obligadas y se comprende que muchas situaciones vividas ya no serán como antes.

Hombres y mujeres, adultos jóvenes y adultos mayores, jóvenes y niños, comprendieron que esta última etapa de aceptación e integración estaba en el centro, y todas las otras orbitaban a su alrededor: había que negar, llorar, sentir rabia, impotencia, frustración mientras hacíamos las cosas diferentes para poder estar a salvo. Se comprendió el valor inmenso que tiene la aceptación, y la adaptabilidad, en todos los procesos de evolución y fue en esta última etapa donde se coincidió como seres humanos, en todas sus dimensiones: vulnerables, sacudidos, y con nuevas experiencias en el equipaje.

La evolución: un estado mental

Si bien el ciclo del duelo termina con la aceptación y posterior adaptación a la nueva realidad, la vida en su devenir continuo solo evidencia de nuevo que todo está en constante movimiento.

A la luz de los aprendizajes que se han tenido, quizá el concepto más apropiado ha sido el de evolución. No se ha llegado a ninguna parte. *La nueva normalidad* también es una ilusión. La vida sigue latiendo en sus ciclos perfectos de caos, transformación y renovación. La evolución es vista como camino y no como punto de llegada, porque si de alguna asignatura hubo graduación con honores en esta pandemia, fue en la incertidumbre. Y apareció también una invitada eterna, al principio hizo su entrada a la vida misma con algo de

timidez y después se instaló en el mejor cuarto de casa y ocupó un lugar sagrado en la mesa: la adaptabilidad. ¡Y llegó para quedarse! Evidenció la importancia de aprender a hacer las cosas de manera diferente, a relacionarse de una manera distinta, a trabajar, a compartir, a estar presentes de otras formas, más impersonales pero cargadas de significado.

Carmen Grifoll (2020) menciona en uno de sus artículos "nos creíamos que podíamos con todo y que todo lo teníamos por la mano tal como reza una sentencia popular pero como lo decía un experto navegador y conocedor del mar: para navegar no se puede luchar de frente, se tienen que acompañar y conocer los movimientos del mar y los factores que influyen en él. Es una cura de humildad frente a la potencia y la fuerza de la naturaleza. Así es la pandemia, como un mar furioso al que hay que conquistar".

La adaptabilidad permite acompasarse con el ritmo vertiginoso de los cambios y da herramientas para conquistar asuntos propios que estaban aplazados. La adaptabilidad atravesó la vida personal y laboral. Los contextos organizacionales continúan avanzando en su proceso de evolución hacia la construcción de nuevos escenarios colectivos. Las maneras de poner en común los asuntos y de trabajar colaborativamente han migrado a entornos virtuales, aunque el propósito de mantener visiones compartidas se mantiene. Esto conduce a pensar que sólo se está en el primer escalafón como aprendices porque si algo tiene la palabra evolución, desde su definición misma, es que es continua y sucesiva.

Finalmente, el Dr. Andrés Aguirre (2021), Director General del Hospital Pablo Tobón Uribe, publicó hace poco en sus redes sociales este texto que

bien podría concluir mejor que yo esta reflexión que propongo en el texto:

El COVID 19 nos hizo recordar que no somos invulnerables y que nuestra esencia es la fragilidad. Esto despertó en muchos una nueva toma de conciencia sobre la necesidad del autocuidado y a la vez de la compasión y la solidaridad eficaces (...) Si por algo hay que mantener una mirada optimista es porque los seres humanos tenemos una enorme capacidad inventiva y la capacidad de reflexionar sobre el sentido de nuestra existencia. Si reflexionamos, decidimos y actuamos bien, así sea en pequeño, esa multiplicidad de actos, serán generadores de un gran cambio para un mundo mejor.

Definitivamente, la pandemia no llegó para quedarse, ¡la adaptabilidad sí y la pandemia es una excusa! La capacidad de conquista y de transformar el mundo es una decisión personal. El Covid solo vino a poner de manifiesto una invitación permanente de la vida: sembrar actos compasivos individuales y silenciosos que sumen en la transformación del mundo.

Ni el caos ni el equilibrio son permanentes. Lo que hoy funciona mañana puede no ser útil. La pandemia solo ofrece un entrenamiento para mejorar el estado físico del alma y del corazón. Si algo cobra hoy especial sentido cuando se atraviesa la tercera ola de la pandemia y una situación sociopolítica desafiante como país, es la propuesta que hace Otto Scharmer en su teoría de la U, que aplicándola a esta reflexión primero habría que darse cuenta, que no es otra cosa que hacer conciencia, luego encontrar sentido -identificar qué le resuena a cada uno de lo que está pasando- y finalmente hacerse cargo de lo que a cada quien le corresponde, que tal vez no sea otra cosa que ponerse en acción.

Mientras la timidez de los árboles no encuentre espacio en nuestros corazones, lograremos darle sentido a los aprendizajes y salir fortalecidos. La distancia será solo física porque en el fondo ¡nos tocaremos desde la esperanza!



La pandemia también atravesó la dimensión cultural de las empresas y EPM no fue la excepción. Y era esperable que así fuera, si se tiene en cuenta que es el colectivo humano el que tiene alma y el que le da vida a las organizaciones; fue entonces cuando se comenzó a hablar en el mundo de una *nueva normalidad*.

En el caso de EPM, desde hace varios años, la Organización define su Cultura Organizacional desde el concepto de Evolución Cultural. En EPM se comprende la cultura como un proceso vivo, que parte desde las personas y es atravesado por cada una de ellas, donde se construye de manera colaborativa y se va acompañando el proceso de tal manera, que la cultura no es vista como un punto de llegada, sino un proceso dinámico y siempre en movimiento.

Desde esta mirada, la adaptabilidad como capacidad organizacional, permea los movilizados que dinamizan la cultura como los son el liderazgo consciente, las redes colaborativas, los prototipos, la diversidad y la inclusión, los proyectos, la gestión ética, entre otros. A su vez, la conversación es en EPM el eje transversal con el cual se apalanca la evolución. Los espacios de conversación, entendidos como escenarios

seguros que posibilitan la comprensión conjunta de significados, donde se ponen en común miradas y saberes y en los que la co-creación fortalece y permite ser más expansivos. La conversación y la escucha generativa y empática han sido dos invitados permanentes en esta construcción de realidad cultural.

Unido a lo anterior, el concepto de corresponsabilidad se advierte en cada decisión y en cada acción. Avanzar en el cumplimiento del propósito superior que nos inspira *contribuir a la armonía de la vida para un mundo mejor*, es un asunto de responsabilidad compartida entre la organización, los líderes y cada servidor, independiente de su rol y alcance en los procesos.

En esa comprensión amplia de evolución cultural, la pandemia trajo nuevos retos que fueron asumidos de manera coherente desde la mirada que se tenía. Los movilizados culturales, así como los procesos, la tecnología y la organización en general, se dispusieron para hacer frente a los desafíos que el COVID 19 trajo consigo.

Desde el minuto uno de la pandemia, se priorizó el cuidado de la gente. Hoy todas las personas que por sus cargos y roles pueden estar haciendo

trabajo en casa, lo están haciendo. El programa EPM contigo, fue una respuesta y una construcción en equipo, inmediata, contingente y estructurada, que se puso en marcha 16 días después de que iniciara el confinamiento el 18 de marzo de 2020. Este programa integró de manera potente: procesos, áreas y personas para acompañar emocionalmente a la gente y activó para ese primer año, un plan de trabajo con más de 40 estrategias encaminadas a lograr este propósito. Hoy el programa se mantiene, sus estrategias se han renovado y el trabajo colaborativo y en red

sigue siendo el mayor compromiso y también el mayor desafío.

La organización ha activado varios dispositivos de acompañamiento integral que aún se mantienen y que busca fortalecer la cohesión de grupo y visión compartida aun en la distancia.

Pasados 16 meses desde que inició la pandemia, se evidencia el poder transformador de las personas y su posibilidad de evolución infinita y EPM ¡crea profundamente cada vez más en ese poder!

Referencias

- Aguirre, A. (28 de abril de 2021). El COVID-19 nos hizo recordar que no somos invulnerables... Facebook. <https://rb.gy/eo6dh2>
- Cazau, P. (2020). La teoría del caos. Omegalfa. <https://rb.gy/kwt0ad>
- Grifoll, C. (2020). Las familias y la infancia en época de COVID-19: el tiempo después o la nueva normalidad? Una visión desde la Salud Mental. *Quaderns de Polítiques Familiars*, (6), p.1-5. <https://bit.ly/2SsYafP>
- Leveratto, B. (2014). Cada siete años: la vida y sus estaciones astrológicas. Aguilar. <https://bit.ly/2TioF8r>

Cómo citar este artículo:

Giraldo, A. (2021). Caos, cambios y evolución: lecciones de una pandemia. *Revista EPM*, (17). 8-15.



Descargas de color en el agua residual afluente a la PTAR San Fernando de EPM: Cómo afectan el proceso de tratamiento de aguas residuales

Color discharges in the influent wastewater to the WWTP San Fernando of EPM: How they affect the wastewater treatment process

**Andrea
Hernández Arango**

Universidad Nacional de Colombia,
Sede Medellín. Facultad de Ciencias

anhernandezar@unal.edu.co

**Oladier
Hoyos Bastidas**

Unidad Tratamiento Gestión Aguas
Residuales, EPM

oladier.hoyos@epm.com.co

Resumen

Este artículo presenta una metodología que permite evaluar la afectación del proceso de tratamiento de aguas residuales de la PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) San Fernando, por descargas de color en el agua residual afluente. Para este propósito, se caracterizaron muestras de agua residual industrial de las empresas con mayor probabilidad de generar colores atípicos en el afluente de la planta. La caracterización se hizo en torno a tres aspectos: color, toxicidad sobre el sistema de lodos activados¹ y biodegradabilidad aerobia².

Los resultados demostraron que existe una tendencia a aumentar la toxicidad sobre el lodo activado de la planta a medida que aumentan los niveles de color de las muestras de agua residual industrial. Esto significa que afluentes coloreados

deben tratarse con especial cuidado, pues tienen mayor probabilidad de afectar el tratamiento secundario de la PTAR y en consecuencia afectar el proceso de remoción de materia orgánica del agua residual. Por otra parte, se pudo observar que, a pesar de no tener un sistema especializado para la remoción de color, los lodos activados de la planta pueden degradar cierto tipo de tintes de los efluentes industriales.

Finalmente, se propuso articular la metodología de caracterización de efluentes industriales con una rutina de atención ante eventos de color en la PTAR San Fernando, con el fin de facilitar el proceso de investigación de la procedencia del agua coloreada por parte del Equipo de Investigación y Control Vertimientos de la Unidad Operación y Mantenimiento Gestión Aguas Residuales de EPM.

Palabras clave:

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) San Fernando, Aguas residuales, Vertimientos al alcantarillado, Color del agua, Toxicidad en lodos activados, Tasa de Consumo de Oxígeno Específica (TCOE), Biodegradabilidad.

Keywords:

San Fernando Waste Water Treatment Plant (WWTP), Wastewater, Sewage discharges, Water color, Activated sludges toxicity, Specific Oxygen Uptake Rate (SOUR), Biodegradability.

Introducción

La PTAR San Fernando fue la primera gran planta con tratamiento secundario³ en Colombia. Entró en operación en el año 2000, se encuentra ubicada en el municipio de Itagüí y trata las aguas residuales del sur del Valle de Aburrá. En cuanto al tratamiento secundario de la planta, esta opera con un sistema de lodos activados, el cual tiene como finalidad la reducción de la carga orgánica del agua residual por medios biológicos y, eventualmente, también la remoción de nutrientes: fósforo y nitrógeno.

El tratamiento de las aguas residuales utilizando medios biológicos es considerada una de las mejores tecnologías disponibles desde el punto de vista económico y medio ambiental (Tobajas & Molina, 2017). Sin embargo, al tratarse de un proceso biológico, la actividad microbiana puede verse afectada por la presencia de compuestos tóxicos en el agua residual afluyente. Este fenómeno se presenta principalmente cuando a la planta se descargan no solo aguas residuales domésticas sino también industriales, como es el caso de la PTAR San Fernando.

Entre los compuestos industriales que pueden llegar con facilidad al afluyente de la PTAR San Fernando, se encuentran los tintes, que se denominan colorantes si son solubles en agua y pigmentos si no lo son. Cuando el agua afluyente a la PTAR presenta una coloración atípica por fuera de los tonos amarillos y cafés por la presencia de tintes, se dice que se está ante un evento de color. Los tintes no solo generan afectaciones estéticas en el agua, sino que también pueden ocasionar problemas de toxicidad en los sistemas biológicos. En cuanto a la toxicidad que pueden presentar, hay dos aspectos fundamentales. El primero, asociado a cómo la presencia de color cambia la manera en que la luz penetra en el agua, lo cual interfiere en el desarrollo de los sistemas acuáticos. El segundo, relacionado con la composición de los tintes, los cuales pueden ser de origen sintético con estructuras complejas, lo que los hace, en ocasiones, muy estables, tóxicos, y difíciles de biodegradar por los microorganismos convencionales para el tratamiento de aguas residuales (Gupta & Suhas, 2009).



A continuación, se presenta una metodología que se llevó a cabo en la PTAR San Fernando para evaluar la afectación que tienen los eventos de color sobre el tratamiento de las aguas residuales que llegan allí. Específicamente, el proyecto se centró en evaluar a nivel de laboratorio la afectación de los lodos activados. Se orientó el proyecto de esta manera porque, como se mencionó anteriormente, los microorganismos, que son el principal compo-

nente de los lodos, se pueden ver inhibidos ante la presencia de tintes, por lo tanto, se espera que el proceso más afectado de la planta ante un evento de color sea el tratamiento secundario. Para obtener información detallada de lo presentado consultar el informe completo de la investigación en la Unidad Tratamiento Gestión Aguas Residuales de EPM.

1. Metodología

Para evaluar la afectación del tratamiento secundario de la PTAR San Fernando ante un evento de color se diseñó una rutina de caracterización para medir, a escala de laboratorio, el nivel de color, toxicidad y biodegradabilidad que tendría una muestra de agua sobre el sistema de lodos activados. Para cada una de las propiedades evaluadas en la rutina se construyó un protocolo basado en una Norma ISO con adaptaciones a las condiciones de la PTAR. Luego, se aplicó esta rutina a muestras de agua residual de las empresas con mayor potencial de generar colores atípicos en el afluente de la planta, las cuales se denominaron empresas críticas.

La decisión de usar aguas residuales industriales de las empresas que vierten a la PTAR como muestras para el presente estudio, en lugar de usar colorantes puros conocidos, se tomó con la intención de simular un evento de color de la manera más fiel posible. Ante un evento de color, lo que se tiene en el afluente de la planta no es un solo tipo de tinte, sino una mezcla de sustancias coloreadas junto con otros compuestos industriales y agua residual doméstica.

Con el fin de obtener información precisa de la toxicidad en el lodo activado de la PTAR causada únicamente por la distorsión en el paso de luz que genera la presencia de color en el agua, la rutina de caracterización antes mencionada también se

aplicó a muestras de agua destilada con anilina vegetal comestible. Se usaron estas muestras porque presentan altos niveles de color, pero se tiene plena seguridad que no contienen sustancias tóxicas para los microorganismos del lodo activado.

1.1 Selección de las empresas críticas

Inicialmente, por las limitaciones de tiempo y la necesidad de obtener muestras relevantes para el propósito del proyecto, se seleccionaron las diez empresas críticas con mayor potencial de generar color en el agua residual afluente a la PTAR. La selección se hizo a partir de la información suministrada por la base de datos SAMPLE MANAGER, en la cual se encuentran los clientes no residenciales que vierten a la planta y las características de sus efluentes. Se utilizaron como criterios de selección: el volumen descargado por mes y el nivel de color de sus efluentes. Se seleccionaron estos dos criterios porque son los que determinan el impacto en cuanto a color que tiene la descarga de la empresa en el afluente de la PTAR. De las diez empresas seleccionadas como críticas solo dos no pertenecen al sector textil: la Empresa 4 y la 8. Teniendo en cuenta esta información y con base en un análisis realizado agrupando las empresas por actividades productivas, se determinó que el sector con mayor potencial de generar altos niveles de color en el agua residual afluente a la PTAR es el textil.



1.2 Protocolos para evaluar el color, la toxicidad y la biodegradabilidad en la rutina de caracterización de efluentes industriales

1.2.1 Protocolo para evaluar el color aparente y real de una muestra de agua

El color en el agua se puede definir como la propiedad óptica que hace que cambie la composición espectral de la luz visible transmitida (International Standardization Organization (ISO), 2011). Esta propiedad es producto de la presencia tanto de sustancias suspendidas, como disueltas. En este sentido se diferencian dos términos: color aparente y color real. El color aparente hace referencia al color del agua debido a las sustancias disueltas y a la materia en suspensión; mientras que el color real o verdadero hace referencia al color del agua únicamente debido a las sustancias disueltas.

En las aguas superficiales, subterráneas y en las aguas residuales domésticas el color café amarillento característico se debe principalmente a la presencia de materia orgánica natural (Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 2018). También las partículas en suspensión dan color a este tipo de aguas, especialmente las partículas de tamaño coloidal

como arcillas, algas, óxidos de hierro y manganeso. A diferencia de las anteriores, las aguas residuales industriales presentan colores en tonos muy diversos, no solo cafés y amarillos. Estos colores suelen estar generados por ligninas, taninos, tintes y otros productos químicos orgánicos e inorgánicos.

El protocolo utilizado para la determinación del color aparente y del color real de una muestra de agua, se basa en los métodos A y B, respectivamente, de la Norma ISO 7887: Calidad del agua - Examen y determinación del color (International Standardization Organization (ISO), 2011).

En el protocolo la determinación del color aparente de una muestra se hace por examinación visual. Se debe indicar el tono del color de la muestra (amarillo, azul, café, rojizo), la intensidad (nulo, claro, oscuro) y la opacidad (transparente, translucido, opaco). Esta es una revisión cualitativa que está sujeta al criterio del observador, sin embargo, es una herramienta muy práctica y útil para tomar decisiones en campo.

En cuanto al color real de una muestra, su intensidad se caracteriza por su absorción de luz en la longitud de onda de máxima absorción y se cuantifica midiendo el coeficiente de absorción espectral $\alpha(\lambda)$ mediante un espectrofotómetro.

Como ya se mencionó, normalmente, las aguas naturales, residuales domésticas, e incluso el agua potable, presentan colores en los tonos amarillos y cafés, por lo tanto, su longitud de onda de máxima absorción se puede considerar alrededor de los 436 nm. Por su parte, las aguas residuales industriales y otras muestras coloreadas no presentan máximos de absorción suficientemente definidos y diferenciados, por esta razón, su color se debe determinar usando tres longitudes de onda diferentes, distribuidas en el rango del espectro visible: 436 nm (permite medir tonos amarillos), 525 nm (permite medir tonos rojizos) y 620 nm (permite medir tonos azules). Antes de medir el color real de cualquier muestra, esta debe ser filtrada para evitar interferencias por materia no disuelta.

La medición del color real usando este método resulta conveniente, no solo porque permite medir la intensidad del color de muestras coloreadas por fuera de los tonos amarillos y cafés, sino también porque es uno de los parámetros que se exige reportar desde la normativa nacional. En la resolución 0631 de 2015, en la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, se establece como parámetro el color real medido a tres longitudes de onda (436, 525 y 620 nm), no se establecen límites permisibles, pero se exige su análisis y reporte (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

1.2.2 Protocolo para evaluar la toxicidad de una muestra sobre el sistema de lodos activados de la PTAR

En un sistema de lodos activados los microorganismos pueden presentar inhibición causada por agentes físicos o químicos, tales como temperatura, pH, potencial de óxido-reducción del medio o por la presencia de alguna sustancia, como un colorante. En este contexto, la inhibición se define como un trastorno del sistema enzimático de la célula o un daño directo a su estructura que produce la desaceleración de la actividad celular (Henze et al., 2017). Cuando las reacciones bioquímicas inhibidas son vitales para la célula el agente se identifica como

tóxico. A pesar de la diferenciación mencionada entre los conceptos inhibición y toxicidad, muchas veces en la literatura son utilizados como sinónimos. En el presente artículo también se usarán como sinónimos independientemente del tipo de reacciones bioquímicas inhibidas.

El efecto de la toxicidad se manifiesta en los microorganismos inicialmente en una mayor dificultad para absorber los nutrientes, una disminución en la tasa de crecimiento y finalmente la muerte de la célula (Henze et al., 2017). Trasladando esto a los sistemas de tratamiento de aguas con lodos activados, los síntomas de toxicidad son la disminución de la biomasa activa y una menor tasa de degradación, lo cual se refleja en una disminución en la tasa de consumo de oxígeno por parte de los microorganismos. En este sentido, la velocidad de consumo de oxígeno es un parámetro útil para establecer cuando un microorganismo está en un estado normal, activo y saludable (Quesada et al., 2001).

Con base en lo anterior, un método simple, económico y rápido que permite monitorear el estado del lodo activado y su posible inhibición frente a una condición determinada, es la medición de su Tasa de Consumo de Oxígeno (TCO). La TCO se define como la velocidad de consumo de oxígeno por unidad de volumen. Se suele expresar en mg O₂/L h.

Como la TCO de una muestra depende en gran medida de la cantidad de microorganismos presentes, con el fin de obtener un parámetro independiente de esta variable, se suele utilizar la Tasa de Consumo de Oxígeno Específica (TCOE). La TCOE se define como la velocidad de consumo de oxígeno por unidad de biomasa; se puede calcular dividiendo la TCO por la concentración de biomasa de la muestra, la cual se asume aproximadamente igual a la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) para un sistema de lodos activados o, de manera más rigurosa, a la concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV). Se suele expresar en mg O₂/g SSV h. En la figura 1 se presenta de manera resumida y esquemática el procedimiento de laboratorio necesario para obtener la TCOE de una muestra de lodo.

Metodología para la determinación de la TCOE

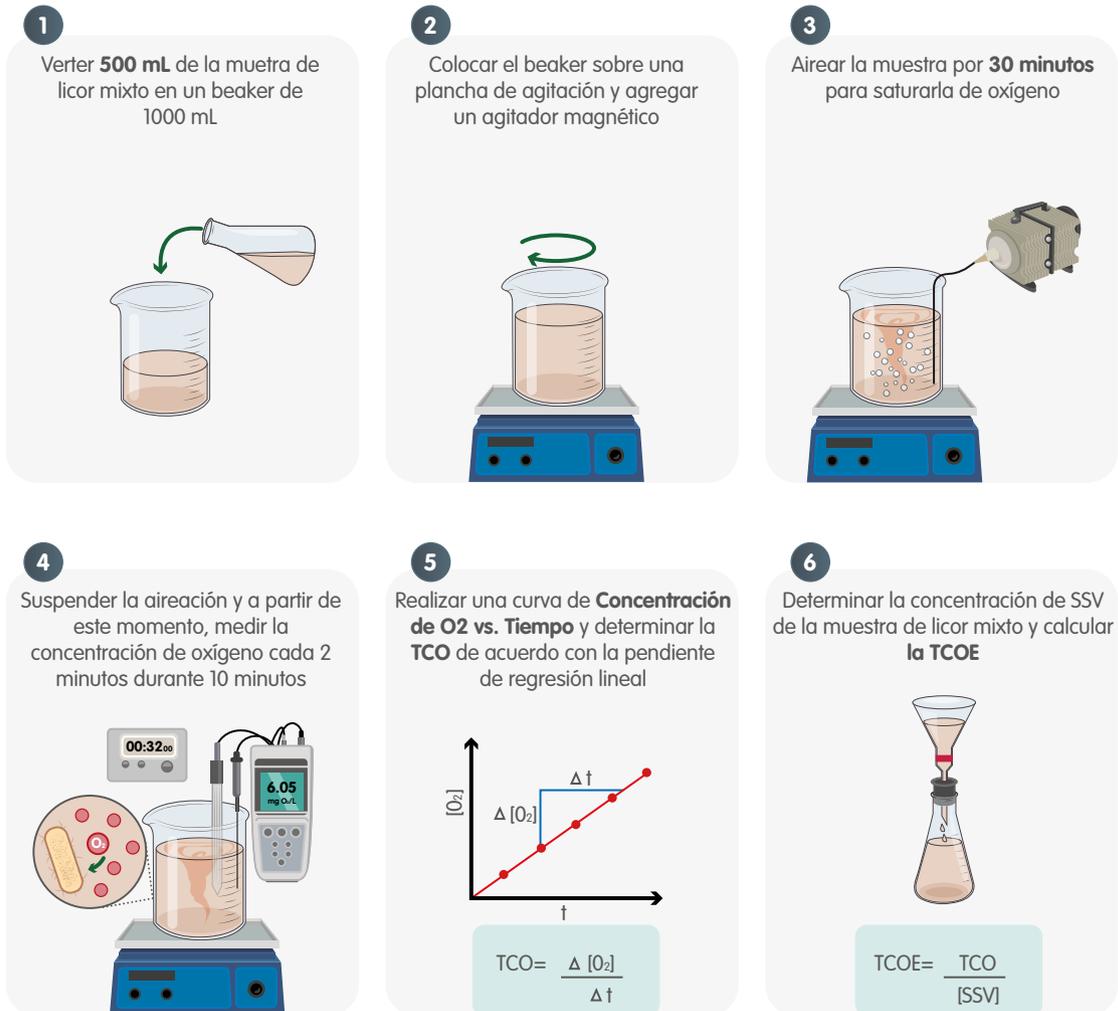
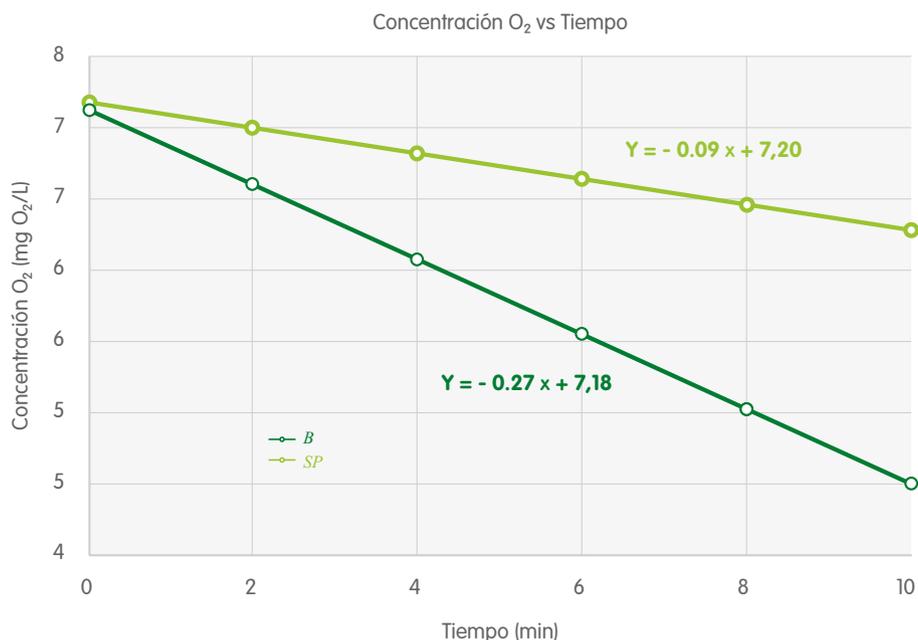


Figura 1. Metodología para la determinación de la TCOE de una muestra de licor mixto (mezcla de lodo activado y agua residual).

El protocolo utilizado para evaluar el efecto tóxico que tendría una muestra o una sustancia problema sobre el sistema de lodos activados de la PTAR se basa en la Norma ISO 8192 de 2007: Calidad del agua - Ensayo de inhibición del consumo de oxígeno por lodos activados por oxidación del carbono y del amonio (International Standardization Organization (ISO), 2007). De manera general, el protocolo consiste en medir la TCOE de una muestra de lodo activado en condiciones normales (prueba blanco) y luego en presencia de la sustancia problema a

la cual se le quiere analizar el grado de toxicidad (prueba problema). Finalmente, se comparan ambas TCOE y se calcula el porcentaje de inhibición de la sustancia problema.

En la figura 2 se presenta un ejemplo de la gráfica Concentración de oxígeno vs. Tiempo que permite determinar la TCO de la prueba blanco y de la prueba problema, para así calcular el porcentaje de inhibición de la sustancia en cuestión.



$$TCO_B = 0,27 \frac{mg O_2}{L \min} \quad TCO_{SP} = 0,09 \frac{mg O_2}{L \min}$$

$$\% I_{SP} = \left[1 - \frac{TCOE_{SP} - TC OE_A}{TCOE_B} \right] \times 100 = 67\%$$

Figura 2. TCO de la prueba blanco (B) y la prueba problema (SP) y cálculo del porcentaje de inhibición de una sustancia problema (SP), de acuerdo con el protocolo basado en la Norma ISO 8192.

Adicional a las dos pruebas anteriores, se debe realizar una prueba de referencia usando como sustancia problema 3,5-diclorofenol. Esta es una sustancia tóxica con rangos de inhibición sobre lodos activados bien definidos, lo cual permite verificar la validez del protocolo.

1.2.3 Protocolo para evaluar la biodegradabilidad aerobia de una muestra

La biodegradabilidad se puede definir como la capacidad intrínseca de una sustancia a ser transformada en una estructura química más simple por vía microbiana (Ottensmeyer & Albertsson, 1994). La biodegradación se denomina primaria cuando únicamente ocurren alteraciones estructurales simples en la sustancia. Mientras que se habla de biodegradación última o mineralización cuando la sustancia se transforma a productos inorgánicos

de bajo peso molecular y constituyentes celulares (Vázquez Rodríguez & Beltrán Hernández, 2004). La reacción típica de mineralización se presenta cuando un compuesto orgánico en presencia de oxígeno es degradado por microorganismos a dióxido de carbono, agua y más biomasa.

El protocolo utilizado para evaluar la biodegradabilidad última de una muestra o sustancia problema se basa en el seguimiento de un parámetro indirecto de la mineralización de la sustancia: el consumo de oxígeno. Específicamente, el protocolo se basa en la Norma ISO 9408 de 1999: Calidad del agua - Evaluación de la biodegradabilidad aerobia final de los compuestos orgánicos en medio acuoso mediante la determinación de la demanda de oxígeno en un respirómetro cerrado (International Standardization Organization (ISO), 1999).

De manera general, el protocolo consiste en llevar a cabo dos pruebas: la prueba problema y la prueba blanco. La prueba problema contiene medio inorgánico, la sustancia problema como única fuente de carbono y energía, y lodo activado que hace las veces de inóculo. La prueba blanco por su parte contiene únicamente medio inorgánico y lodo. Las pruebas se incuban con agitación y temperatura constante en botellas herméticas por un período de 28 días. Luego, utilizando un sistema de sensor y controlador OxiTop® se miden las diferencias de presión al interior de las botellas y se determina la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos en cada prueba. El dióxido de carbono desprendido se absorbe en lentes de soda cáustica. La cantidad de oxígeno consumido en la prueba problema se corrige con el consumido en la prueba blanco, que corresponde a la respiración endógena, con lo cual se obtiene el oxígeno necesario para biodegradar la sustancia problema.

Finalmente, la cantidad de oxígeno requerida para biodegradar la sustancia problema (DBO) se expresa como un porcentaje de la demanda química de oxígeno de la sustancia (DQO) y a este parámetro se le denomina porcentaje de biodegradabilidad.

Con la intención de verificar la validez del protocolo se debe realizar una prueba adicional de referencia usando como sustancia problema benzoato de sodio. Este tiene una biodegradabilidad conocida y superior al 60%.

1.3 Caracterización de las muestras de los efluentes de las empresas críticas

La rutina utilizada para caracterizar las muestras de los efluentes industriales de las empresas críticas se presenta en la figura 3. Esta se compone esencialmente por los tres protocolos ya mencionados.

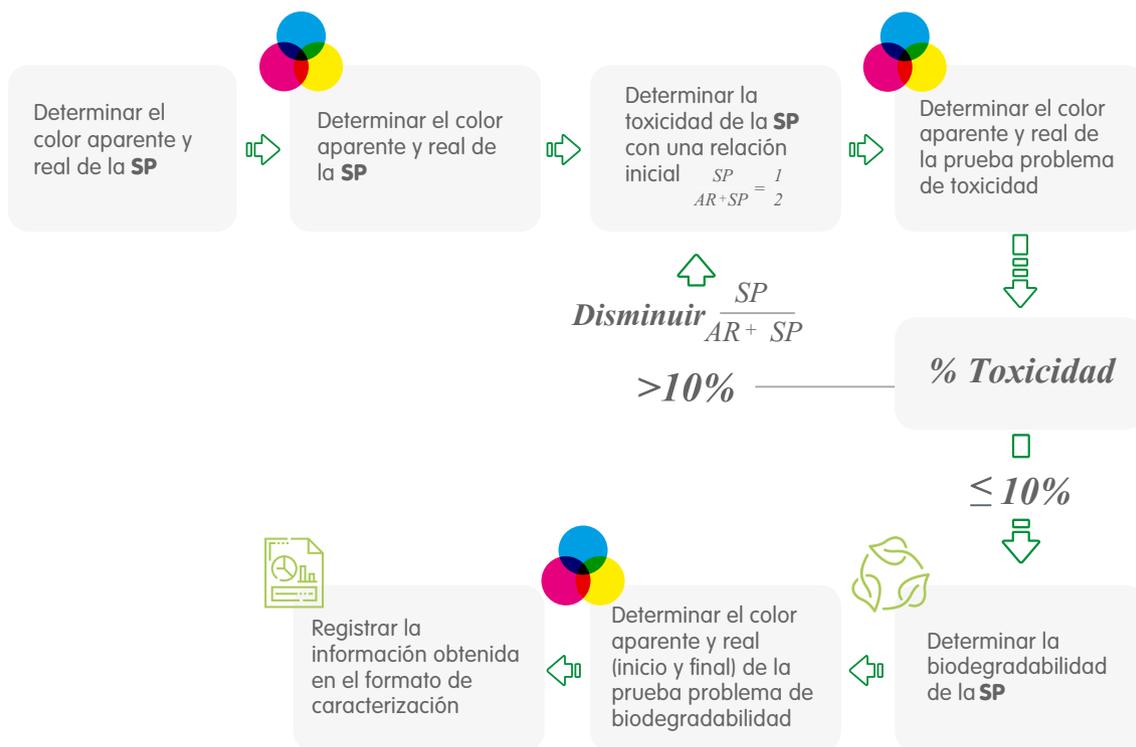


Figura 3. Rutina de caracterización para una muestra de agua residual industrial.

La rutina inicia con la recolección de la muestra de agua residual de la empresa crítica, la cual actúa como la sustancia problema (SP) para cada uno de los protocolos. Una vez recolectada la muestra, se le determina el color aparente y real.

Luego, se procede a determinar la toxicidad que tendría la muestra industrial sobre el lodo activado de la PTAR en una dilución inicial de 1 en 2 con agua residual afluyente al tratamiento secundario en condiciones normales ($SP/(AR+SP)=1/2$). Es decir, que se evalúa cuál sería la inhibición de los microorganismos del lodo activado de la planta en la situación hipotética en la cual el agua que está ingresando al tratamiento secundario está conformada en 1/2 por agua residual industrial de la empresa en cuestión. Una vez más, se aplica el protocolo para la medición de color a la dilución de la muestra industrial utilizada. Si el porcentaje de toxicidad de la dilución es superior al 10%, se vuelve a aplicar el protocolo de toxicidad y de color, pero esta vez sobre una dilución dos veces mayor a la anterior. Una vez se obtenga un porcentaje de toxicidad igual o inferior al 10%, se considera que los efectos tóxicos de la sustancia son insignificantes y no es necesario continuar aplicando el protocolo de toxicidad.

Finalmente, se debe determinar la biodegradabilidad aerobia de la muestra industrial. Para este protocolo se debe utilizar una dilución de muestra industrial igual o superior a la dilución en la cual se encontró que los efectos tóxicos de la sustancia no son significativos. Con el objetivo de evidenciar como cambia el color de las muestras industriales al someterlas a un proceso de biodegradación por los lodos activados de la PTAR, se debe aplicar el protocolo para la medición de color a la prueba de biodegradabilidad problema antes y después de la

incubación, es decir en el tiempo cero de la prueba y pasados los veintiocho días.

La rutina descrita anteriormente se siguió para caracterizar las diez muestras de agua residual de las empresas críticas seleccionadas. Las muestras industriales recolectadas fueron muestras puntuales de las aguas residuales de las empresas antes de recibir algún tratamiento, para el caso de las empresas que cuenten con uno. Lo anterior se hizo con la intención de evaluar la afectación del lodo activado de la planta en el escenario más desfavorable, que sería cuando se dañe o por alguna razón esté fuera de funcionamiento el sistema de tratamiento de la empresa. Además, porque de esta manera se tenía mayor probabilidad de obtener muestras coloreadas que aportaran información relevante al estudio.

En la tabla 1 se presenta como ejemplo, el formato de caracterización resumido de la muestra de agua residual de la Empresa 7. En este se observa que la muestra tiene un color aparente azul intenso. Se puede deducir que el color es debido principalmente a sustancias disueltas, pues el color real es muy similar al color aparente. En cuanto a la toxicidad de la muestra se evidencia que, en una dilución de 1 en 2, la muestra inhibe a los microorganismos del lodo activado en un 33%. Es necesaria una dilución de la muestra de 1 en 16 para que sus efectos tóxicos sean insignificantes. Finalmente, se tiene que la muestra industrial presenta una biodegradabilidad aerobia del 59%. Sin embargo, no se observan variaciones ni en el color aparente ni en el color real de la muestra después del proceso de biodegradación, por lo tanto, se puede deducir que no es posible remover el colorante de la muestra usando el lodo activado de la planta.

Solución Problema (Sp): Efluente De La Empresa 7

SP/(SP+AR) [L/L]	Color aparente		Color real			
	Tono/saturación/luminosidad	pH [-]	Coef Abs $\alpha(\lambda)$ [abs/m]			pH [-]
			$\lambda=436\text{nm}$	$\lambda=525\text{nm}$	$\lambda=620\text{nm}$	
1	● Azul/intenso/oscuro	9,8	10,5	24,0	104,0	9,37
						
1/16	● Azul/muy ténue /claro	7,63	4,2	4,3	8,2	7,61
						

Toxicidad

SP/(SP+AR) [L/L]	TCOE [mg O ₂ /g SST h]				% Toxicidad		
	B	P	P-pH	R	SP	SP-pH	R
1/2	13,7	9,3	-	3,9	33	-	72
1/4	26,4	16,9	-	7,1	36	-	73
1/8	15,3	12,7	-	4,2	17	-	73
1/16	25,0	27,4	-	-	-9	-	-

Biodegradabilidad

DQO SP [mgO ₂ /L]	% Biodegradabilidad		Disminución del color aparente			
	SP	R	t_0	t_f		
1764	59	80				
			Disminución del color real			
			Coef Abs $\alpha(\lambda)$ [abs/m]			
			$\lambda=436\text{nm}$	$\lambda=525\text{nm}$	$\lambda=620\text{nm}$	
			t_0	0,7	1,4	5,0
			t_f	0,7	1,4	5,0
			% Dism	0,0	0,0	0,0

Curva de biodegradación

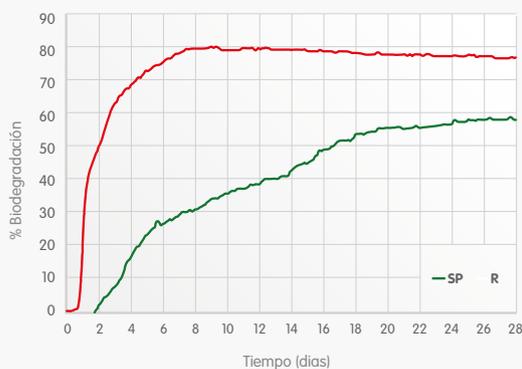


Tabla 1. Caracterización de la muestra de agua residual de la empresa 7.

1.4 Caracterización de muestras con anilina vegetal

Para la caracterización de las muestras con anilina se aplicó la rutina presentada en la figura 3 usando como sustancia problema (SP)

anilina vegetal comestible diluida con agua destilada. Se caracterizaron tres tipos de anilina de diferentes tonos: amarillo, azul y rojo. No se aplicó el protocolo de biodegradabilidad a estas muestras porque se consideró irrelevante para el propósito planteado.

2. Resultados

2.1 Relación entre color y toxicidad

Debido a que el color aparente se describió cualitativamente, para el análisis de la información se establecieron tres categorías para esta variable: nivel de color bajo, medio y alto.

En cuanto a la caracterización de las muestras de anilina, a pesar de los altos niveles de color de las muestras, ninguna de ellas presentó toxicidad sobre el sistema de lodos activados. Por lo tanto, se dedujo que la presencia de color en el agua no tiene un efecto tóxico en sí mismo para los microorganismos del tratamiento secundario de la PTAR. Es decir que los microorganismos no se ven afectados por la distorsión en el paso de la luz que genera la presencia de color en el agua.

Esto tiene sentido, debido a que la población microbiana del lodo activado se compone en su gran mayoría por microorganismos quimiótrofos, los cuales, a diferencia de los fotótrofos, no dependen de la luz para realizar sus procesos metabólicos.

A diferencia del resultado anterior, en la caracterización de los efluentes industriales, varias muestras presentaron niveles de toxicidad considerables sobre el lodo activado. En la tabla 2 se presenta el color y la toxicidad asociada de cada una de las muestras industriales en una dilución de 1 en 2. Las muestras se organizaron de manera ascendente en porcentaje de toxicidad para facilitar la interpretación de los resultados.

Muestra industrial	Porcentaje de Toxicidad	Color Aparente	Color Real
Empresa 4	-47%		
Empresa 10	-13%		
Empresa 9	-10%		

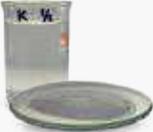
Empresa 6	3%		
Empresa 5	9%		
Empresa 1	12%		
Empresa 3	26%		
Empresa 7	33%		
Empresa 2	44%		
Empresa 8	67%		

Tabla 2. Nivel de color y toxicidad sobre el sistema de lodos activados de las muestras de efluentes industriales en una dilución 1 en 2. Se presentan organizadas de manera ascendente en porcentaje de toxicidad.

En la figura 4, se agrupan las muestras industriales por su nivel de color aparente y se relacionan con su porcentaje de toxicidad en una dilución 1 en 2. Se puede observar que las muestras pertenecientes al nivel de color alto fueron las que presentaron mayores porcentajes de toxicidad. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si los porcentajes de toxicidad promedio de los niveles de color aparente eran iguales entre si (hipótesis nula) o si, por el contrario, en al menos un nivel de color aparente, el promedio del porcentaje de toxicidad era significativamente distinto a los demás (hipótesis alterna). Como se puede evidenciar en la tabla 3, el valor p de la prueba fue inferior al nivel de significancia de 0,05, por lo tanto, se acepta la

hipótesis alterna y se puede deducir que el nivel de color aparente si tiene alguna influencia o relación con la toxicidad.

Para determinar entre cuales niveles de color aparente existen diferencias significativas en los porcentajes de toxicidad, se realizó una prueba de Tukey HSD- Kramer. En la tabla 3 se puede observar que solo entre el nivel de color medio y el alto se obtuvo un valor-p inferior al nivel de significancia de 0,05, por lo cual, es posible concluir que el promedio del porcentaje de toxicidad del nivel de color alto es significativamente superior al del nivel de color medio.

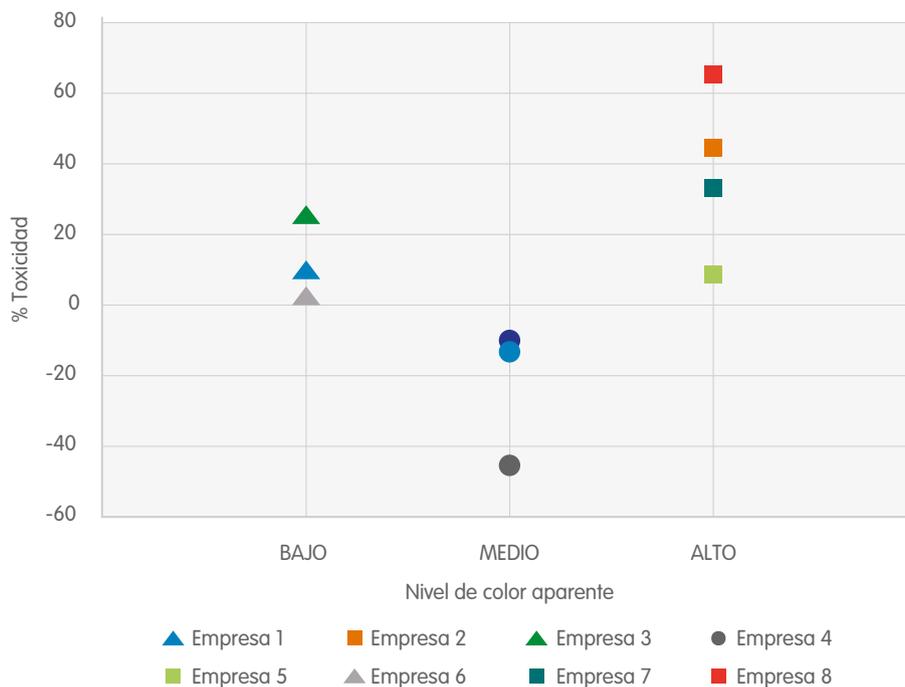


Figura 4. Toxicidad y color aparente de las muestras de las empresas críticas teniendo en cuenta únicamente la dilución 1 en 2 ($SP/(AR+SP)=1/2$).

Nivel de color aparente	Número de muestras	% Toxicidad	
		Promedio	Varianza
Bajo	3	13	126
Medio	3	-23	417
Alto	4	38	582

ANOVA

Nivel de significancia α	Valor p	Valor crítico para F	F
0,05	0,02	4,74	7,96

TUKEY HSD/KRAMER

Nivel de significancia α	Nivel 1	Nivel 2	Valor p
0,05	Bajo	Medio	0,13
0,05	Bajo	Alto	0,31
0,05	Medio	Alto	0,01

Tabla 3. Análisis estadístico entre el nivel de color aparente y la toxicidad en las muestras industriales de las empresas críticas teniendo en cuenta únicamente la dilución $SP/(AR+SP)=1/2$.

En cuanto al color real, para poder relacionar el nivel de color con la toxicidad de las muestras independiente de su tono, se utilizó una variable llamada color real total, la cual consiste en la sumatoria de los coeficientes de absorción a las tres longitudes de onda. En la figura 5 se presenta la relación entre el color real total y

la toxicidad de cada muestra industrial en una dilución 1 en 2. No fue posible establecer en la gráfica ningún tipo de correlación entre las dos variables; sin embargo, se pudo evidenciar una tendencia de los datos, a medida que aumenta el color real total, aumentan los porcentajes de toxicidad.

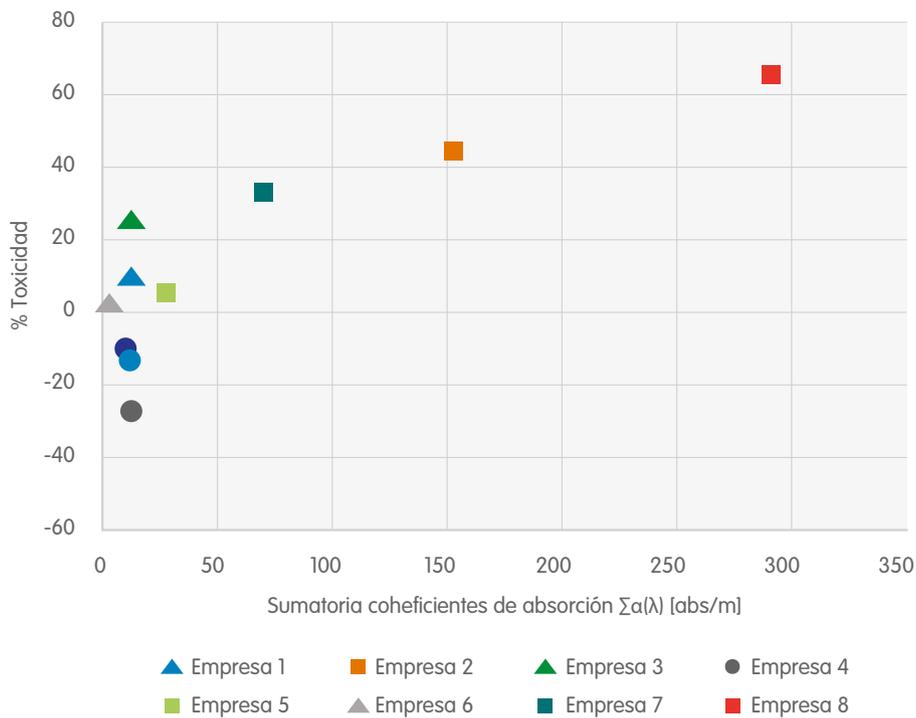


Figura 5. Toxicidad y color real total de las muestras de las empresas críticas teniendo en cuenta únicamente la dilución 1 en 2 ($SP/(AR+SP)=1/2$).

Los efectos tóxicos de cada muestra industrial presentaron diferentes comportamientos ante las diluciones realizadas. La muestra de la Empresa 2, por ejemplo, presentó una toxicidad alta del 44% cuando se diluyó 1 en 2, sin embargo, al diluirse 1 en 4, la toxicidad disminuyó radicalmente al 1%. Caso contrario a la muestra de la Empresa 8, la cual diluida 1 en 2 presentó una toxicidad alta del 67% y a pesar de las diluciones subsecuentes los valores de toxicidad se mantuvieron altos. Solo hasta la dilución 1 en 128 se alcanzó un porcentaje de toxicidad no significativo del 5%.

De acuerdo con los análisis estadísticos realizados sobre la figura 4 y el comportamiento observado en la figura 5 es posible concluir que existe una tendencia a aumentar la toxicidad a medida que aumenta el color en las muestras industriales de las empresas vertientes a la PTAR San Fernando. Por lo tanto, operativamente afluentes coloreados en la planta tendrán mayor probabilidad de generar un evento tóxico y deben tratarse con especial cuidado, no solo por los efectos estéticos en el agua, sino también por los posibles daños al tratamiento secundario que pueden generar.

Cabe aclarar, que la tendencia mencionada anteriormente no implica una relación de causalidad. Es decir, que no es posible afirmar que la razón de la toxicidad son los altos niveles de color, así como tampoco es posible correlacionar estas dos variables de manera directa. Lo anterior se explica porque, aunque los colorantes suelen presentar estructuras difíciles de degradar y en muchas ocasiones son tóxicos, no siempre lo son; de la misma manera que no todas las sustancias

tóxicas deben ser coloreadas. De acuerdo con esto y teniendo en cuenta que las muestras industriales son una mezcla de sustancias desconocidas, no es posible atribuir la toxicidad de las muestras a la molécula que provoca el color.

2.2 Relación entre toxicidad y biodegradabilidad

Las pruebas de biodegradabilidad de las Empresas 1, 2, 3, 4 y 8 no fueron válidas porque no cumplieron con los criterios de validez del protocolo de acuerdo con la Norma ISO 9408 (International Standardization Organization (ISO), 1999). En vista de lo anterior, se realizaron una serie de pruebas para ajustar las condiciones del protocolo y finalmente se llevaron a cabo satisfactoriamente las pruebas de biodegradabilidad de las muestras de las empresas restantes.

Continuando el análisis con los resultados de biodegradabilidad válidos, en la figura 6 se relaciona el porcentaje biodegradabilidad de cada muestra con su porcentaje de toxicidad en una dilución de 1 en 2. No se observa ninguna relación o tendencia definida entre estas dos variables. Esto puede deberse a los pocos datos disponibles, por lo tanto, sería ideal obtener más datos antes de emitir una conclusión. Sin embargo, aun cuando pueda existir una tendencia entre las dos variables, no debe existir una correlación directa, pues no necesariamente una muestra tóxica será poco biodegradable, existen sustancias tóxicas que a bajas concentraciones pueden ser biodegradadas por sistemas de tratamiento de aguas residuales, así como también existen sustancias no tóxicas y poco biodegradables (Tobajas & Molina, 2017).

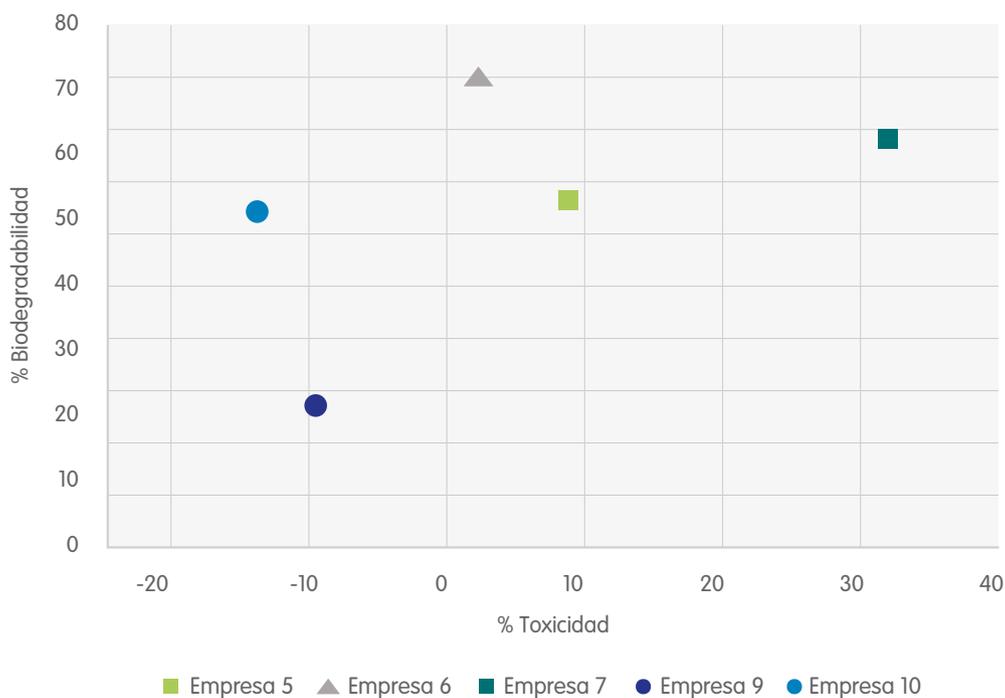


Figura 6. Biodegradabilidad y toxicidad de las muestras de las empresas críticas en una dilución de 1 en 2 ($SP/(AR+SP)=1/2$).

2.3 Relación entre biodegradabilidad y color

En la figura 7 se presentan los porcentajes de disminución del color real total de las muestras industriales luego de ser sometidas a la prueba de biodegradabilidad. En cuatro de las cinco muestras industriales el color real disminuyó, mientras que en la Empresa 7 permaneció constante. Adicionalmente, en cuanto al color aparente, en las muestras de las Empresas 5 y 9 se observó una notoria disminución en la intensidad luego del proceso de biodegradación. Lo anterior permite deducir que, a pesar de no tener un sistema

especializado para la remoción de color, el lodo activado de la PTAR puede degradar ciertos tipos de tintes. Esto coincide con lo encontrado en el proyecto Investigación Básica y Aplicada sobre el Parámetro Color en el Valle de Aburrá (Ríos et al., 2015), en el cual se observó que las aguas residuales industriales analizadas que estuvieron sometidas a algún tipo de tratamiento, no necesariamente diseñado para la remoción de color, presentaron niveles de color significativamente menores en comparación con las aguas residuales industriales que no recibieron ningún tratamiento.

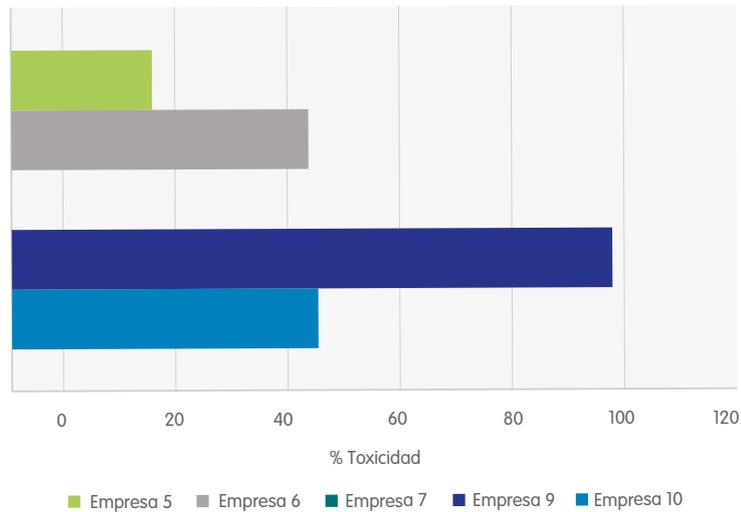


Figura 7. Cambios en el color real total de las muestras de las empresas críticas antes y después de ser sometidas a un proceso de biodegradación.

3. Aplicación de la metodología propuesta en el proceso de investigación y control a la industria

La metodología de caracterización propuesta no solo permite evaluar la afectación del tratamiento secundario de la PTAR San Fernando ante una descarga de color en el agua residual afluyente, sino que además constituye una caracterización de los efluentes de los clientes no residenciales críticos ante un evento de color. En este sentido, articulando esta metodología de caracterización de efluentes industriales junto con el análisis de parámetros operativos en la PTAR ante un evento de color, es posible crear una estrategia que permita dirigir mejor las investigaciones del equipo de Investigación y Control Vertimientos acerca de la procedencia del agua causante del evento de color.

De acuerdo con lo anterior, para la creación de la estrategia hay dos aspectos fundamentales. El primero, continuar con la caracterización de los efluentes de los clientes no residenciales de la PTAR San Fernando, para así crear una base de datos con las características más relevantes en cuanto a color, toxicidad y biodegradabilidad de las aguas

residuales de las empresas que vierten a la PTAR. Para este propósito es recomendable, no solo muestrear más empresas, sino también analizar varias muestras de una misma empresa en diferentes momentos para así obtener información representativa de sus vertimientos. Toda la información recolectada en esta fase permitirá, además, obtener conclusiones más sólidas de las relaciones existentes entre el color de una muestra, su toxicidad y su biodegradabilidad.

El segundo aspecto esencial para la estrategia ya mencionada está relacionado con implementar una rutina de atención ante un evento de color en la PTAR, para así poder comparar las características del evento con la información disponible en la base de datos de los efluentes industriales. En este aspecto se trabajó durante el proyecto y finalmente se implementó en la PTAR San Fernando una rutina de atención, no solo ante eventos de color, sino de manera general ante eventos tóxicos. Se sugiere aplicar la rutina cuando se observen

colores atípicos en el agua residual afluyente o ante cualquier otra señal que permita sospechar de toxicidad en la planta. La rutina pretende, además de ser una herramienta para la estrategia de investigación y control de la industria, ser también útil para establecer un diagnóstico de la afectación del proceso de la PTAR ante este tipo de eventos, lo cual es importante para llevar un registro de lo sucedido y emprender acciones para mitigar posibles efectos negativos a futuro.

La rutina propuesta se basa en el análisis de una lista de parámetros operativos que son relevantes ante una situación de inhibición en el tratamiento secundario. Dentro de los parámetros están la Tasa de Consumo de Oxígeno Específica (TCOE), el Factor de Carga (FC), el color del agua, la relación DBO5/DQO, entre otros.

La TCOE medida al final de los tanques de aireación (TCOE f) se estableció como uno de los

parámetros más dicentes ante una situación de toxicidad, pues es una prueba sencilla, que con pocos recursos y en aproximadamente media hora permite monitorear el estado del sistema de lodos en la PTAR. De acuerdo con la literatura, esta técnica es ampliamente utilizada tanto para el seguimiento cotidiano del desempeño de las PTAR como para tomar decisiones de operación en momentos críticos (Calderón Molgora, 2004). Esta medición ya se venía realizando en la PTAR San Fernando, por lo cual en el proyecto se trabajó en la estandarización del protocolo y en la interpretación de los resultados junto con el personal operativo. De acuerdo con la literatura, los valores normales para la TCOE f en el sistema de aireación de San Fernando deben estar entre los 8 y 20 mg O₂/gSSV h (Nadal, 2010). En la tabla 4 se presenta qué situaciones pueden indicar valores de la TCOE f por fuera del rango adecuado.

TCOE f [mgO ₂ /gSSV h]	Diagnóstico
> 20	Sobrecarga orgánica Edad de lodos muy baja Nitrificación incompleta
8 – 20	Normal
< 8	Infracarga orgánica Edad de lodos muy alta Toxicidad

Tabla 4. Valores de referencia para la TCOE medida al final de los tanques de aireación (TCOE f) y posibles diagnósticos. Adaptada de Nadal (2010).

Otro parámetro relevante que se estableció a la hora de determinar toxicidad en el sistema de lodos activados es el Factor de Carga (FC). Este consiste en la relación entre la TCOE al inicio del proceso de aireación (TCOE i) y la TCOE al final del proceso (TCOEf) (Nadal, 2010). Si la relación está por

debajo de 1, se debe sospechar de una situación de toxicidad. Además, como se indica en la tabla 5, el FC también permite establecer un diagnóstico primario de la carga a la que está siendo sometido el proceso.

$FC = \frac{(TCOE\ i)}{(TCOE\ f)} [-]$	Diagnóstico
> 5	Posible sobrecarga
2 - 5	Carga aceptable
1 - 2	Baja carga o rendimiento
< 1	Carga inhibitoria

Tabla 5. Valores de referencia para el factor de carga (FC) y posibles diagnósticos. Tomada de Nadal (2010).

Finalmente, con relación a la medición del color en el agua, esta se venía realizando en la PTAR San Fernando en la escala Platino-Cobalto. Esta es una escala que permite medir el color espectrofotométricamente a una sola longitud de onda propia de tonalidades amarillas, por lo cual es la medición recomendada para aguas naturales, potables y residuales domésticas. Sin embargo, tiene el inconveniente de no permitir evaluar adecuadamente la intensidad del color en aguas con tonalidades diferentes, como es el caso de las aguas residuales industriales coloreadas. Por esta

razón, se sugirió eliminar la medición del color en la PTAR en la escala Platino-Cobalto, y en su lugar, se propuso realizarla a tres longitudes de onda (436, 525 y 620 nm). Este último método es el requerido para evaluar y reportar el color de acuerdo con la Resolución 0631 de 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), por lo cual su utilización resulta conveniente, no solo porque permite medir el color del agua en diferentes tonalidades, sino también en pro de tener una mejor comunicación con la autoridad ambiental ante un evento de color.



Conclusiones

- El sector textil es el sector que tiene mayor potencialidad de generar vertimientos que puedan alterar el color del agua residual afluente a la PTAR San Fernando.
- La distorsión en el paso de luz que genera la presencia de color en el agua no afecta el lodo activado del tratamiento secundario de la PTAR San Fernando, por ende, si se presenta toxicidad asociada a altos niveles de color en el agua, estará relacionada con la naturaleza tóxica de los colorantes o las sustancias presentes.
- No hay una relación directa entre el color de las aguas residuales afluentes a la PTAR San Fernando y la toxicidad que pueden generar sobre el sistema biológico del tratamiento secundario, sin embargo, sí existe una tendencia a aumentar la toxicidad a medida que aumentan los niveles de color. Por lo tanto, en comparación con un afluente de coloración normal, un afluente con altos niveles de color tendrá mayor probabilidad de generar afectaciones negativas sobre el tratamiento secundario de la PTAR, lo cual generaría una disminución en la capacidad de remoción de materia orgánica y, en consecuencia, un deterioro en el proceso de tratamiento del agua residual.
- A pesar de no tener un sistema especializado para la remoción de color, el lodo activado de la PTAR San Fernando puede degradar ciertos tipos de tintes que se espera estén presentes en las aguas residuales afluentes.
- La metodología planteada para la caracterización de los efluentes industriales en torno a su nivel de color, toxicidad y biodegradabilidad puede ser una herramienta útil para diseñar una estrategia que facilite la investigación de la procedencia del agua coloreada ante un evento de color en la PTAR San Fernando.
- La Tasa de Consumo de Oxígeno Específica (TCOE) es una herramienta útil y práctica, tanto para el seguimiento y control del proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR San Fernando, como para determinar, a nivel de laboratorio, la toxicidad que tendría una sustancia sobre el sistema de lodos activados de la planta.
- El método más adecuado para medir color en la línea líquida de la PTAR San Fernando es espectrofotométricamente a tres longitudes de onda (436, 525 y 620 nm).
- Con la intención de tener una comunicación asertiva con la sociedad ante una problemática tan importante como lo es la contaminación del río del Valle de Aburrá, se sugiere diseñar una estrategia comunicativa de sensibilización que le permita a la comunidad entender qué es lo que sucede ante un evento de color en el agua residual afluente a la PTAR San Fernando y los esfuerzos de EPM para prevenir este tipo de eventos.

Notas al final

¹ Es un método ampliamente utilizado para el tratamiento de aguas residuales. Consiste fundamentalmente en la remoción de materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales mediante la suspensión, en presencia de oxígeno, de un conjunto de microorganismos (lodo activado), entre ellos bacterias, hongos, protozoos y rotíferos.

² Es la transformación de una sustancia química a una más simple mediante la acción del metabolismo microbiano en presencia de oxígeno.

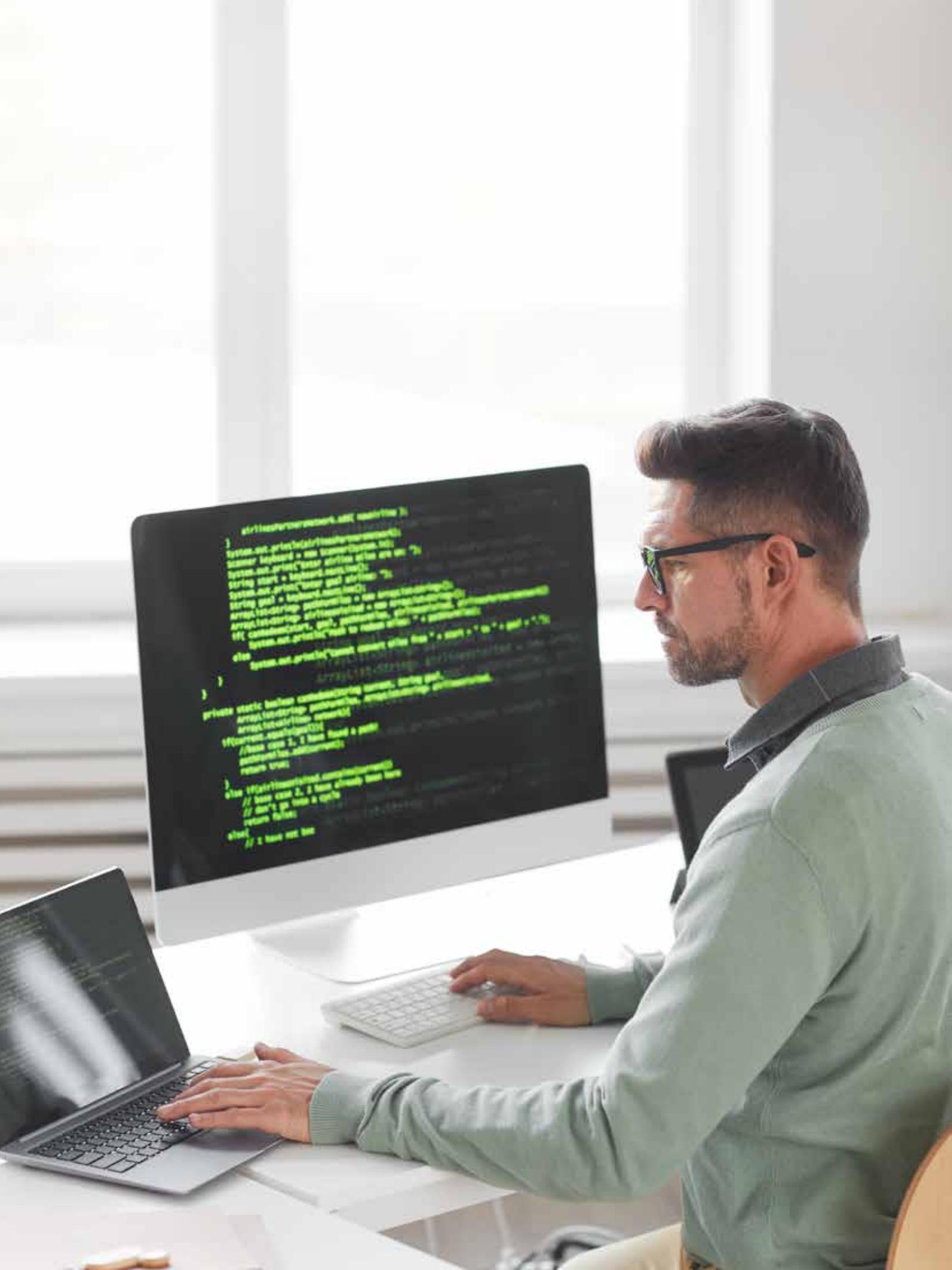
³ Procesos de naturaleza biológica que se llevan a cabo en el tratamiento de las aguas residuales.

Referencias

- Calderón Molgora, C. (2004). Operación de Plantas de Lodos Activados. In Memorias Curso Internacional de Sistemas Integrados de Tratamiento de Aguas Residuales y su Reúso para un Medio Ambiente Sustentable. IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/018834.htm>
- Gupta, V., & Suhas. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of Environmental Management*, 90, 2313–2342. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>
- Henze, M., Loosdrecht, M. C. M. van, Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño (C. M. López Vázquez, G. Buitrón Méndez, H. A. García, & F. J. Cervantes Carrillo (eds.)). IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780409146>
- International Standardization Organization (ISO). (1999). ISO 9408: Water quality - Evaluation of ultimate aerobic biodegradability of organic compounds in aqueous medium by determination of oxygen demand in a closed respirometer.
- International Standardization Organization (ISO). (2007). ISO 8192: Water quality - Test for inhibition of oxygen consumption by activated sludge for carbonaceous and ammonium oxidation.
- International Standardization Organization (ISO). (2011). ISO 7887: Water quality - Examination and determination of colour.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución No. 0631: Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
- Nadal, A. (2010). Estudio del estado del proceso de depuración de la EDAR de Cullera mediante técnicas de respirometría. Universidad Politécnica de Valencia.
- Ottenbrite, R., & Albertsson, A. (1994). Biodegradable polymers and plastics (M. Vert, J. Feijen, A. Albertsson, G. Scott, & E. Chiellini (eds.)). Royal Society of Chemistry.
- Quesada, I., Jáuregui, U., & Menéndez, C. (2001). Empleo de la respirometría en la determinación de la inhibición provocada sobre lodos activados por sustancias tóxicas. *Tecnología Del Agua*, 28–33.
- Ríos, J. A., Vargas Giraldo, R. D., Gómez, B. E., Martínez Navarrete, V. A., Jiménez García, F. J., Ramírez Muñoz, E., Tabares Bernal, M. I., Posada, L., Castrillón, M., Peñalosa Anaya, F., Villa Villa, A. I., Salazar Gámes, L. L., Morales, G. E., Salazar Gámes, C., Villegas, S., Cardona, S., Agudelo, E. A., Gaviria, L., Robayo, J., ... Silva, W. (2015). Investigación Básica y Aplicada sobre el Parámetro Color en el Valle de Aburrá.
- Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. (2018). 2120 COLOR. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.017>
- Tobajas, M., & Molina, C. B. (2017). Evaluación de la toxicidad de contaminantes prioritarios y emergentes en aguas. *Revista CIC Arquitectura y Sostenibilidad*, 50–54.
- Vázquez Rodríguez, G., & Beltrán Hernández, R. I. (2004). Pruebas normalizadas para la evaluación de la biodegradabilidad de sustancias químicas. Una revisión. *Interciencia*, 29, 568–573.

Cómo citar este artículo:

Hernandez, A. y Hoyos, O. (2021). Descargas de color en el agua residual afluyente a la PTAR San Fernando de EPM: cómo afectan el proceso de tratamiento de aguas residuales. *Revista EPM*, (17). 16-37.



```
string CaesarCipher::encrypt(const string& text) const {
    string encryptedText;
    for (char c : text) {
        if (isalpha(c)) {
            int shift = (c < 'a' ? 1 : -1);
            char base = 'a' + shift;
            int offset = c - base;
            char encryptedChar = base + (offset + shift) % 26;
            encryptedText += encryptedChar;
        } else {
            encryptedText += c;
        }
    }
    return encryptedText;
}

string CaesarCipher::decrypt(const string& text) const {
    string decryptedText;
    for (char c : text) {
        if (isalpha(c)) {
            int shift = (c < 'a' ? 1 : -1);
            char base = 'a' + shift;
            int offset = c - base;
            char decryptedChar = base + (offset - shift) % 26;
            decryptedText += decryptedChar;
        } else {
            decryptedText += c;
        }
    }
    return decryptedText;
}

int main() {
    CaesarCipher cipher;
    string text = "Hello, World!";
    string encryptedText = cipher.encrypt(text);
    string decryptedText = cipher.decrypt(encryptedText);
    cout << "Original text: " << text << endl;
    cout << "Encrypted text: " << encryptedText << endl;
    cout << "Decrypted text: " << decryptedText << endl;
    return 0;
}
```

Pronóstico del presupuesto de efectivo con series de tiempo y Machine Learning en Python

Cash budget forecasting with time series and Machine Learning in Python

Jorge Wilson

Tobón Tobón

Dirección Transacciones Financieras,
EPM

jorge.tobon@epm.com.co

Ángela Patricia

Perdomo Silva

Dirección Transacciones Financieras,
EPM

angela.perdomo@epm.com.co

Resumen

El artículo describe una secuencia de pasos seguidos para la elaboración de un pronóstico de los pagos relacionados con los costos y gastos de EPM para un período de doce meses, mediante el uso de series de tiempo con modelos univariantes y aplicando conceptos de Machine Learning y el uso del lenguaje computacional Python. El artículo no tiene demostraciones o formulaciones matemáticas que justifiquen los modelos, dado que éstas ya están aplicadas o contenidas en las diferentes librerías que ofrece

Python. Algunos de los algoritmos tienen su fundamentación en el lenguaje desarrollado por los creadores de las librerías; por lo tanto, la tarea consistió en interpretar su funcionamiento, adecuarlas y aplicarlas a las necesidades propias del ejercicio, en el desarrollo del programa computacional requerido para el procesamiento de los modelos. Durante el trabajo realizado se diseñaron varios modelos para diferentes rubros presupuestales, este artículo es una abstracción de uno de esos rubros.

Palabras clave:

Ciencia de datos, Series de tiempo, Univariante, Métodos, Algoritmo.

Keywords:

Data science, Time series, Univariate, Methods, Algorithm.

Introducción

El objetivo principal de este artículo es describir la forma como se implementaron los modelos de pronóstico, mediante series de tiempo para los ingresos y egresos del presupuesto de efectivo de EPM, bajo la metodología de análisis de datos Machine Learning utilizando el lenguaje de programación de Python. Los rubros presupuestales estimados fueron los ingresos operacionales, dividendos, recaudo de terceros, costos y gastos, inversión en infraestructura, proyecto Ituango,

impuestos y otras aplicaciones de inversión; el horizonte de pronóstico fue de doce meses móviles.

Después de realizar consultas en revistas indexadas y bases de datos, se logró identificar que no hay un referente donde se evidencie un trabajo de aplicación orientado a la predicción del presupuesto de efectivo o flujo de caja en una empresa de servicios públicos, mediante el enfoque de aprendizaje automático.



1. Metodología y datos

Para desarrollar el trabajo se utilizaron datos históricos de los pagos que EPM hizo a proveedores de bienes y servicios durante siete años (enero 2013 hasta octubre 2020), estos datos presentan las siguientes características: están almacenados en una base de datos, pueden

ser observados y su registro se dio en intervalos de tiempo regulares (diario, semanal, mensual, semestral, anual, entre otros).

A este conjunto de características que tienen los datos es lo que se denomina una serie de tiempo

y pueden ser estacionarias y no estacionarias. Una serie de tiempo es un conjunto de observaciones generadas secuencialmente a lo largo del tiempo. "Si el conjunto es continuo, se dice que la serie temporal es continua. Si el conjunto es discreto, se dice que la serie temporal es discreta" (Box et al. 2016, p.21).

El objetivo principal del análisis de las series de tiempo es conocer el comportamiento de una variable a través del tiempo y bajo el supuesto de que no van a producirse cambios estructurales, poder realizar pronósticos, es decir, determinar qué valor tomará la variable objeto de estudio en uno o más períodos de tiempo situados en el futuro, mediante la aplicación de un determinado modelo calculado previamente. Los métodos de pronósticos basados en series temporales se pueden agrupar en dos categorías:

Métodos cualitativos: se caracterizan por utilizar el criterio o juicio de un experto en el tema que se está pronosticando, por lo cual son de carácter subjetivo y no requiere modelos matemáticos.

Métodos cuantitativos: con estos métodos se obtiene toda la información posible de la variable contenida en los datos y, según el comportamiento observado en el pasado, realizar pronósticos sobre el futuro (Marín, 2004).

En los métodos de predicción cuantitativos, se pueden distinguir dos enfoques: por un lado, el análisis univariante de series de tiempo, que posibilita realizar pronósticos de valores futuros de una variable, utilizando como información la contenida en los valores pasados de la propia serie temporal. Dentro de esta metodología se incluyen los métodos de descomposición y la familia de modelos ARIMA univariantes, que será uno de los métodos de estudio descritos en este artículo. El segundo enfoque corresponde al análisis multivariante o de tipo causal, denominado así porque en la explicación de la variable o variables objeto de estudio intervienen otras adicionales a ellas denominadas variables exógenas.

En el tratamiento de series de tiempo, se considerará únicamente la información presente y pasada de la variable pagos y que se denota como (y) , dado que, se dispone de los valores que toma dicha variable desde el momento 1 hasta t (siendo t el tiempo), el conjunto de información disponible vendrá dado por:

$$y_t, y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-k}, \dots, y_{t+1}, y_{t+2}, \dots, y_{t+h}$$

Dada esta información, el pronóstico de la variable y para el período $t+1$ se representa así:

$$\hat{y}_{t+1/t}$$

Esto implica que el pronóstico para el período $t+1$ está condicionado a la información disponible en el momento t . la variable \hat{y} indica que el pronóstico se ha obtenido a partir de un modelo estimado.

Es importante precisar que $t+1$ significa que el pronóstico se hace para un período futuro, es decir, con la información disponible en t se realiza un pronóstico para el siguiente período.

Ahora bien, para el período t se puede hacer una comparación del valor de la variable con el que realmente se observe (y_t). La diferencia entre ambos valores será el error del pronóstico de un período en el futuro y vendrá dado por:

$$e_{t/t-1} = Y_t - \hat{Y}_{t/t-1}$$

De acuerdo con Stephanie Glen (2016) cuando un evento es determinista (lo opuesto a un evento estocástico), el evento futuro se puede calcular con exactitud, sin la participación de la aleatoriedad. Por ejemplo, es claro que el día de mañana tendrá 24 horas, el próximo año tendrá 12 meses, en una caja con bombones rojos si saco un bombón será rojo, la fórmula de conversión de grados Celsius a grados Kelvin es determinista al igual que los ejemplos anteriores, la fórmula mencionada no es aleatoria, es una fórmula exacta que siempre dará la respuesta

correcta. Por lo tanto, los pronósticos para estos eventos son exactos, verificándose que:

$$e_{t/t-1} = 0$$

Por el contrario, si el fenómeno es poco sistemático o el modelo es inadecuado, entonces los errores de pronóstico que se vayan obteniendo serán grandes. Para cuantificar globalmente los errores de pronóstico se utiliza la Raíz del Error Cuadrático Medio (RECM) y el Error Absoluto Medio (EAM).

El error cuadrático medio (RECM) compara un valor pronosticado y un valor observado o conocido. También se le conoce como Raíz de la Desviación Cuadrática Media y es una de las medidas más usadas en pronósticos de series de tiempo.

De forma análoga, se pueden aplicar la RECM y el EAM en predicciones de 2,3,..., períodos hacia adelante. La fundamentación matemática que describe la fórmula no hace parte de este artículo.

En el análisis de series de tiempo se aplican, en general, métodos alternativos a unos mismos datos, seleccionando aquel modelo o aquel método que, en la predicción de períodos presentes y pasados, arroje errores de predicción menores, es decir, arroje una RECM o un EAM menor. Es importante anotar que la validez de un modelo se da en la medida en que los pronósticos se acerquen a los valores reales, una vez se está en el proceso de compararlos.

Con el fin de determinar cuál de las técnicas de modelado se ajustaba mejor a la serie de datos, se analizaron cuatro modelos de pronóstico: Suavizado Exponencial Simple (SES), Holt, estacional, Holt-Winters y SARIMAX. La escogencia del modelo apropiado depende de las características particulares de los datos, dado que éstas pueden afectar en gran medida los resultados del modelo. Las características más comunes que pueden ser observadas en una serie de tiempo son:

Tendencia: existe una tendencia cuando se observa un aumento o disminución de los datos a largo plazo. La tendencia no tiene que ser lineal. A veces nos referiremos a ella como *dirección cambiante* cuando va de una tendencia creciente a una tendencia decreciente.

Estacionalidad: un patrón estacional se presenta cuando una serie de tiempo se ve afectada por factores estacionales, como la época del año o el día de la semana. La estacionalidad siempre presenta una frecuencia fija y conocida.

Cíclico: un ciclo ocurre cuando la exposición de datos sube y baja y no son de una frecuencia fija. Estas fluctuaciones se deben generalmente a las condiciones económicas y a menudo están relacionadas con el ciclo económico. La duración de estas fluctuaciones suele ser de al menos 2 años.

Variaciones aleatorias o irregulares: aumento o disminución sin ningún patrón claro, por tanto, no se pueden predecir, configurando un fenómeno estocástico.

La mayoría de las series de tiempo tendrán una o más de las características mencionadas, por tal motivo una de las funciones de un científico de datos es identificarlas, para así escoger el modelo que se ajuste mejor a su comportamiento y obtener pronósticos con el menor error.

En los análisis realizados a las series de tiempo generadas para los pagos y recaudos de los diferentes rubros presupuestales (componentes de ingresos y egresos), se encuentra que algunas de éstas no pueden considerarse generadas por procesos estocásticos estacionarios (es decir, son series no estacionarias), dado que tienen tendencias en su evolución temporal, esto significa que no se observan patrones comunes hacia algún valor constante en el tiempo, dicho de otra forma, su variabilidad no es constante, porque son estacionales, o por varias combinaciones de estos motivos. En la figura 1, se presentan algunos ejemplos:

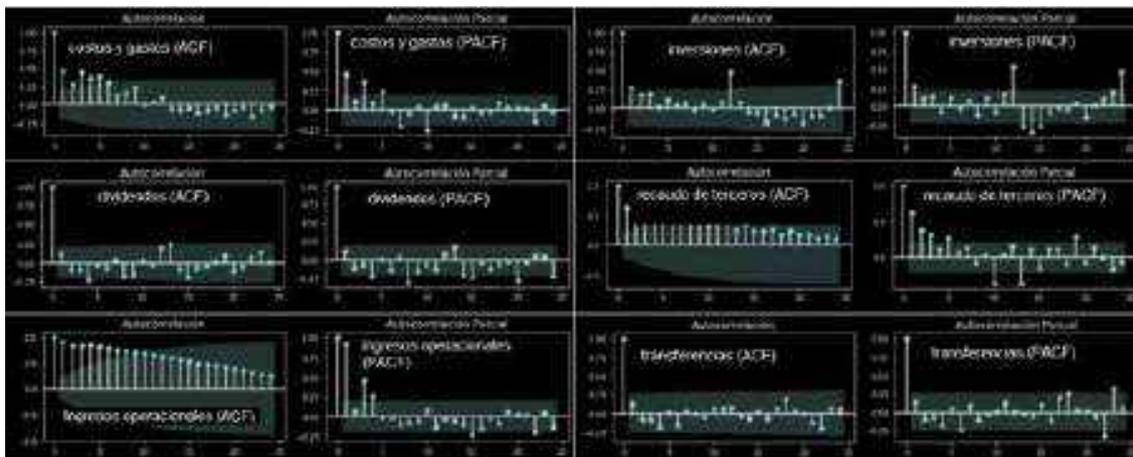


Figura 1. Funciones de autocorrelación muestral de varias series estacionarias y no estacionarias

No obstante, muchas series temporales no estacionarias se pueden transformar mediante operaciones matemáticas (descritas en este

artículo) con el fin de obtener series de aspecto estacionario como se puede ver en la figura 2.

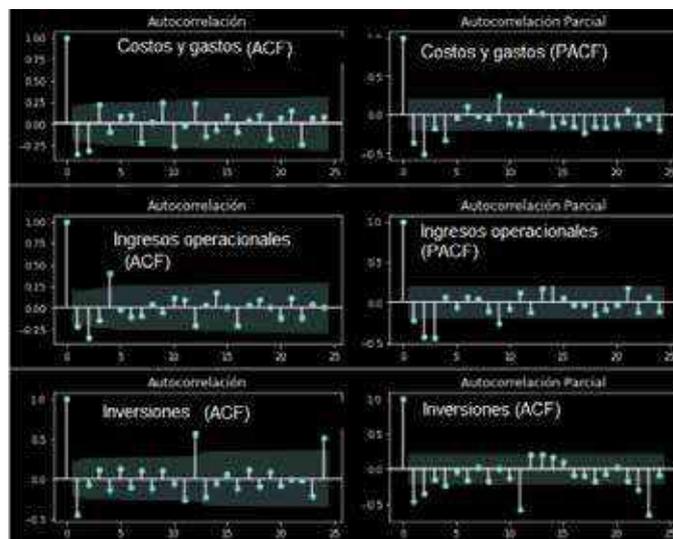


Figura 2. Funciones de autocorrelación (ACF) muestral de varias series estacionarias.

En particular, la ACF muestral de una serie no estacionaria suele decrecer muy lentamente, mientras que la ACF muestral de una serie estacionaria suele presentar el mismo tipo de comportamiento periódico que dicha serie. Por lo tanto, el correlograma de una serie temporal

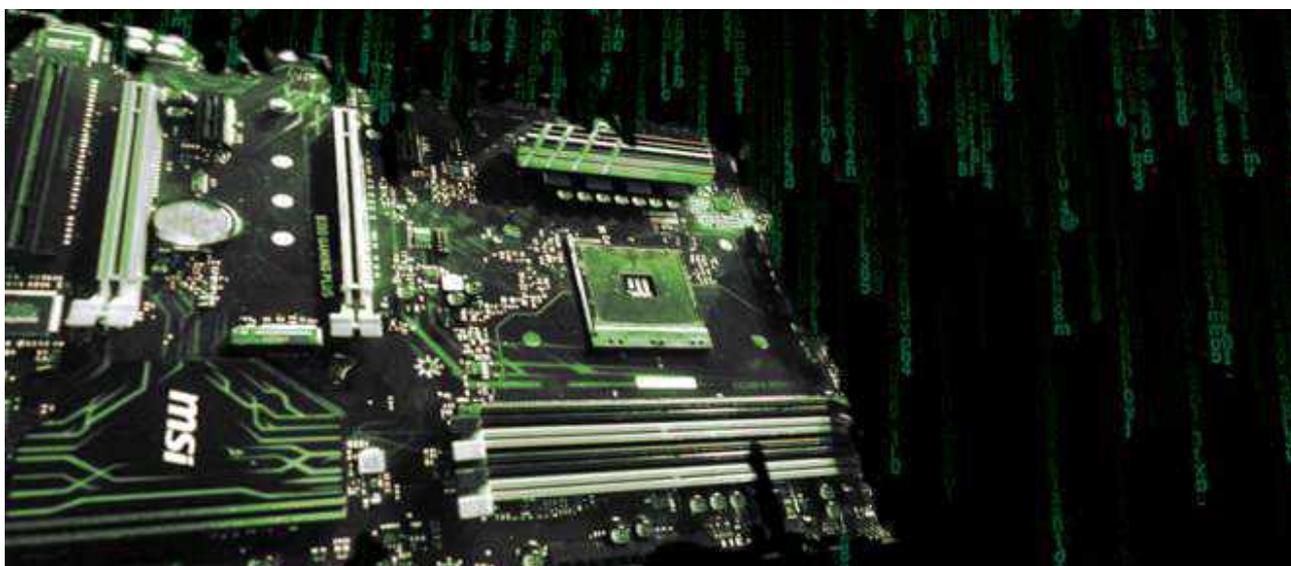
es un instrumento visual útil para decidir sobre la estacionariedad de dicha serie.

En las series de tiempo podemos distinguir dos tipos de datos: datos de baja frecuencia y datos de alta frecuencia. En el primer tipo, observamos datos

con medición mensual, trimestral, etc., y presenta características de una tendencia (creciente o decreciente), estacionalidad y la varianza cambian de acuerdo con el comportamiento de la media (dispersión alrededor de la media). El segundo tipo corresponde a los datos con medición constante como son días, horas, minutos, segundos, etc. En estos datos se encuentran características como una media estable a lo largo del tiempo, no se presenta estacionalidad y la varianza cambia con el tiempo de manera no sistémica.

Para realizar el análisis de la serie de tiempo de los pagos realizados en EPM se tomaron datos mensuales desde enero 2013 hasta octubre 2020, de los cuales el 80% se utilizaron para el modelado y el 20% restante para validar el modelo. En el análisis realizado se determinó que para el conjunto de datos, el algoritmo que mejor pronóstico generaba era el método SARIMAX.

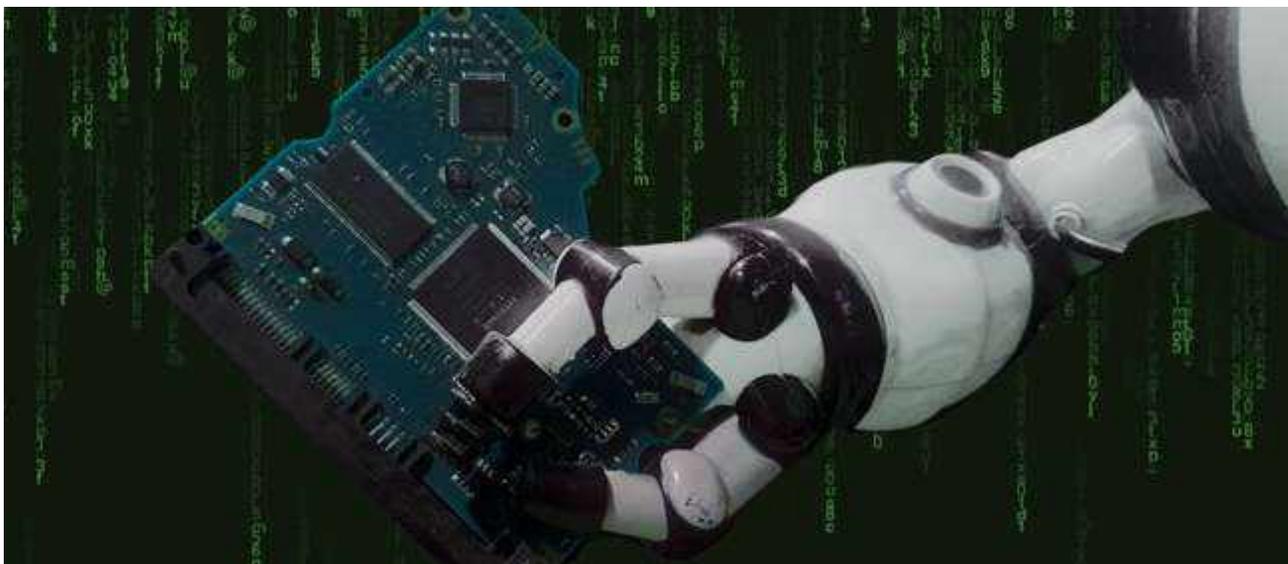
2. Preparación y análisis de los datos



Los algoritmos desarrollados se implementaron en el lenguaje de programación Python mediante el IDE Spyder y para el entrenamiento de los modelos y gráficos se utilizó Jupyter Notebook. La serie de tiempo correspondiente a los pagos por el rubro presupuestal de costos y gastos, se obtuvo mediante consultas a la base de datos de One Word, en la cual se registran los pagos mensuales que EPM realizó a proveedores de bienes y servicios para el período comprendido entre enero de 2013 y octubre de 2020.

El resultado de estas consultas se modeló en QlikView con el fin transformar, estandarizar y unificar por mes, la información correspondiente a gastos generales, funcionamiento, comercialización y gastos de personal. La serie de tiempo comprende 94 registros mensuales, las consultas a la base de datos fueron realizadas por los autores del artículo.

3. Procedimiento



Se cargaron los datos correspondientes a los pagos de costos y gastos para el período antes mencionado, adicionalmente se generó una nueva variable que se denominó como pagos log, con el fin de reducir el rango de dígitos de la variable pagos en una cantidad más pequeña que la original, el código se puede observar en

la figura 3. Este efecto reduce la sensibilidad de las estimaciones a las observaciones extremas o atípicas, tanto de las variables independientes como las dependientes. En este caso, los pagos mensuales están originalmente expresados en miles de millones de pesos tal y como se observa en la tabla 1.

```
import pandas as pd
import numpy as np
# Importamos los datos
pagos = pd.read_excel('D:\MODELOS PRESUPUESTO EFECTIVO\COSTOS Y GASTOS\Hist_CostosGastosMensual.xls')
pagos['fecha'] = pd.to_datetime(pagos['fecha'])
# Establecer la fecha como índice
pagos = pagos.set_index('fecha')
pagos['pago_log'] = pagos['pago'].apply(np.log)
resagos = pagos[['resamplio']].sum()
pagos.head()
```

Figura 3. Código Carga de datos.

fecha	pago	pago_log
31/01/2013	320.196.194.178,00	26,4922000
28/02/2013	297.537.135.880,00	26,4188050
31/03/2013	323.875.768.672,00	26,5036260
30/04/2013	514.263.799.394,00	26,9660020
31/05/2013	303.027.338.484,00	26,4370890

Tabla 1. Pagos mensuales de costos y gastos.

Luego mediante una función que se encuentra en la figura 4, se realizó un gráfico en el cual cada

punto representa un mes del año y los puntos más grandes representan un año.

```
def grafica(datosiniciales):
    with plt.style.context('dark_background'):
        y = datosiniciales['pago'].astype('float') * 100
        plt.plot(date = n, label='train')
        fig, ax = plt.subplots(figsize=(14, 7))
        ax.plot(y, marker='d', color='darkgreen', linestyle='-', lineidb=2.5, markerSize=3, label='pagos mensuales')
        ax.plot(y.resample("Y").mean(), marker='x', color='blue', markerSize=3, linestyle='-', label='Promedio de pagos anual')
        ax.set_ylabel('pago (miles de millones)')
        ax.legend()
        plt.show()
    grafica(datosiniciales)
```

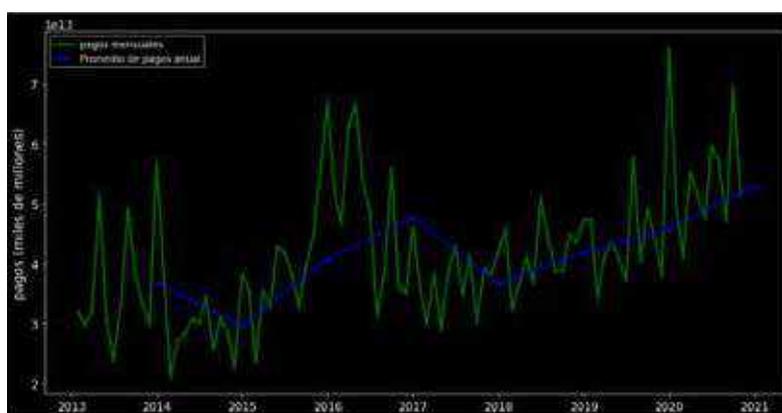


Figura 4. Código y gráfico de los pagos correspondientes a los costos y gastos.

En la figura 4, se pueden observar los patrones básicos hacia arriba, hacia abajo, la tendencia y las anomalías con el fin de tener una idea del comportamiento de los pagos; esto es solo una verificación de los datos sin

profundizar demasiado. Si hay anomalías, se puede realizar un análisis exhaustivo para comprender las posibles causas, apoyados por el criterio de los expertos del proceso bajo el cual se dan los pagos.

También se busca aquí cualquier señal de alerta, como datos faltantes o problemas de calidad.

Al observar la figura 4, referente a los pagos, se puede ver una tendencia general creciente sin un patrón claro de cambios estacionales o cíclicos. El siguiente

paso es descomponer los datos para ver con mayor claridad la complejidad detrás de la visualización lineal. Una función útil de Python es *seasonal_decompose* dentro de la librería Statsmodels, como se observa en la figura 5, que posibilita descomponer los datos en cuatro componentes!

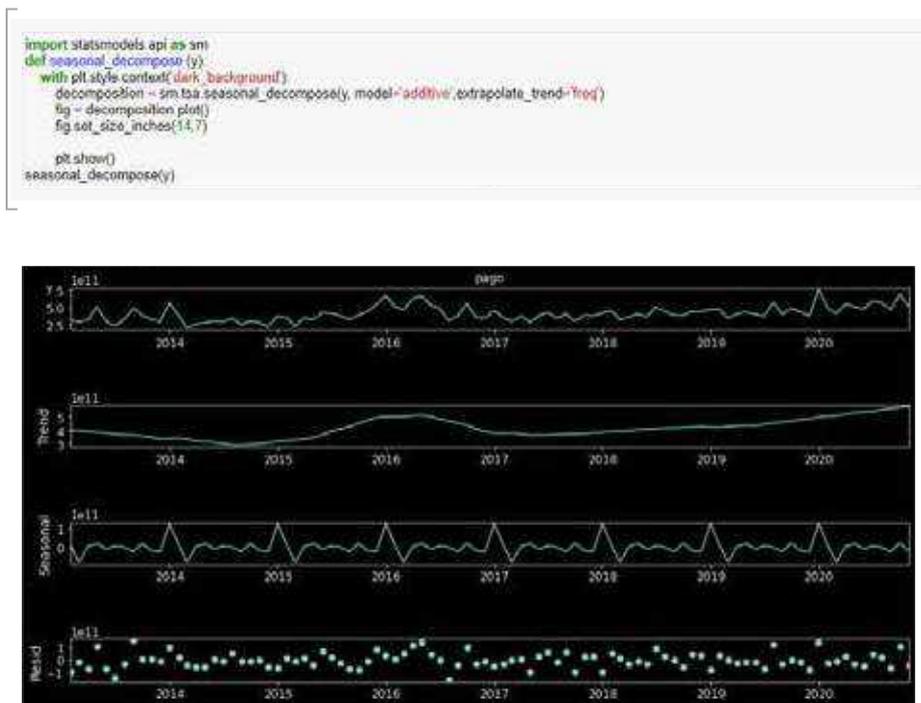


Figura 5. Código descomposición de los pagos: tendencia, estacionalidad y los residuos.

Después de observar los recuadros de la figura 5, se puede decir que nuestro conjunto de datos de pagos tiene una tendencia general creciente (trend) desde el año 2017, así como

una estacionalidad anual (seasonal) y con los residuos (resid) parece haber aleatoriedad en los datos, debido a que los pagos son susceptibles a eventos aleatorios.

4. Verificar la estacionariedad

Según Box *et al.* (2016), “un conjunto de datos es estacionario si sus propiedades estadísticas como la media, la varianza y las funciones de autocorrelación no cambian con el tiempo”. Esto se refleja gráficamente en que los valores de la serie tienden a oscilar alrededor de una media constante y la variabilidad con respecto a esa media también permanece constante en el tiempo.

Varios autores coinciden en que las series de tiempo relacionadas con actividades empresariales no son estacionarias, debido a que hay todo tipo de elementos no estacionarios como tendencias y ciclos económicos. Dado que la mayoría de los modelos de predicción de series de tiempo utilizan la estacionariedad, en este artículo se presentan dos métodos para comprobarla: la visualización gráfica

y la prueba Dickey-Fuller Aumentada (ADF), Python facilita ambos enfoques. Mediante el primer método se grafican las estadísticas

móviles (media y varianza), para observar si la desviación estándar cambia sustancialmente con el tiempo.

5. Serie de datos original

```
def test_stationarity(timeseries, title):  
    with plt.style.context('dark_background'):  
        rolmean = pd.Series(timeseries).rolling(window=12).mean()  
        rolstd = pd.Series(timeseries).rolling(window=12).std()  
        fig, ax = plt.subplots(figsize=(15, 4))  
        ax.plot(timeseries, label=title, color='darkgreen', linewidth=2.5)  
        ax.plot(rolmean, label='media móvil', color='blue', linewidth=2.5)  
        ax.plot(rolstd, label='desviación estándar (x12)', color='red', linewidth=2.5)  
        ax.legend()  
    pd.options.display.float_format = '{:8f}'.format  
    test_stationarity(y='serie de pagos mensuales')
```

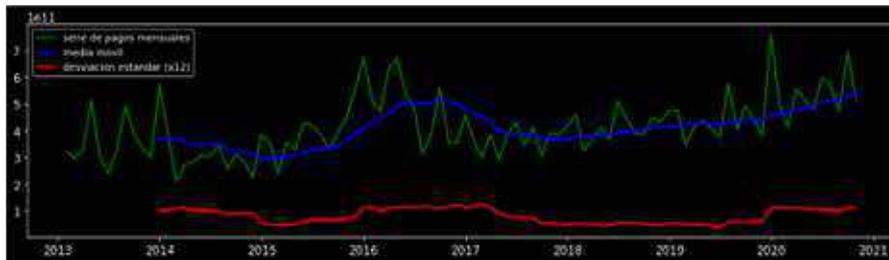


Figura 6. Prueba de estacionariedad.

En el gráfico de la figura 6, se observa que tanto la media como la desviación estándar, presentan cambios sustanciales a lo largo de los meses, sin embargo, este método para el tipo de datos usados no es muy confiable, por lo que es preferible usar la prueba Dickey-Fuller Aumentada.

La prueba Dickey-Fuller² Aumentada, se utiliza para determinar la presencia de raíz unitaria en la serie y, por lo tanto, ayuda a comprender si la serie es estacionaria o no. La prueba devuelve un número decimal, cuanto más negativo es este valor mayor es la probabilidad de rechazar

la hipótesis nula, confirmando que en la serie temporal no hay raíces unitarias, lo cual implica aceptar que ésta, es una serie estacionaria con un cierto grado de probabilidad.

Python provee la librería Statsmodels que incluye una amplia variedad de funciones para análisis de datos, realizar pruebas y estructurar modelos estadísticos, entre estas funciones está la función adfuller, la cual se usa en nuestro algoritmo para evaluar la estacionariedad de la serie correspondiente a los pagos de costos y gastos, como se muestra en la figura 7³.

```

def adf_test(timeseries,title):
    print(title)
    print(' ')
    adf = adfuller(timeseries.dropna(), autolag='AIC')
    print('Prueba estadística = {:.4f}'.format(adf[0]))
    print('P-valor = {:.4f}'.format(adf[1]))
    print('Nro retrasos usados = {:.0f}'.format(adf[2]))
    print('Nro de observaciones usadas = {:.0f}'.format(adf[3]))
    print('Valores críticos :')
    for i, j in adf[4].items():
        print('{}: {} Serie de datos {} estacionaria con {}% de confianza'.format(i, j, 'no'
            if j<adf[0] else ' ', 100-int(j[-1])))
    adf_test(y,'Prueba estadística Dickey-Fuller')

```

Figura 7. Código Prueba Dickey-Fuller Aumentada.

Una vez que se ejecuta el algoritmo se obtiene un valor para la prueba estadística de $-1,9027$, este valor se usará en el análisis de la hipótesis nula. Seguidamente se obtiene el P-valor de $0,3308$ por lo tanto, hay una probabilidad del $33,08\%$ de que la serie de pagos no sea estacionaria.

Se obtienen los valores críticos para un intervalo de confianza del 1% , del 5% y del 10% . Dado que, en este caso, el valor de la prueba $-1,9027$ es mayor que todos los valores críticos ($-3,510711795769895$, $-2,8966159448223734$, $-2,5854823866213152$),

(Kwiatkowski et al. 1992) entonces es rechazada la hipótesis nula en la que se evalúa que en la serie temporal existe una raíz unitaria.

Una raíz unitaria, es una tendencia estocástica en la serie temporal, comúnmente este fenómeno lo denominó Karl Pearson (1905), "caminata aleatoria". Por tanto, si la serie tiene una raíz unitaria, ésta presenta un patrón sistemático que es impredecible, y por ello, se concluye que es una serie temporal no estacionaria. En la figura 8, se muestran los resultados descritos anteriormente.

```

Prueba estadística Dickey-Fuller

Prueba estadística = -2.0348
P-valor = 0.2715
Nro retrasos usados = 9
Nro de observaciones usadas = 84
Valores críticos :
1%: -3.510711795769895 Serie de datos no estacionaria con 99% de confianza
5%: -2.8966159448223734 Serie de datos no estacionaria con 95% de confianza
10%: -2.5854823866213152 Serie de datos no estacionaria con 90% de confianza

```

Figura 8. Resultados Prueba Dickey-Fuller.

Para continuar con el análisis de series de tiempo, es necesario que el conjunto de datos sea estacionario. Hay muchos métodos para convertir una serie no estacionaria en una estacionaria. En este trabajo se utilizaron la

eliminación de tendencias, la diferenciación y luego una combinación de las dos. Para el conjunto de datos, se definió una estacionalidad de doce meses y se utilizó una diferencia de doce retrasos.

6. Método 1: eliminación de tendencias

Este método elimina la tendencia subyacente en la serie temporal, en inglés el término es detrending, de acuerdo con Will Kenton (2021) "la eliminación de tendencias muestra un aspecto diferente de los datos de series de tiempo al eliminar las

tendencias deterministas y estocásticas"⁴. El Método rolling de la librería Pandas, se puede utilizar para calcular la media móvil; el algoritmo sugerido para eliminar la tendencia en la serie es el que se encuentra en la figura 9.

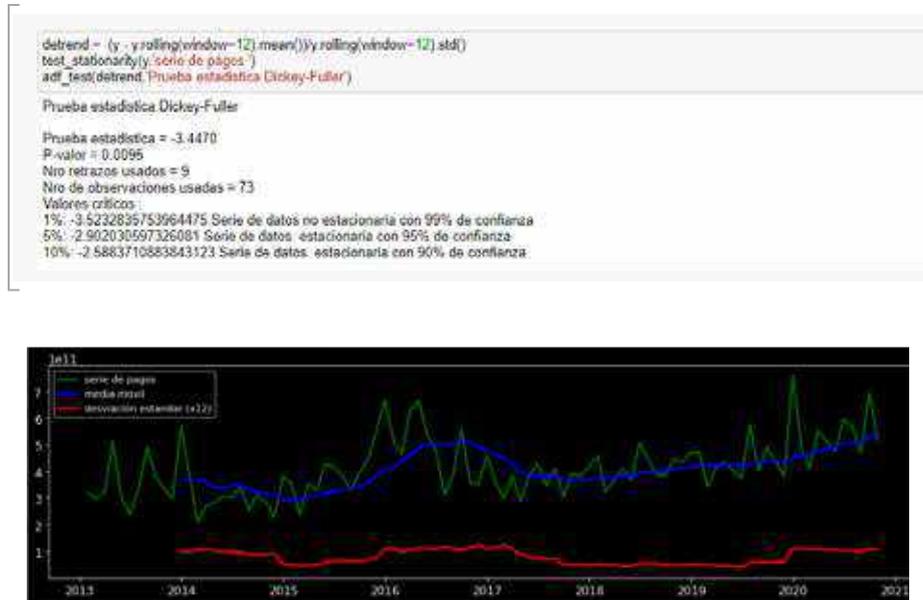


Figura 9. Código para eliminar la tendencia.

En esta serie de datos, se usó un número de doce meses para calcular la medida móvil. Los resultados obtenidos mostraron que los datos aún

no son estacionarios, lo que indica que es necesario realizar transformaciones (diferenciación) hasta lograr que la serie presente patrones estacionales.

7. Método 2: diferencia

Este método elimina los patrones cíclicos o estacionales subyacentes en la serie temporal, esto implica realizar una resta entre el dato inicial (t) y el dato ($t+12$).

En la figura 10, se observa que utilizando el método de transformación por diferencia la serie de datos ahora, es una serie estacionaria.

```

diferencia = y - y.shift(12)
test_stationarity(diferencia,serio de pagos')
adf_test(diferencia, Prueba estadística Dickey-Fuller)

Prueba estadística Dickey-Fuller

Prueba estadística = -4.1030
P-valor = 0.0010
Nro retrasos usados = 5
Nro de observaciones usadas = 62
Valores críticos:
1%: -3.512738056978279 Serie de datos: estacionaria con 99% de confianza
5%: -2.8974896650628984 Serie de datos: estacionaria con 95% de confianza
10%: -2.585948732897085 Serie de datos: estacionaria con 90% de confianza

```

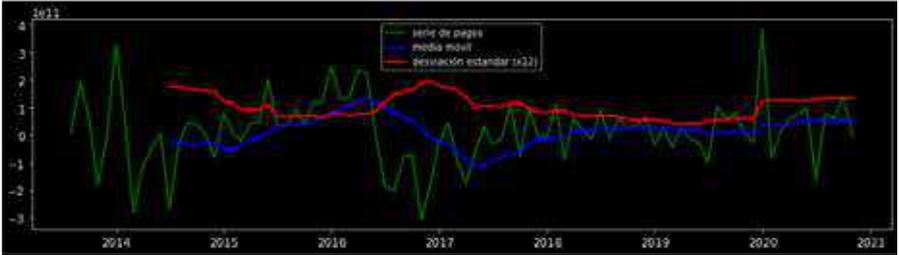


Figura 10. Código y Resultados por diferencia.

8. Método 3: combinación de los dos métodos anteriores

```

detrend_diferencia = detrend - diferencia.shift(12)
with plt.style.context('dark_background'):
    test_stationarity(detrend_diferencia, datos sin tendencia con diferencia de retraso 12')
    adf_test(detrend_diferencia, Prueba estadística Dickey-Fuller)
plt.show()

Prueba estadística Dickey-Fuller

Prueba estadística = -3.9485
P-valor = 0.0017
Nro retrasos usados = 5
Nro de observaciones usadas = 70
Valores críticos:
1%: -3.5274258688046647 Serie de datos: estacionaria con 99% de confianza
5%: -2.903810816326531 Serie de datos: estacionaria con 95% de confianza
10%: -2.5893204081632653 Serie de datos: estacionaria con 90% de confianza

```

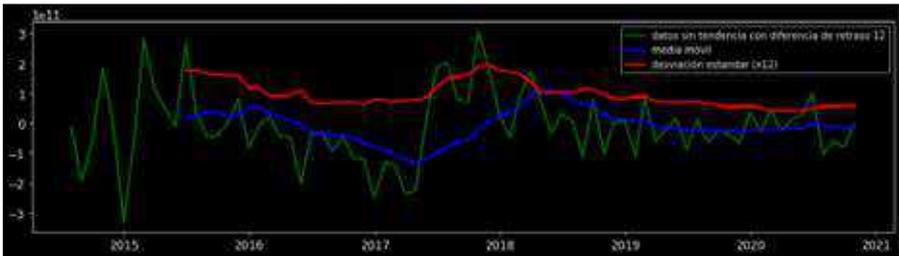


Figura 11. Código y Resultados combinación de métodos.

Las librerías NumPy y Pandas de Python, poseen múltiples algoritmos de análisis de tendencias para los datos de las series de tiempo. No hay una receta o fórmula mágica para llegar al algoritmo adecuado, por lo que se deben probar numerosos algoritmos con

diferentes parámetros, con el fin de acercar la serie a la estacionariedad, paralelamente se van aplicando pruebas estadísticas como Dickey-Fuller para comparar los resultados. El resultado de la aplicación de diferentes métodos se presenta en la figura 12.

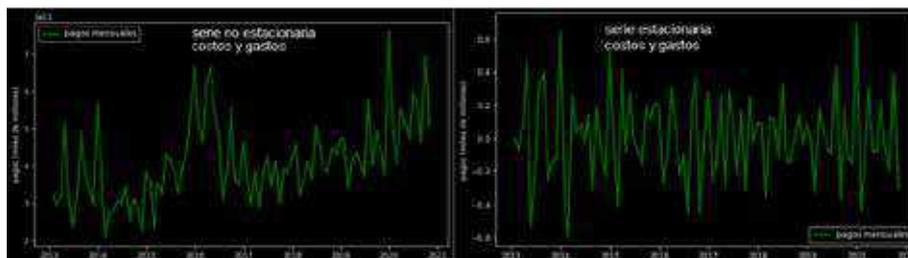


Figura 12. Serie de pagos no estacionarios y estacionarios una vez aplicados los métodos.

9. Crear conjuntos de datos de entrenamiento y prueba

Para evaluar el rendimiento de los modelos usados en el análisis de series de tiempo, se divide el conjunto de datos en dos partes. Una parte será el conjunto de

datos de entrenamiento (variable train) y la otra parte será el conjunto de datos de pruebas (variable test), el código correspondiente se presenta en la figura 13.

```
x = len(datosiniciales)
train_count = round(n * 0.80)
train = datosiniciales[:train_count]
test = datosiniciales[train_count :x]
```

Figura 13. Código para dividir los datos de la serie de pagos.

10. Método de pronóstico con el modelo SARIMAX

Con base en la revisión bibliográfica y al marco teórico realizado, se determinó que la mejor alternativa para modelar el comportamiento de los pagos asociados con los costos y gastos mensuales de EPM, es un modelo SARIMAX (Auto Regresivo Integrado de Medias Móviles Estacional con variables exógenas). La metodología usada para ajustar el modelo está basada en la metodología de BoxJenkins. En primera instancia, se realizó un análisis de varios tipos

de modelos que se pudieran ajustar a la serie de datos, entre los que se destaca el modelo de Suavizado Exponencial Simple (SES) aditivo, multiplicativo y con tendencia amortiguada, Holt y Holt Winter y ARIMA.

SARIMAX, se utiliza en conjuntos de datos que tienen ciclos estacionales, la diferencia entre el modelo ARIMA y SARIMAX es la estacionalidad y los factores exógenos. Este método requiere

no solo los argumentos p, d y q, que requiere ARIMA, sino que también, requiere otro conjunto de argumentos P, D, Q, para manejar la estacionalidad, así como un argumento llamado S, que es la periodicidad del ciclo estacional de los datos. En este ejercicio de pronóstico el valor S, se estableció en doce, dado que los datos están separados por una base mensual y el ciclo es anual. No se utilizaron variables exógenas

porque el método puede trabajar sin éstas. Para los demás valores que requiere el método SARIMAX se utilizó un algoritmo recursivo para encontrar la mejor combinación y se usó la librería Itertools de Python. El algoritmo consiste en ejecutar varios modelos con diferentes parámetros como una forma de verificar qué combinación de parámetros es la mejor. En la figura 14, se muestra el código utilizado⁵.

```
import itertools
import statsmodels.api as sm

p = d = q = range(0, 2)
pdq = list(itertools.product(p, d, q))
pdqs = [(parametros[0], parametros[1], parametros[2], 12) for parametros in list(itertools.product(p, d, q))]

def sarimax_parametros(y, pdq, pdqs, freq='M', maxiter=100):

    combina_aic = []
    combina_bic = []
    for i in pdq:
        for j in pdqs:
            try:
                mod = sm.tsa.statespace.SARIMAX(y, order=i, seasonal_order=j, enforce_invertibility=False,
                                                enforce_stationarity=False,
                                                freq=freq)

                output_aic = mod.fit(maxiter=maxiter)
                combina_aic.append([i, j, output_aic.aic])
                output_bic = mod.fit(maxiter=maxiter)
                combina_bic.append([i, j, output_bic.bic])
            except:
                continue

    parametros_AIC = pd.DataFrame(combina_aic, columns=['pdq', 'PDQS', 'aic'])
    parametros_AIC = parametros_AIC.sort_values(by=['aic'], ascending=True)[0:10]
    parametros_BIC = pd.DataFrame(combina_bic, columns=['pdq', 'PDQS', 'bic'])
    parametros_BIC = parametros_BIC.sort_values(by=['bic'], ascending=True)[0:10]

    return parametros_AIC, parametros_BIC

sarimax_parametros(y, pdq, pdqs, freq='M')
```

Figura 14. Código para obtener los parámetros del modelo SARIMAX.

La función sarimax_parametros recibe en su orden: la serie de pagos variable y, pdq corresponde a un arreglo cargado con el conjunto de combinaciones posibles para los parámetros de tendencia (p,d,q), p orden de autorregresión de tendencia, d orden de diferencia de tendencia, q orden de media móvil de tendencia, estos parámetros se obtienen con las instrucciones:

```
p = d = q = range(0, 2)
pdq = list(itertools.product(p, d, q))
PDQS = [(parametros[0], parametros[1],
parametros[2], 12) for parametros in list(itertools.
product(p, d, q))]
```

Igualmente, el arreglo PDQS contiene las combinaciones de los parámetros estacionales (P, D, Q), P orden autorregresivo estacional, D orden de diferencia estacional y Q orden de media móvil estacional, el parámetro S representa el número de pasos de tiempo para un período estacional. La medida de evaluación usada para la búsqueda de la mejor combinación, son los valores AIC (Akaike Information Criterion⁶) y el criterio BIC (Bayesian Information Criterion), ambos criterios miden qué tan bien se ajusta un modelo a los datos teniendo en cuenta la complejidad general del modelo.

En general, de acuerdo a Josef Perktold, Skipper Seabold y Jonathan Taylor de statsmodels-developers (2021) con el AIC se busca encontrar la combinación con el valor de AIC más bajo. Así mismo, se valida cuál es el resultado para el criterio BIC.

La función realizó la búsqueda y validó todas las combinaciones posibles de variables. Una vez realizado el procesamiento retorna en

dos estructuras de datos (parámetros_AIC y parámetros_BIC) las 10 mejores combinaciones, iniciando con el AIC y BIC más bajo, como se puede observar en la figura 15, donde resultó que el AIC y el BIC más bajo, corresponde a la combinación SARIMAX(0, 1, 1) x (0, 1, 1, 12) con valor de AIC de 3.582,56 y BIC de 3.589,17. Es así que, con estos parámetros se procedió a generar, entrenar el modelo y generar los pronósticos.

pdq	PDQS	aic
(0, 1, 1)	(0, 1, 1, 12)	3582.56182160
(0, 1, 1)	(1, 1, 1, 12)	3583.34824206
(1, 1, 1)	(0, 1, 1, 12)	3583.37963653
(1, 1, 1)	(1, 1, 1, 12)	3584.87008473
(1, 0, 1)	(0, 1, 1, 12)	3636.06102441
(1, 0, 1)	(1, 1, 1, 12)	3637.48304203
(1, 1, 0)	(0, 1, 1, 12)	3643.86925559
(1, 1, 0)	(1, 1, 1, 12)	3645.69389694
(1, 1, 1)	(1, 1, 0, 12)	3647.36162388
(0, 1, 0)	(0, 1, 1, 12)	3654.52161080

pdq	PDQS	bic
(0, 1, 1)	(0, 1, 1, 12)	3589.17589946
(0, 1, 1)	(1, 1, 1, 12)	3592.16701254
(1, 1, 1)	(0, 1, 1, 12)	3592.19840700
(1, 1, 1)	(1, 1, 1, 12)	3595.89354783
(1, 0, 1)	(0, 1, 1, 12)	3644.93905523
(1, 0, 1)	(1, 1, 1, 12)	3648.58058056
(1, 1, 0)	(0, 1, 1, 12)	3650.52777871
(1, 1, 0)	(1, 1, 1, 12)	3654.57192776
(1, 1, 1)	(1, 1, 0, 12)	3656.23965470
(0, 1, 0)	(0, 1, 1, 12)	3658.9606261

Figura 15. Resultado de las combinaciones aportadas por el algoritmo con los parámetros para el modelo SARIMAX.

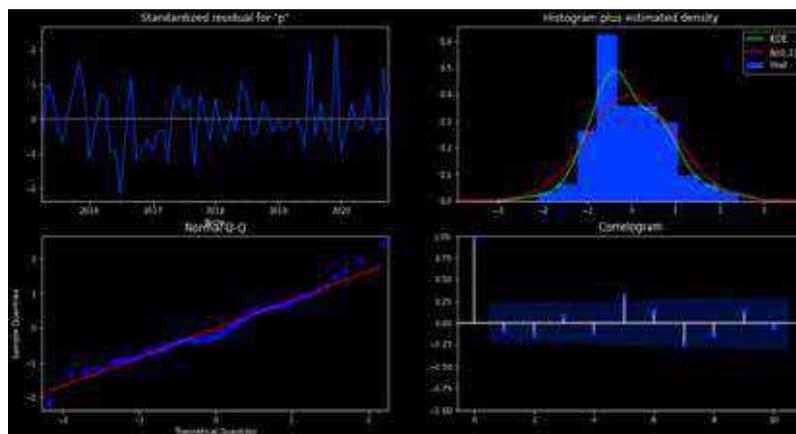


Figura 16. Resultados Ejecución Modelo SARIMAX.

En la figura 16, se pueden observar cuatro gráficas de la ejecución del modelo con los parámetros antes identificados. En la gráfica superior izquierda se muestran los residuos a lo largo del tiempo, que al ser revisados en detalle, dan muestra de que no se presenta ninguna estacionalidad, esto indica que se encontró la tendencia en los datos y se eliminó el ruido.

En la gráfica superior derecha, se observa que la línea verde de KDE sigue de cerca a la línea $N(0,1)$ para indicar que los residuos están distribuidos normalmente. Esta línea es la notación estándar para una distribución normal con una media 0 y una desviación estándar de 1.

En la gráfica Q de la parte inferior izquierda, puede verse la distribución ordenada de los residuos (puntos azules), siguiendo la tendencia lineal (línea roja) de las muestras tomadas de una distribución normal estándar con $N(0, 1)$.

El visual de autocorrelación (llamado correlograma), en la parte inferior derecha, muestra que los residuales de la serie de tiempo tienen una baja correlación con las versiones retrasadas de sí mismo; es decir, la mayoría de los puntos caen en el área sombreada en azul.

Al validar los cuatro puntos anteriores, se puede concluir que, los residuos de este modelo están distribuidos casi normalmente. Esto indica que éste es un modelo adecuado para el conjunto de los datos estudiados.

En el entrenamiento del modelo se observa que la serie de tiempo de los pagos correspondientes a los costos y gastos para el período comprendido entre enero de 2013 y octubre de 2020, equivalente a 94 meses, presentó el siguiente comportamiento:

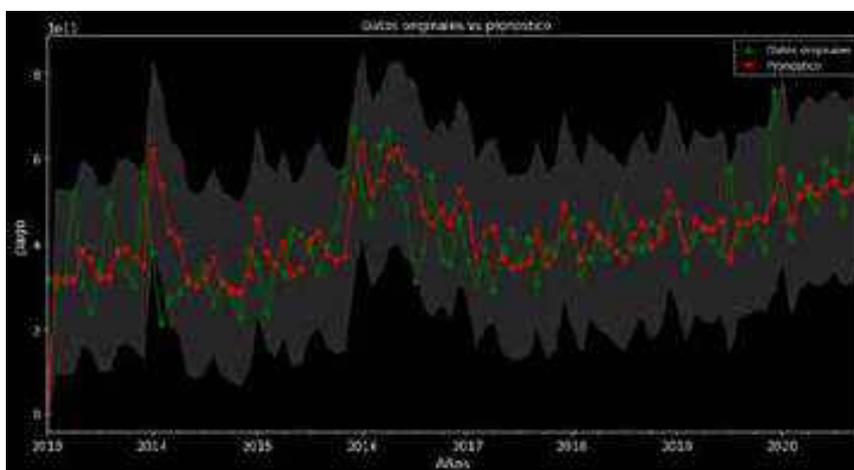


Figura 17. Gráfica datos originales vs pronósticos.

En la figura 17, la línea roja representa el pronóstico de pagos para 94 meses y la línea verde representa la serie de tiempo de pagos, es así que la diferencia entre el pronóstico y la serie de pagos es del 2,27%. Con este resultado se puede inferir que la historia de la variable pagos es un buen estimador para modelar el comportamiento futuro de los pagos en el corto plazo y que el modelo SARIMAX capturó mejor, tanto la estacionalidad como la tendencia del conjunto de datos y que, los modelos probados

durante el desarrollo del ejercicio y sus resultados previstos, son los más cercanos a los pagos reales. En este sentido, se puede ver en la gráfica que la franja gris representa el intervalo de confianza del 95% del pronóstico, donde se observa que el pronóstico generado no sobresale esta franja en ningún punto de la curva.

Así mismo, se comparan las cifras pronosticadas por el modelo para el año 2021 y las cifras aprobadas en diciembre de 2020 por la Junta

Directiva de EPM para el mismo período, y se encuentra que, el modelo estuvo un 3% por debajo de la cifra presupuestada, ésta es una buena señal que indica que el ejercicio realizado

puede ser un referente para continuar explorando herramientas basadas en analítica de datos para procesos de la tesorería.

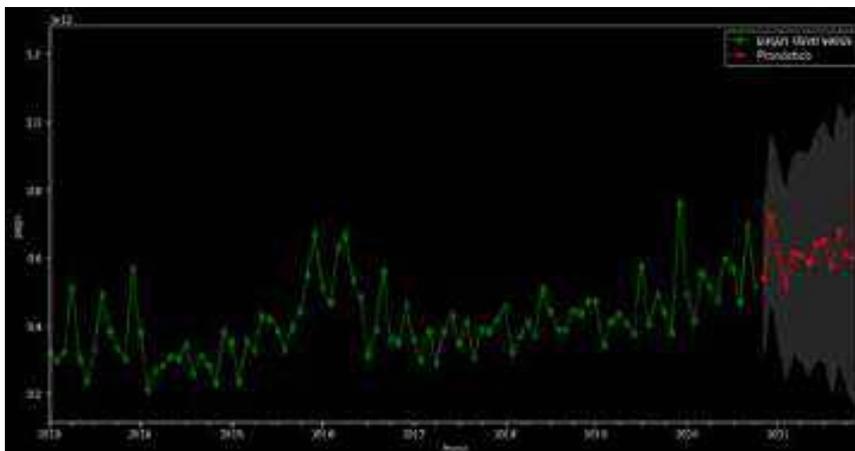


Figura 18. Gráfica pronóstico basado en los pagos observados.

La línea roja en la figura 18, representa los datos futuros esperados basados en el modelo de pronóstico que se construyeron.

Además de usar la métrica Root Mean Squared Error (RMSE), también se ejecutó `plot_diagnostics`, que es una función para asegurar que ninguna de las suposiciones hechas por el modelo haya sido violada y que no haya un comportamiento inusual.

El área gris por encima y por debajo de la línea roja representa el intervalo de confianza del 95%

y, cómo con prácticamente todos los modelos de pronóstico, a medida que las predicciones avanzan en el futuro, menos confianza se tiene en los valores. En este caso, se tiene un 95% de confianza en que los pagos reales caerán dentro de este rango. Sin embargo, existe la posibilidad de que los datos reales también caigan completamente fuera de este rango, cuanto mayor sea el período de tiempo futuro para el que se requiere predecir, mayor será este rango de confianza (es decir, menos preciso será el pronóstico).

Conclusiones

Cada vez son más las organizaciones que incorporan en sus procesos el poder de la computación, aprovechando los modelos fundamentales de la ciencia de datos y el uso de diferentes técnicas de muestreo, que posibilitan tener cada vez más, un mayor grado de certidumbre en las predicciones.

El aprendizaje automático es una rama de la Inteligencia Artificial (IA) que está revolucionando formas de comportamiento en la sociedad y la

interacción de la cadena de valor de las empresas con todo un ecosistema de posibilidades. Es así, que muchas organizaciones han empezado a hacer uso completo de la IA para brindar a sus clientes una gama de alternativas según la información obtenida y clasificada, cada vez que éstos realizan búsqueda de sus productos, como es el caso de Google, para dotar de inteligencia la búsqueda y preferencias de los usuarios; Amazon y su uso de algoritmos, para predecir lo que desean comprar sus clientes; de igual forma, se puede ver el uso de

IA en las capacidades predictivas y las diferentes funciones que incorporan algunos fabricantes de vehículos para la conducción autónoma.

Este es un acercamiento preliminar a la Ciencia de Datos que permitió conocer y aplicar conceptos de esta disciplina, así como experimentar con conceptos del aprendizaje automático para realizar un pronóstico de los pagos que se dan en la Empresa, en diferentes rubros presupuestales durante un período

de 12 meses, logrando con esto, cumplir con uno de los objetivos del proceso financiero Gestión Flujo de Caja, el cual es monitorear y controlar el riesgo de liquidez, mediante la elaboración y proyección del presupuesto de efectivo bajo diferentes escenarios. Los resultados preliminares mostraron que es posible contar con una herramienta adicional que apoye la toma de decisiones en la administración eficiente de los recursos de la Empresa, fundamentada en la ciencia de datos y sus diferentes métodos científicos.

Notas al final

¹ Para mayor detalle sobre la descomposición de la serie de tiempo con Python consultar: <https://bit.ly/3adcE9V>

² Para ampliar información sobre la Prueba de Dickey-Fuller aumentada consulta: <https://bit.ly/2Q8lf6W>

³ La descripción de los parámetros que acepta la función `adf` no hace de parte del artículo y pueden ser consultados en: <https://bit.ly/2Qwz3b8>

⁴ Cita en el idioma original: detrending shows a different aspect of time series data by removing deterministic and stochastic trends

⁵ La explicación de los parámetros del método SARIMAX no hace parte de este artículo, por lo que se recomienda consultar la siguiente fuente: <https://bit.ly/3mXFikC>

⁶ Para ampliar información sobre la prueba estadística del Criterio de Información de Akaike consulta: <https://bit.ly/3afIRxp>

Referencias

- Box, G., Jenkins, G. & Reinsel, G. (2016). Time series analysis: Forecasting and control. (5th ed.). Wiley.
- Glen, S. (2016). Deterministic: Definition and Examples. <https://bit.ly/2OWZQgs>
- Kenton, W. (2021), What Is a Detrend? Investopedia. <https://bit.ly/3uU5VcQ>
- Kwiatkowski, D., Phillips, P., Schmidt, P. y Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159-178. <https://bit.ly/3agQsvH>
- Marín, J. (2004). Serie Temporal. Universidad Carlos III de Madrid. <https://bit.ly/32kRZw9>

Cómo citar este artículo:

Tobón, J. y Perdomo, A. (2021). Pronóstico del presupuesto de efectivo con series de tiempo y Machine Learning en Python. *Revista EPM*, (17), 38-57.



Análisis de criticidad para los circuitos de distribución a 13.8 kV de Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P. (febrero 2020)

Criticality analysis for the 13.8 kV distribution circuits of Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P. (February 2020)

**Miguel Ángel
Rodríguez Palencia**

Expansión, Reposición y Soporte
Subestaciones y Líneas, EPM

miguel.rodriguez@cens.com.co

Resumen

El presente artículo da a conocer los criterios y directrices definidos en el documento, *metodología para el análisis de criticidad en activos físicos productivos*, que establece CENS S.A. E.S.P. en el sistema que viene implementado de gestión de activos y la aplicación de esta metodología a los activos lineales circuitos de distribución a 13.8 kV de su sistema eléctrico de potencia, expone

los impactos que se generan a la calidad del suministro de energía eléctrica, a la integridad de las personas, a nuestro medio ambiente, a las finanzas de la empresa y a la imagen o reputación cuando ocurre una falla en este tipo de activos, finalmente da a conocer la clasificación del nivel de criticidad de los circuitos de distribución.

Palabras clave:

Gestión de activos, Activo crítico, Análisis de criticidad, Frecuencia de ocurrencia, Probabilidad, Matriz de riesgos.

Keywords:

Asset management, Critical asset, Criticality analysis, Frequency of occurrence, Probability, Risk matrix.

Introducción

La gestión de activos, requiere que las empresas implementen procedimientos coordinados sobre sus activos en su sistema de gestión, y que éstos sean sistemáticos, con el fin de cumplir los objetivos y metas propuestos en sus planes estratégicos y empresariales, esta gestión sobre los activos se basa principalmente en la toma de decisiones con criterios de costo, riesgo y beneficio o desempeño, en todas las etapas de su ciclo de vida¹.

Actualmente muchas organizaciones vienen desarrollando la implementación de estrategias y prácticas en cada una de las fases que participan en el ciclo de vida de los activos, desde la adquisición o construcción hasta la baja o desincorporación, pasando por la operación y el mantenimiento, tomando decisiones con criterios de costo, riesgo y desempeño.

CENS S.A. E.S.P. no es ajena a esta iniciativa y ya cuenta con un sistema de gestión de activos que cada vez avanza en su grado de madurez con el apoyo del proyecto de implementación y la cultura y colaboración organizacional que responde a estos nuevos retos. Teniendo en cuenta que los activos físicos son susceptibles a fallas por diferentes modos y que se hace necesario conocer el impacto que causan estas fallas, en el sistema que viene implementando de gestión de activos ya tiene incorporada una estructurada guía metodológica para el análisis de criticidad en activos físicos productivos, en la que se evalúa el impacto a distintos factores que pueden no apalancar el cumplimiento de los objetivos estratégicos, de esta manera se logra evaluar los riesgos en los activos, para retroalimentar y actualizar las actividades de control, tomando decisiones con información adecuada y así atender dichos factores propiciando que se mejore continuamente.

1.

Implementación del sistema de gestión de activos en centrales eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P.

Adquirida CENSS.A. E.S.P. en el año 2009 por EPM y producto del proyecto de grupo *EPM Sin Fronteras* realizado en el 2010 en donde se analizaron las diferentes actividades de las filiales de energía en Colombia y ante los beneficios obtenidos a nivel mundial, resultado de la implementación de mejores prácticas asociadas a la gestión de activos, el grupo empresarial concluye que, se debe establecer un proyecto denominado Proyecto Gestión de Activos, como una manera voluntaria de optimizar sus proceso, rentabilizar sus operaciones y realizar una apropiada gestión de sus activos físicos productivos.

En el año 2015, se realizó el diagnóstico de los procesos asociados al negocio de transmisión y distribución de energía eléctrica, cuyo resultado fue el *Informe de Hoja de Ruta para la Implementación de la Gestión de Activos*

Optimizada y en el cual se evidenció un buen desempeño, sin embargo, también se evidenció que se tienen oportunidades de mejora, teniendo en cuenta dichos resultados, si se implementan las acciones de este insumo para asegurar la administración de activos físicos basada en los requisitos del estándar británico PAS 55:2008 y la norma ISO 55001:2014.

Así mismo, en 2015, con el patrocinio y respaldo de la alta dirección y los lineamientos desde EPM, CENS inicia el Proyecto Gestión de Activos, en donde se establece la hoja de ruta y se propone implementar acciones pertinentes que permiten cerrar las brechas identificadas en el diagnóstico efectuado, con un primer paso, la preparación y aprobación por Junta Directiva, de la Política de Gestión de Activos Físicos Productivos como una intención para gestionar adecuadamente sus activos.

La hoja de ruta contempla la definición e incorporación de nueve metodologías aplicadas a los procesos que intervienen durante las fases del ciclo de vida de los activos del negocio de transmisión y distribución de energía eléctrica, las cuales son: taxonomía, análisis de fallas, salud de activos, análisis de criticidad, toma de decisiones, comisionamiento de proyectos, manejo del cambio, planes de mantenimiento optimizado y manual de tercerización, con el fin de atender las debilidades en la gestión de los activos.

A través del equipo implementador del Proyecto Gestión de Activos, CENS ha logrado definir e incorporar documentación para fortalecer el sistema de gestión de activos como los son la política de gestión de activos y sus lineamientos, el manual del sistema de gestión de activos, el PEGA

o plan estratégico de gestión de activos, la matriz de comunicaciones, la matriz RACI que contempla los roles y las responsabilidades de los procesos y dependencias.

En el año 2018, la CREG publica la resolución CREG 015 de 2018, la cual establece la nueva metodología para la remuneración del negocio de distribución de energía eléctrica y en donde se incluyen requisitos para los operadores de red, entre los cuales se encuentran el establecimiento de un plan de inversiones, los indicadores tanto de pérdidas de energía como de calidad del servicio e implementar un sistema para la administración de activos certificado, en el que CENS viene desarrollando actividades y demostrando un avance en el grado de madurez y así dar cumplimiento a este requisito regulatorio.

2. Análisis de criticidad

El estudio de la criticidad es un ejercicio de fácil comprensión y manejo, en el que se determinan rangos relativos de riesgos que se representan por las probabilidades de eventos y sus consecuencias.

El estudio de la criticidad es un instrumento que accede a estipular niveles jerárquicos entre activos y sistemas de activos bajo criterios homologados, con el fin de facilitar mediante información confiable, una correcta toma de decisiones de acuerdo con su impacto en los objetivos, teniendo en cuenta la valoración de la probabilidad con la que ocurren las fallas y la gravedad calculada por sus consecuencias en los objetos de impacto (Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P., 2018, p. 6).

El análisis de criticidad en CENS se puede aplicar tanto en activos lineales como en activos centralizados:

2.1 Activos lineales

Son los activos descritos como líneas o redes de transmisión y distribución para la prestación del servicio de energía eléctrica. Su topología de activo lineal está determinada dado que las redes o líneas de transmisión y distribución tanto aéreas como subterráneas están a lo largo del territorio y abarcan grandes extensiones de kilometraje en secciones telescópicas. Sus componentes contienen postes y torres, conductores de transporte de energía, herrajes, aisladores, transformadores de distribución y elementos de corte, protección y maniobra. (Kersting, 2001, p. 1-9).

2.2 Activos Centralizados

Son los activos descritos como equipos y componentes que participan en la función de la transformación de energía, tales como los transformadores de

potencia, equipos de medida, CT's, PT's, equipos de control y protección interruptores, relés y equipos de maniobra, seccionadores, suiches y reconectores. En esta clasificación de activos

se encuentran agrupados físicamente en bahías en serie, las cuales están dentro del área física de las subestaciones de transformación de energía eléctrica (Mejía Villegas, 2003).

3. Guía metodológica para el análisis de criticidad en activos físicos productivos en CENS

3.1 Participantes de la metodología Análisis de Criticidad

Los participantes definidos en la metodología análisis de criticidad en activos físicos productivos son:

3.1.1 Líder de la metodología análisis de criticidad

Profesional P2 CET, es el responsable de liderar la implementación y desarrollo de la guía para el análisis de la criticidad en activos físicos productivos.

3.1.2 Facilitador de la metodología análisis de criticidad

Profesionales del equipo de trabajo CET, formados en la utilización e implementación de la guía metodológica de análisis de criticidad y encargado de conducir al logro de los objetivos del análisis.

3.1.3 Responsable del análisis de criticidad

Jefe de estructura administrativa que tenga a su cargo actividades sobre los activos físicos productivos.

3.1.4 Interesado del análisis de criticidad

Profesional especializado (profesional P3 o profesional P2), perteneciente a la dependencia a la cual

están a cargo los activos que se les hará el análisis de criticidad, designado por el jefe de estructura administrativa, quien responde por la ejecución del análisis de criticidad.

3.1.5 Equipo de análisis de criticidad

Equipo temporal multidisciplinario encargado de ejecutar el análisis de criticidad de los activos o sistemas de activos específicos, según los lineamientos de la metodología, dirigido por un facilitador y conformado por trabajadores de las diferentes dependencias de la organización que ejecuten labores de planeación, operación, mantenimiento y sus especialidades, acciones ambientales, de seguridad y salud en el trabajo, cadena de suministro, áreas financieras y que posean experiencia y amplio conocimiento sobre los procesos y los activos correspondientes de manera que puedan determinar, tanto la probabilidad o posibilidad de materializarse una falla o evento en los activos analizados como sus impactos en los diferentes objetos (la calidad en la prestación del servicio, la integridad de las personas, nuestro medio ambiente, las finanzas y la reputación).

3.2 Descripción de la metodología para el análisis de la criticidad

En la figura 1, se puede observar las etapas para realizar el análisis de criticidad según la metodología:



Figura 1. Etapas para el análisis de criticidad. Recuperado de: (CENS S.A. E.S.P., 2018).

3.3 Objetos de impacto

La definición de los objetos de impacto y sus tablas de valoración son la base para la evaluación de la consecuencia o grado en el que la empresa (negocio transmisión o distribución) se ve afectada cuando se materializa un riesgo.

La definición de los objetos de impacto se hizo dentro del marco de la guía metodológica para la gestión integral de riesgos. Para construir la tabla de valoración de las consecuencias derivadas de los eventos de falla presentados en los activos o sistema de activos a evaluar, se definieron los objetos de impacto que se afectan, para la metodología de análisis de criticidad se asumieron 5 de los 7 objetos de impacto definidos en la metodología establecida en CENS para la gestión integral de los riesgos:

- Personas.
- Ambiente.
- Calidad.
- Reputación.
- Financiero.

Los objetos de impacto tiempo e información no se evaluaron en el análisis de criticidad (CENS S.A. E.S.P., 2018).

3.4 Evaluación de las consecuencias

Luego se definió un conjunto de descriptores cualitativos y cuantitativos adecuados a los activos de acuerdo a su contexto operacional, los cuales se evaluaron en una escala desde mínimo, menor, moderado, mayor y máximo, donde se describe su grado de las consecuencias, es decir, las condiciones de cómo la empresa se afectó al materializarse las fallas de los activos para cada uno de los objetos de impacto.

A continuación, en la figura 2, se muestran las variables utilizadas para evaluar la consecuencia de los objetos de impacto para activos lineales

de acuerdo a la guía metodológica definida para el análisis de la criticidad en activos físicos productivos.

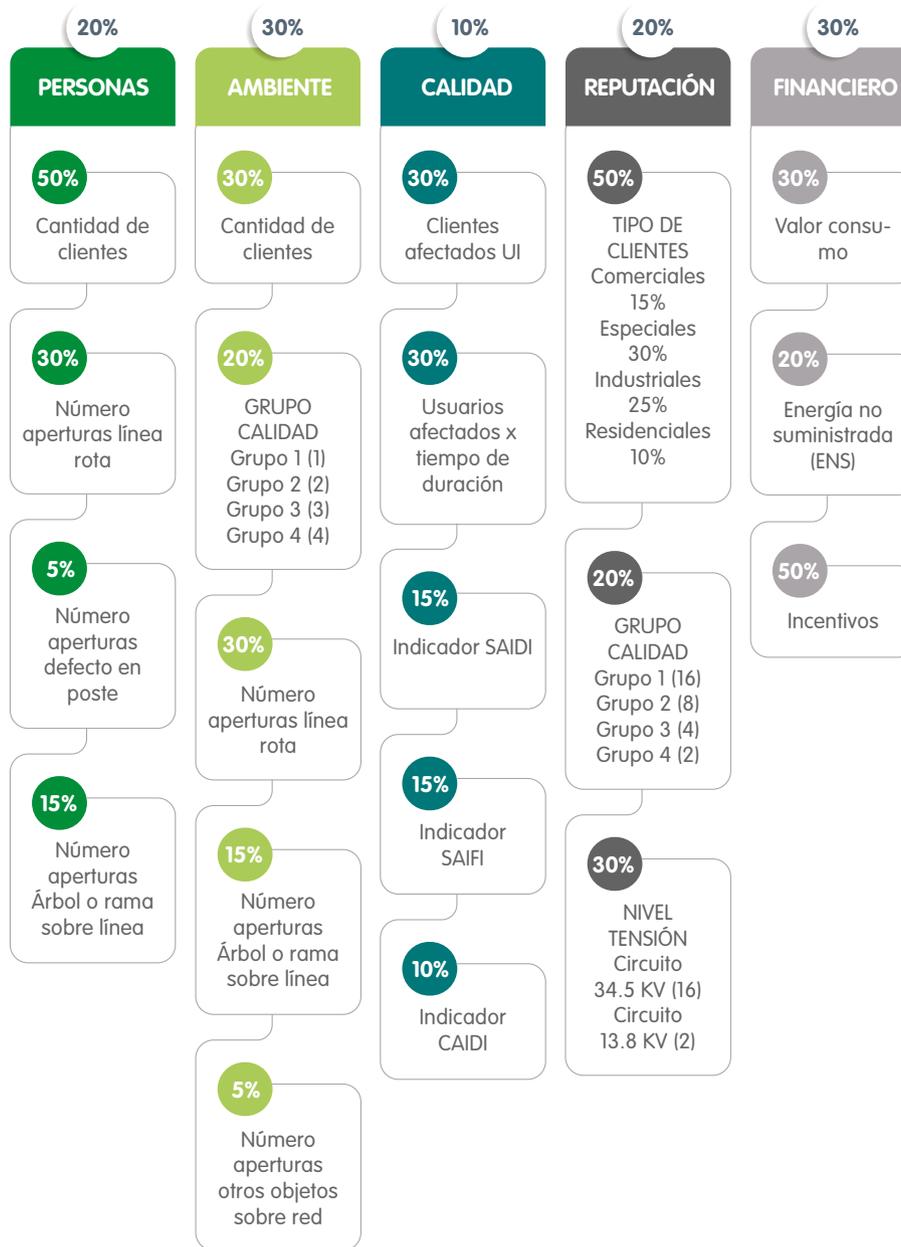


Figura 2. Variables para evaluar la consecuencia en los objetos de impacto. Recuperado de: (CENS S.A. E.S.P., 2018).

En la tabla 1, se observan los datos y rangos analizados con los que se obtuvo la valoración de

las consecuencias a partir del valor máximo de los datos.

Valoración de consecuencias			
Calificación		Valor	
16	Máxima	>80%	100%
8	Mayor	>50%	>=80%
4	Moderada	>25%	>=50%
2	Menor	>12.5%	>=25%
1	Mínimo	>0%	>=12.5%

Tabla 1. Valoración de consecuencias activos lineales. Recuperado de: (CENS S.A. E.S.P., 2018).

3.5 Evaluación de la probabilidad

La tabla de evaluación de la probabilidad de ocurrencia de falla (funcional) del activo, está definida en la guía metodológica para la gestión integral de los riesgos. En la fase de valoración de la probabilidad o posibilidad de ocurrencia del evento o falla, se indicó la cantidad de eventos o fallas que presentó el activo lineal dentro del período de análisis que fue un año. En la figura 3, se observan las variables utilizadas para determinar la probabilidad en los objetos de impacto.



Figura 3. Variables para evaluar la probabilidad en los objetos de impacto. Recuperado de: (CENS S.A. E.S.P., 2018).

En la tabla 2, se muestran los datos analizados para determinar la valoración y clasificación de la

probabilidad en los objetos de impacto.

Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
5	4	3	2	1
Clasificación Muy Alta	Clasificación Alta	Clasificación Media	Clasificación Baja	Clasificación Muy Baja
Probabilidad de ocurrencia Mayor del 85%	Probabilidad de ocurrencia 60.1% 85.1%	Probabilidad de ocurrencia 25.1% 60%	Probabilidad de ocurrencia 5.1% 25%	Probabilidad de ocurrencia Menor o igual 5%
Descripción Muy Alta probabilidad de ocurrencia	Descripción Alta probabilidad de ocurrencia	Descripción Mediana probabilidad de ocurrencia	Descripción Baja probabilidad de ocurrencia	Descripción Es casi imposible que ocurra
Interpretación por año/mes El evento ocurre aproximadamente cada 3 meses	Interpretación por año/mes El evento ocurre aproximadamente cada 6 meses	Interpretación por año/mes El evento ocurre aproximadamente cada 1 año	Interpretación por año/mes El evento ocurre aproximadamente cada 3 años	Interpretación por año/mes El evento ocurre aproximadamente cada 19 años
Interpretación por veces El evento ocurre aproximadamente cada 4 veces en un año	Interpretación por veces El evento ocurre aproximadamente cada 2 veces en un año	Interpretación por veces El evento ocurre aproximadamente cada 1 vez en un año	Interpretación por veces El evento ocurre aproximadamente cada 0 veces en un año	Interpretación por veces El evento ocurre aproximadamente cada 0 veces en un año

Tabla 2. Valoración de probabilidades en activos lineales.
Recuperado de: (CENS S.A. E.S.P., 2018).

3.6 Matriz de criticidad

La matriz de criticidad por su parte, es una herramienta utilizada para clasificar y visualizar la criticidad, mediante la definición de categorías de consecuencia y de su probabilidad.

Para realizar el análisis, se utilizó la matriz de riesgos de CENS indicada en la guía metodológica para la gestión integral de riesgos, que es una matriz o arreglo matricial (5x5) codificada con colores

específicos para expresar el nivel de riesgo asociado con cada uno de los activos a ser evaluados como se muestra en la tabla 3, en donde en el eje vertical se representa la probabilidad de las fallas y en el eje horizontal los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá el activo en estudio. Al momento de evaluar el evento de falla, entendiendo la falla como pérdida de la función principal; es necesario medir y cuantificar las posibilidades o probabilidades de materializarse el evento y las consecuencias que se pueden presentar en cada escenario.

		Consecuencia				
		Mínima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima
Probabilidad		1	2	4	8	16
Muy alta	5	5	10	20	40	80
Alta	4	4	8	16	32	64
Media	3	3	6	12	24	48
Baja	2	2	4	8	16	32
Muy Baja	1	1	2	4	8	16

Tabla 3. Matriz de riesgos – Guía metodológica para la gestión integral de riesgos. Recuperado de: (CENS S.A. E.S.P., 2017).

3.7 Obtención del nivel de criticidad para cada activo

Para la obtención del valor de criticidad, se diligencia para cada objeto de impacto los valores definidos en el análisis de probabilidad y consecuencia para cada activo. Estos valores automáticamente se calculan según la fórmula de criticidad, en la plantilla análisis de criticidad para activos lineales.

Criticidad= Consecuencia valorada en cada objeto de impacto **X** Probabilidad de ocurrencia de la falla

Adicionalmente, se calcula el índice de criticidad, dado por la sumatoria del producto entre el valor de la consecuencia alcanzada en cada objeto de impacto por el valor promedio de la probabilidad de ocurrencia de la falla. Esto permite jerarquizar los activos para priorizar la atención.

Índice de Criticidad = \sum (Consecuencia valorada en cada objeto de impacto **X** promedio de Probabilidad de falla). (CENS S.A. E.S.P., 2018)

El nivel de criticidad en el cual se encuentra categorizado el activo, está dado por el resultado más alto entre los cinco objetos de impactos evaluados, el grado de criticidad resultante es un nivel cualitativo con definiciones (Bajo-verde, Medio-amarillo, Alto-naranja y Muy Alto-rojo).

En la tabla 4, se listan los 103 activos lineales analizados, circuitos de distribución a 13.8 kV de CENS y la subestación a la que pertenecen (información vigencia 2019).

4.

Resultados del análisis de criticidad en circuitos de distribución a 13.8 kv

Teniendo claridad frente a los impactos a evaluar y a las variables a considerar para evaluar cada uno de los impactos, se procedió a recolectar toda la información disponible vigencia 2019, se realizaron talleres con la participación de todas las dependencias involucradas en el análisis

(operación, mantenimiento, gestión ambiental y social, seguridad y salud en el trabajo, planeación de la infraestructura, el proyecto gestión de activos, etc.), se efectuaron los cálculos para determinar finalmente el nivel de criticidad de los circuitos de distribución.

Calificación	Código
ABREGO	ABRC1 – ABRC2
AGUACHICA	AGUC2 – AGUC3 – AGUC4 – AGUC5 AGUC7
ATALAYA	ATAC86 – ATAC87 – ATAC88
AYACUCHO	AYAC1 – AYAC2
BELÉN	BELC21 – BELC22 – BELC23 – BELC24 BELC27 – BELC28 – BELC29 – BELC30 BELC31
CÁCHIRA	CACHIRA
CONVENCIÓN	CONSALCARMEN CONSALCONVENCIÓN CONSALSANPABLO CONSALTEORAMA
CORNEJO	CORC1 – CORC2 – CORC3
CULEBRA	CULC1 – CULC2
ESCOBAL	ESCC61 – ESCC62 – ESCC63
GABARRA	GABGABARRA
INSULA	INSC91 – INSC92 – INSC93 – INSC94
LA MATA	LAMATA
LA MIEL	LA_MIEL
LOS ALPES	LOS_ALPES
LOS MANGOS	LOS_MANGOS
MONTESITOS	MONTESITOS
OCAÑA	OCAGONZALES – OCALAPLAYA OCAOCAÑA1 – OCAOCAÑA2 OCAOCAÑA3

Calificación	Código
ORÚ	ORU
PALERMO	PALBOCHALEMA – PALCHINACOTA PALDONJUANA – PALRAGONVALIA
PAMPLONA	PAMC2 – PAMC3 – PAMC4
PATIOS	PATIOS
PELAYA	PELC2
PLANTA ZULIA	PLZ263B1 – PLZ283B1
SALAZAR	SALC1 – SALC2 – SALC3 – SALC4
SAMÁN	ELSC68 – ELSC69
SAMORÉ	SAMSAMORE
SAN ANTONIO	SAN_ANTONIO
SAN MATEO	SANC43 – SANC45 – SANC46 – SANC48 SANC49 – SANC51 – SANC52 – SANC53 SANC54 – SANC55 – SANC56 – SANC57 SANC58 – SANC59
SARDINATA	SARC1 – SARC2
SEVILLA	SEVC3 – SEVC4 – SEVC5 – SEVC6 SEVC7 – SEVC11 – SEVC16 – SEVC17
TARRA	EL_TARRA
TIBÚ	TIBPUEBLOS – TIBTIBU1 – TIBTIBU2 TIBPOZOS
TOLEDO	TOLLABATECA – TOLTOLEDO
ZULIA	ZULC1 – ZULC2 – ZULC3

Tabla 4. Circuitos de distribución a 13.8 kV de CENS y su respectiva subestación a la que pertenecen.

Como resultado del análisis de probabilidad y consecuencia en cada factor de impacto, se obtuvo la clasificación general de criticidad de los 103

circuitos de distribución en las siguientes categorías: Muy Alta, Alta, Media y Baja, la cual se muestra en la figura 4.

Criticidad de circuitos

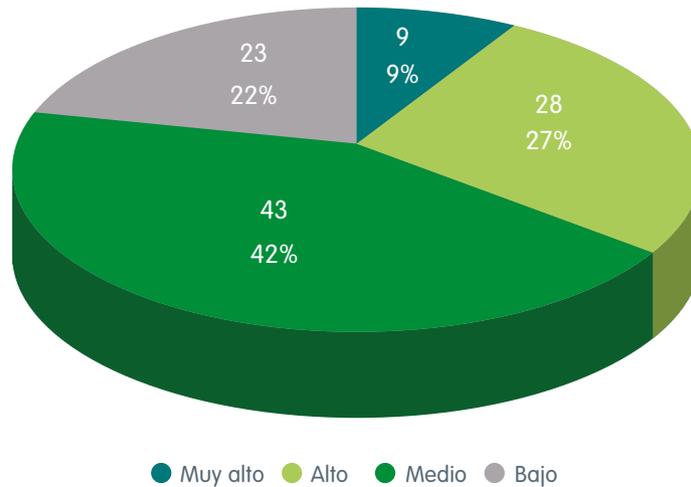


Figura 4. Valoración de probabilidades en activos lineales.

Con la realización de este análisis se logró establecer a nivel de circuito de distribución, que de los 103 circuitos analizados el sistema eléctrico de

CENS presenta 9 circuitos de distribución de energía clasificados en el nivel Muy Alto de criticidad y los cuales se relacionan en la tabla 5.

Código	Índice de criticidad	Valor de criticidad	criticidad
TIBUPUEBLOS	509.75%	80	MUY ALTO
AGUC4	259.06%	64	MUY ALTO
AGUC7	99.80%	48	MUY ALTO
AGUC5	303.26%	32	MUY ALTO
CONSALTEORAMA	275.68%	32	MUY ALTO
CACHIRA	181.05%	32	MUY ALTO
LOS_ALPES	86.46%	32	MUY ALTO
SEVC5	38.55%	32	MUY ALTO
INSC91	23.88%	32	MUY ALTO

Tabla 5. Circuitos de distribución a 13.8 kV de CENS con nivel de criticidad Muy Alta.

A nivel individual, para cada uno de los nueve circuitos de distribución con nivel de criticidad muy alta, se logró determinar los resultados de la valoración para

cada uno de los factores de impacto de acuerdo a la matriz de análisis de probabilidad y consecuencia, esta valoración se muestra en la tabla 6.

Circuito	Personas	Ambiente	Calidad	Reputación	Financiero
AGUC4	12	2	16	16	64
AGUC5	32	24	16	16	16
AGUC7	8	4	6	12	48
CACHIRA	1	1	32	8	4
CONSAL TEORAMA	12	32	16	8	8
INSC91	1	1	4	32	8
LOS_ALPES	2	2	32	4	2
SEVC5	2	2	2	32	16
TIBU PUEBLOS	80	80	24	12	12

Tabla 6. Valoración para los factores de impacto de los circuitos de distribución a 13.8 kV de CENS con nivel de criticidad Muy Alta.

Los resultados, datos y toda la información resultante del análisis fueron contrastados con los expertos en el área de mantenimiento, expansión y reposición de redes de distribución para la identificación de los sectores a intervenir, acciones a implementar y prioridad de las mismas.

Las estrategias y acciones identificadas para implementar en estos circuitos y así reducir su nivel de criticidad fueron incluidas en el Plan de Inversiones Regulatorio que CENS presentó a la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG como requisito regulatorio de la resolución CREG 015 de 2018 y en los Planes de Mantenimiento de Redes de Distribución.

Algunas de las estrategias de mantenimiento e inversión identificadas y aprobadas para su implementación en los circuitos fueron²:

- Mantenimiento predictivo programado en proximidad: ejecutar inspecciones mediante el cronograma de inspecciones a circuitos y/o derivaciones en media tensión.
- Mantenimiento preventivo programado a contacto: ejecutar poda de árboles en los circuitos del sistema de distribución.
- Mantenimiento preventivo programado desenergizado: ejecutar reposición de postes en mal estado por postes de concreto, metálicos o fibra de vidrio.

- Mantenimiento predictivo programado en proximidad: ejecutar intervenciones por termografía de circuitos o derivaciones de MT.
- Mantenimiento preventivo programado desenergizado o a contacto: ejecutar instalación de cortacircuitos de repetición, electrónicos, convencionales, cuchillas seccionadoras y reconectores en puntos establecidos estratégicos.
- Para el caso del circuito TIBUPUEBLOS luego de analizar el resultado de criticidad y el comportamiento de las variables que determinaron este nivel de criticidad, se estableció como estrategia la construcción de una nueva subestación Campo Dos que incorporaría un nuevo transformador de potencia de capacidad 10/12 MVA con relación de transformación 34.5/ 13.8 kV y así distribuir la demanda, los usuarios y la longitud (347 km) en 3 nuevos circuitos de 13.8 kV, minimizando el impacto de los factores cada vez que se presente una apertura del alimentador por algún tipo de falla.

Adicionalmente, luego de determinar el nivel de criticidad de los circuitos de distribución, se realizó la implementación de la metodología para el análisis de fallas en activos físicos productivos que tiene definida CENS en su sistema de gestión de activos y así se determinaron causas raíz de las fallas que presentan los circuitos de distribución que también aportaron como insumo para la determinación de las acciones a implementar.

Conclusiones

La implementación de la *metodología para el análisis de criticidad en activos físicos productivos* a los activos lineales circuitos de distribución a 13.8 kV de CENS, permitió alinear los requisitos y necesidades de las partes interesadas en el ciclo de vida del activo, garantizando una adecuada interacción entre los participantes y obteniendo resultados que permitan aumentar la confiabilidad del sistema y aporte a la calidad del suministro de energía eléctrica como servicio público domiciliario.

El estudio de la criticidad es básicamente un análisis que se realiza a los riesgos de los activos que permitió identificar y priorizar los circuitos con el fin de plantear y ejecutar acciones de mejora inmediatas y necesidades de atención urgentes

que contribuyeron a un óptimo desempeño de los circuitos.

El análisis de criticidad, es uno de los insumos fundamentales para poder realizar una apropiada y soportada toma de decisiones basada en los riesgos y con el que se pudo analizar la construcción de planes de mantenimiento y planes de inversión.

El análisis de criticidad y sus resultados fortalecieron la gestión por procesos de CENS debido a la interacción de los actores que participan en todas las fases del período de vida de los activos y permitió enriquecer la validación y discusiones sanas con los responsables de los activos elevando el nivel de conciencia.

Notas al final

¹ La definición fue creada a partir de los parámetros de la norma PASS 55-1:2008.

² Las estrategias de mantenimiento identificadas y aprobadas se encuentran incluidas en: Sistema de Gestión, Macroproceso Prestación de Servicios de Energía Eléctrica, Proceso Mantenimiento del

Sistema de Transmisión y Distribución, Cronograma de inspecciones a circuitos y/o derivaciones en media tensión, 2019, en el Sistema de Gestión, Plan operativo equipo de trabajo planeación y verificación mantenimiento de redes, 2019 y en Unidad Gestión Operativa, Plan empresarial 2019-2022, 2018.

Referencias

- Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P. (2017). Guía metodológica para la gestión integral de riesgos.
- Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P. (2018). Guía metodológica para el análisis de criticidad en activos físicos productivos.
- Mejía Villegas S.A. (2003). Subestaciones de alta y extra alta tensión (2a ed.). Impresiones gráficas Ltda.
- Kersting, W. (2001). Introduction to distribution systems. Distribution system modeling and analysis. CRC Press.

Cómo citar este artículo:

Herrera, P. (2021). Experiencia en la implementación del pensamiento ágil como detonante de la innovación en el mejoramiento de procesos. *Revista EPM*, (17). 58-71.



Experiencia en la implementación del pensamiento ágil como detonante de la innovación en el mejoramiento de procesos

Experience in the implementation of agile thinking as a trigger for innovation in process improvement

**Pablo
Herrera Capdevilla**
Dirección Soluciones Desarrollo
Organizacional, EPM

pablo.herrera@epm.com.co

Resumen

El presente artículo, propone una reflexión de cómo las metodologías ágiles están transformando la dinámica de trabajo entre equipos, la innovación en el mejoramiento de procesos y la búsqueda de una eficiencia operacional, permitiendo entender las ventajas que tienen sus herramientas y cómo aumentan la capacidad de innovación de la organización.

Inicialmente, se presenta un contexto general de

las metodologías y su importancia en el ámbito empresarial de EPM. Seguidamente, se presenta una aproximación a la teoría donde se revisan conceptos como el manifiesto ágil y las principales metodologías, luego en el desarrollo del artículo, se analizan las lecciones aprendidas que se han tenido en intervenciones de mejoramiento de procesos en proyectos de desarrollo empresarial y por último, se realizan reflexiones sobre los análisis realizados y conclusiones de los temas abordados.

Palabras clave:

Pensamiento ágil, Procesos, Innovación, Excelencia operacional, Metodologías.

Keywords:

Agile thinking, Processes, Innovation, Operational excellence, Methodologies.

Introducción

La evolución organizacional depende de su capacidad de adaptación y la velocidad de creación de valor para el cliente, por tal motivo, los procesos y la estructura deben consolidar modelos de pensamiento y de acción que permitan tener velocidad, diseños óptimos de los procesos, para así lograr una inteligencia operacional. Según (Rahmani & Lotfollahi, 2015) los entornos de negocios y los mercados actuales son turbulentos, inciertos y de cambios rápidos que impactan en las organizaciones, lo que hace necesario que se implementen estrategias ágiles y desarrollen sus capacidades de manera rápida, permitiéndoles adaptarse a las condiciones cambiantes en los sectores de alta competitividad.

En industrias donde el cambio es acelerado, es fácil encontrar dificultades que hacen atrasar la velocidad de adaptación al entorno, por tal motivo las metodologías tradicionales y las estrategias a largo plazo sin propósitos claros quedan sin argumentos. El manifiesto ágil, se genera como una respuesta a la necesidad de agilidad en el marco de una 4ta revolución industrial que indica que, el ciclo de vida de la tecnología es más corto, los clientes son más exigentes y con los cambios de generación se cambia la dinámica de los mercados globales. Para ser competitivos se necesita tener la capacidad de pensar más rápido que la competencia, comprender y generar más empatía con el cliente.

En EPM se ha desarrollado una dinámica de cambio permanente y en los últimos años la cultura de agilidad se ha visto asimilada en los negocios y en el desarrollo de proyectos, lo cual ha permitido un impacto en aspectos relevantes como la eficiencia operacional y el cumplimiento de logros con victorias tempranas. Los nuevos enfoques de trabajo como el agilidad, poco a poco son entendidos como una filosofía de trabajo diferente, propiciando una gestión del cambio más efectiva y permitiendo una sinergia mayor entre los diferentes actores del entorno.

El mundo se encuentra viviendo un momento en el cual, mientras se está desarrollando un bien o servicio, también paralelamente, se introducen cambios en el mismo y se generan nuevas experiencias, esto se puede decir que es normal por la comunicación permanente con el cliente. El modelo lineal y predictivo que han dejado las anteriores revoluciones industriales, marca un modelo push en el cual el cliente ve el producto solo cuando se lo entregan, lo que ocasiona un alto grado de incertidumbre, descontento y frustración si éste no cumple con las expectativas que como cliente tenía.

Para (Hamel, 2001) la evolución organizacional debe ser constante, continua y ágil, ya que una organización que evoluciona lentamente se encuentra en vías de extinción. Por ello, las empresas revolucionarias retan a las empresas tradicionales a generar nuevos modelos de negocio, que permitan el surgimiento de nuevos productos donde la competencia se define por estos modelos y no por los productos en sí.

El presente artículo, propone una reflexión de cómo las metodologías ágiles están transformando la dinámica de trabajo entre equipos, la innovación en el mejoramiento de procesos y la búsqueda de una eficiencia operacional que permita entregar repuestas más rápidas y la generación de innovaciones para los grupos de interés.



En este sentido inicialmente, se realizará una aproximación a la teoría, que permita analizar diversas perspectivas de autores sobre el pensamiento ágil, seguidamente, se expondrá la experiencia de la implementación de marcos ágiles en proyectos organizacionales, se reflexionará sobre ventajas y

desventajas de la aplicación de estas metodologías, se planteará una propuesta de cómo implementar un modelo de marco ágil al proyecto y se finalizará concluyendo sobre la importancia de estos modelos para lograr un impacto organizacional y acelerar los procesos de innovación.

1. Aproximación a la teoría

Está claro que el origen de los marcos ágiles nace de los proyectos de software, pero en la actualidad estas metodologías se han abierto a muchos campos de aplicación, tanto en la salud, en el resto de las ingenierías, en ciencias sociales, entre otros. En esta aproximación a la teoría, se presentará un análisis general del manifiesto ágil y cómo funcionan las principales metodologías ágiles.

Es preciso comenzar hablando de cómo ha cambiado el contexto de los directores de producto, los cuales hoy no necesitan conocer cuáles van a ser las 200 funcionalidades que tendrá el producto final, ni si estará terminado en 12 o en 16 meses. Hay clientes que necesitan disponer de una primera versión con funcionalidades mínimas en cuestión de semanas, y no un producto completo dentro de uno o dos años. "Su interés es poner en el mercado rápidamente un concepto nuevo y desarrollar de forma continua su valor" (Palacio, 2016).

Bajo una ideología Agile, el trabajo se debe enfocar en cumplir con las expectativas de los clientes (Denning, 2018), brindando una mayor agilidad a toda la organización, permitiendo una mutación en las formas, las composiciones de los equipos, el autorreclutamiento y la autonomía para definir los negocios, los mercados y los nichos donde se quiere competir, buscándoles un liderazgo con productos ganadores que satisfagan las necesidades de los clientes.

El manifiesto ágil

El manifiesto ágil define una filosofía de trabajo para el desarrollo del proyecto, por esto el manifiesto

llega a valorar:

- A los individuos y su interacción, por encima de los procesos y las herramientas.
- El software que funciona, por encima de la documentación exhaustiva.
- La colaboración con el cliente, por encima de la negociación contractual.
- La respuesta al cambio, por encima del seguimiento de un plan.

Aunque hay valor en los elementos de la derecha, valoramos más los de la izquierda.

El postulado más importante del manifiesto ágil es "valoramos más a los individuos y su interacción que a los procesos y las herramientas", por supuesto que los procesos ayudan al trabajo, éstos son una guía de operación. Las herramientas mejoran la eficiencia, pero hay tareas que requieren talento y necesitan personas que lo aporten y trabajen con una actitud adecuada. (Menzinsky, López, & Palacio, 2016)

Como filosofía del manifiesto ágil, se definen 12 principios que orientan el marco ágil, a continuación, se mencionan en la figura 1.

Metodologías ágiles

La claridad de las metodologías en el desarrollo del pensamiento son claves para lograr desarrollar la innovación, por eso a continuación se dará una aproximación teórica de las principales metodologías ágiles para el desarrollo de proyectos, entre ellas; Scrum, Kanban, Agil inception, Design thinking y el Design sprint, entre otras.



Figura 1. Los 12 principios del manifiesto ágil. Recuperado de: (Autentia, 2018).

Metodología Scrum

La metodología Scrum, en la concepción original de Takeuchi y Nonaka, se caracteriza por el protagonismo de equipos brillantes, autoorganizados y motivados, que abordan el desarrollo de sistemas complejos partiendo de una visión general y solapando las fases del desarrollo (Takeuchi & Nonaka, 1986).

De acuerdo con (Schwaber & Sutherland, 2020) la metodología Scrum es un marco ligero que ayuda a las personas, equipos y organizaciones a generar valor a través de soluciones adaptables para problemas complejos.

En pocas palabras, Scrum requiere un Scrum Master para fomentar un entorno donde:

- Un propietario del producto ordena el trabajo por un problema complejo en un trabajo pendiente del producto.
- El equipo de Scrum convierte una selección del trabajo en un Incremento de valor durante un Sprint.
- El equipo de Scrum y sus partes interesadas inspeccionan los resultados y se ajustan para el próximo sprint.
- Repetir.

Scrum se basa en la inteligencia colectiva de las personas que lo utilizan, en lugar de proporcionar a las personas instrucciones detalladas, las reglas de Scrum guían sus relaciones e interacciones; en el marco se pueden emplear diversos procesos, técnicas y métodos. Scrum envuelve las prácticas

existentes o las hace innecesarias, hace visible la eficacia relativa de la gestión actual, el medio ambiente y las técnicas de trabajo, de modo que se pueden realizar mejoras.

De acuerdo con estos mismos autores, la metodología Scrum tiene un método de trabajo que funciona bajo el marco para desarrollo de software, basado en la metodología Scrum de Ken Schwaber, en 2005 Mike Cohn, Esther Derby y Ken Schwaber constituyeron la organización Scrum Alliance para difundir un marco de trabajo específico para el desarrollo de software, basado en esta metodología y a la que también denominaron Scrum. Se muestra a continuación el marco metodológico de Scrum actual. (Menzinsky, López, & Palacio, 2016).



Figura 2. Marco metodológico Scrum. Recuperado de: (Jeferson, 2019).

Para el resto de las metodologías ágiles, a continuación, se realizará un cuadro comparativo

para tener un mayor entendimiento.

Metodología	Características	Entregable
Kanban	<ul style="list-style-type: none"> - Visualizar el flujo de trabajo - Limitar el trabajo en progreso - Medir y manejar el flujo de trabajo - Explicitar las políticas del proceso - Usar modelos para mejorar (Anderson, 2010) 	Estados de un flujo de trabajo y tarjetas que van señalizando como fluyen los requerimientos dentro de un equipo
Agil Inception	<ul style="list-style-type: none"> - Plantea que el diálogo hay que tenerlo muy al principio, antes de arrancar el proyecto, y asegurarse que sabemos lo que necesita el cliente. - Se basa en un conjunto de dinámicas como el elevator pitch, lista de NOES, Caja de producto, conoce a tus vecinos, entre otras. (Rasmusson, 2006) 	Dialogo antes de empezar el proyecto que permita el alineamiento y control de expectativas
Design Thinking	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño centrado en el usuario - Divergencia y convergencia - Utiliza técnicas visuales - El proceso es la Inmersión en la necesidad, definir, diseño, prototipado y validación con el cliente (Brown, 2008) 	Diseño y prototipado de producto/ Proceso
Design Sprint	<ul style="list-style-type: none"> - Recoge el Design thinking, el Scrum y el Lean design en modo Hackathon - El Sprint es un proceso de cinco días para responder preguntas comerciales críticas mediante el diseño, la creación de prototipos y la prueba de ideas con los clientes. (Knapp, Zeraysky, & Kowitz, 2016) 	Diseño y prototipado de producto/ Proceso

| **Tabla 1.** Resumen de las principales metodologías ágiles.

2. Experiencia en la aplicación de metodologías ágiles en proyectos de desarrollo empresarial

La implementación de marcos ágiles en la organización aplicados a procesos y a proyectos diferentes a software, se encuentra en una etapa de iniciación y exploración, se han realizado sensibilizaciones y para varios proyectos visión 2025 esta metodología

se ha apropiado significativamente. Existen en la actualidad muchos desafíos que abordan en el marco de manifiesto ágil, pero se ha venido cerrando la brecha entre las metodologías tradicionales y las ágiles.

Se puede decir que, la asimilación del modelo de marco ágil aplicado a los proyectos se cumplió con relación al método, la aplicación de los artefactos y los roles establecidos. En un ejercicio de lecciones aprendidas realizado por la Unidad Transformación Cultural en un proyecto de desarrollo empresarial, se puede apreciar que existe una buena percepción de la aplicación de marcos ágiles, sin embargo, es necesario generar más cultura y compromiso por parte de los equipos de trabajo para garantizar el cumplimiento de los logros establecidos (Escobar & Vargas, 2020).

Entre los aspectos positivos que se destacan en el informe de lecciones aprendidas se encuentran:

- El compromiso y seguimiento del líder del equipo cumpliendo el papel del propietario del producto/proceso (Product Owner).
- El rol del Scrum Master, para este caso, la persona que acompaña metodológicamente el ejercicio, dependiendo del espacio, un experto en la metodología o la persona de soluciones organizaciones que cumple un papel no solo con la metodología de Scrum, sino también con lineamientos de procesos de la organización.
- La metodología da la posibilidad de ser adaptable y flexible ante las necesidades del proyecto.
- El equipo logró comprender que se pueden hacer entregas parciales de valor, en un corto plazo y encuentran sentido al trabajo colaborativo para generar los entregables.
- Como equipos se rescató la confianza y el empoderamiento que da la metodología para el desarrollo de los entregables de los proyectos.
- En relación con la metodología, este esquema de trabajo permite incorporar prácticas distintas en el día a día y abordar otro tipo de conversaciones que dan la sensación de romper la rutina.
- También se destaca que los espacios de retrospectiva sirvieron para identificar puntos

críticos que debían ser priorizados y gestionados en los siguientes sprint.

- Los equipos multidisciplinarios permitieron tener una visión concurrente de los procesos, permitiendo tener una mirada integral del proceso/ producto.
- La dinámica de este proyecto permitió visibilizar el trabajo colaborativo y matricial, es decir, que personas de distintos negocios y dependencias se articularon para construir entregables en equipo.

Como desventajas se pudieron apreciar pocas, pero en su mayoría se convierten en oportunidades de crecimiento y de fortalecer la metodología, las desventajas que se pudieron evidenciar en el ejercicio de lecciones aprendidas fueron:

- El hecho de construir entregables de forma colaborativa, en algunos momentos representó lentitud en la construcción de los productos, pero se obtiene como beneficio, poder contar con productos de mayor legitimidad y respaldo por parte de las distintas dependencias.
- La falta de disponibilidad de algunos recursos como los expertos en el apoyo para el desarrollo de los productos, en ciertos momentos limitó la construcción de los mismos.
- Es necesario vincular e involucrar a los jefes de área para que siempre estén conectados a las necesidades de requerimientos y asignación de tiempos necesarios para la participación en los Sprint y el desarrollo de los productos.

De forma general, expertos también han identificado otros aspectos que pueden limitar la implementación del marco Scrum en el desarrollo de productos como, la falta de claridad que pueda tener el Product Owner sobre el alcance del proyecto y sus entregables; tener un ideal colectivo de que el Scrum master es un director de proyectos cuando el objetivo es que sea un facilitador de la metodología, y por último entender que, el Backlog no es una lista de deseos, sino una

lista de requerimientos que deben transformarse en un producto para el cliente.



2.1 El pensamiento ágil como herramienta de la innovación en el mejoramiento de procesos

Para realizar este análisis, es preciso iniciar entendiendo cuál es el alcance de la innovación, desde el punto de vista teórico la innovación desde la (OCDE, 2006) es considerada como “la introducción o significativamente mejorado, producto, proceso, método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa”, como también entre las definiciones de Schumpeter se relaciona la innovación en proceso con la introducción de nuevos métodos de trabajo.

Para una definición más clara de innovación en el mejoramiento de procesos, el grupo (GETEC, 2005) la define como “la instalación de nuevos procesos de producción para mejorar la productividad o racionalizar la fabricación, ya sea para la fabricación de productos nuevos o para la fabricación más eficiente de productos existentes (Como por ejemplo la nueva técnica de litografía para fabricación de memorias RAM)”.

Christensen & Raynor, 2003 relacionan la innovación en el mejoramiento de proceso con una innovación de apoyo, en donde “el mantener

una trayectoria de mejora del funcionamiento del producto o servicio es un patrón muy importante de la innovación, el cual tiene como finalidad alcanzar un aumento de los márgenes de beneficio”. Estos autores mencionan que:

todas las empresas que escuchan lo que sus clientes quieren, desarrollan innovaciones de apoyo, éstas hacen que sus productos mejoren dependiendo de las opiniones que los clientes han valorado. Este tipo de innovación es la que toma un producto y lo mejora, y son importantes para el crecimiento de una empresa.

2.2 Relación de pensamiento ágil e innovación en el mejoramiento de proceso

El contexto de la innovación en la actualidad cambia debido a factores como el aceleramiento de los avances tecnológicos y las cambiantes necesidades de los clientes que modifican los requerimientos de productos y servicios, con estos factores la innovación depende de la capacidad de pensar y diseñar productos y procesos más rápidos que la competencia, por eso es necesario consolidar un sistema de innovación a nivel de organización que le dé velocidad a la innovación o por lo menos, un proceso sistemático que permita acelerar la implementación de nuevas mejoras en los procesos.

Hay una tendencia que se ha venido incorporando en las organizaciones y es conocido como BPM1 ágil, de acuerdo a (Thiemich & Puhlmann, 2013) en un estudio desarrollado:

Se planteó un nuevo enfoque para la realización de proyectos BPM que se basa en los principios del manifiesto de desarrollo ágil, se identificó que una muestra de proyectos la implementación del proceso que obtuvieron los departamentos comerciales es precisamente lo que alguna vez requirieron, pero ya no es lo que necesitan, ya que los requisitos cambiaron con el tiempo. La ingeniería de software tradicional se enfrentó a los mismos problemas, pero encontró soluciones para vincular estrechamente a los clientes.

Existen algunos elementos que se relacionan y que se deben tener en cuenta para poder incorporar elementos de pensamiento ágil en la innovación y en el mejoramiento de procesos como los siguientes:

- **Motivación permanente:** La implementación de un proyecto de mejora de un proceso al ser ejecutado con metodologías ágiles (planeado a través de sprint) genera motivación permanente, porque el cliente y las áreas se ven siempre involucradas en las mejoras que se realizan. Mientras que, en los proyectos tradicionales, el área de proceso se encarga de realizar los cambios, ajustes y al final se presentan los resultados.
- **Integración de resultados:** Estas metodologías permiten un mayor resultado en cuanto a la optimización del proceso, la integración, la identificación de cuellos de botella, porque se ejecutan a través de equipos interdisciplinarios y de forma colaborativa que permiten una visión integral de la necesidad.
- **Equipos más conscientes:** Con la forma de planeación organizada por sprint y en equipos más pequeños, se da la posibilidad de ser más conscientes de los tiempos, recursos y entregables. Lo que también permite que se puedan visualizar riesgos y barreras en etapas tempranas en la implementación del proyecto.
- **Victorias tempranas:** Herramientas como el Design thinkin y el Design sprint permiten validar procesos y sus productos en etapas tempranas antes de hacer inversiones, a través de la empatía se permite un mayor entendimiento del cliente y puntos de dolor, es decir que se puede apuntar a lo realmente importante para el cliente y en cuanto al prototipado, éste permite validar y testear la solución que se está planteando.
- **Caja de herramientas:** No se puede ver la innovación en proceso solo como un espacio o un laboratorio, pero sí como un conjunto de herramientas y metodologías disponibles para que este laboratorio sea utilizado por quien y donde se necesite.



Conclusiones

El mejoramiento de procesos en una organización tiene como meta la búsqueda de la eficiencia operacional, logrando encadenar las dimensiones de procesos, organización y personas en función de los objetivos estratégicos de la organización y para lograrlo en las condiciones actuales del mercado, es necesario tener una visión de la innovación en proceso, porque permite disminuir la incertidumbre y el riesgo de la implementación de un nuevo proceso.

Siempre las preguntas constantes en las organizaciones son ¿funcionará la solución?, ¿será viable?, ¿será adoptada por los miembros de la organización?, ¿es entendible y fácil de implementar?, como también en su mayoría, se puede observar que en los diagramas de proceso se establece una cosa y en la realidad, se ejecutan las tareas de otra forma,

creando demandas no atendidas que generan sobrecostos para la organización.

La empresa EPM ha consolidado una arquitectura empresarial en respuesta a su crecimiento y dinámica en el mercado, que ha contemplado los nuevos enfoques de la excelencia operacional, este artículo es un resultado de las lecciones aprendidas de la implementación del pensamiento ágil en un proyecto estratégico en el marco del direccionamiento estratégico a visión 2025, todavía es necesario consolidar mecanismos, cultura y un mejor entendimiento de los roles representantes de cada una de las dimensiones de la AE que participan en el proyecto, pero lo más importante es que estamos en el mismo camino que las grandes empresas innovadoras en el mundo están recorriendo.

Notas al final

¹ BPM (en inglés, Business Process Management)

Referencias

- Anderson, D. (2010). Thoughts on how Kanban differs from scrum. http://agilemanagement.net/index.php/Blog/thoughts_on_how_kanban_differs_from_scrum
- Autentia. (5 de Junio de 2018). Autentia. <https://rb.gy/fflvlt>
- Brown, T. (2008). The Design Thinking. Harvard Business Review.
- Christensen, C. & Raynor, E. (2003). The innovators Solution: Creating and sustaining successful growth. Collins.
- Denning, S. (2018). "Succeeding in an increasingly Agile world". Strategy & Leadership, 46(3), 3-9.
- Escobar, P. & Vargas, J. (2020). Lecciones aprendidas; Lote 2 optimización del modelo. Medellín: Unidad Transformación Cultural.
- GETEC (2005). Gestión de innovación. Universidad Politécnica de Madrid.
- Hamel, G. (2001). Liderando la revolución. Gestión 2000.

- Jeferson. (9 de Julio de 2019). metodologiascrum. readthedocs. <https://rb.gy/ejfruq>
- Knapp, J., Zeraysky, J. & Kowitz, B. (2016). Sprint solve big problems and test new ideas in just five days. Simon & Schuster.
- Menzinsky, A., López, G. & Palacio, J. (2016). Scrum Manager V2.6: Guía de formación. Safe Creative. <https://rb.gy/m45yyc>
- OCDE (2006). Manual de Oslo, guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación, Tragsa.
- Palacio, J. (2016). Scrum Manager: guía de formación. <https://rb.gy/m45yyc>
- Rahmani, K., & Lotfollahi, F. (2015). Evaluation, prioritization and selection capabilities Agility of the organization by using quantitative models fussy decisión. Journal UMP Social Sciences and Technology Management, 3(1), 781-790.
- Rasmusson, J. (2006). Agile project initiation techniques-the inception deck & boot camp. Agile Development Conference 2006, Minneapolis, MN, EE. UU.
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). La Guía Scrum: Las reglas del juego. <https://rb.gy/na1x41>
- Takeuchi, H., & Nonaka, I. (1986). The new new product development game. Harvard Business Review.
- Thiemich C., Puhlmann F. (2013) An Agile BPM Project Methodology. En: Daniel F., Wang J., Weber B. (Eds) Business Process Management. Lecture Notes in Computer Science, Vol 8094. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40176-3_25

Cómo citar este artículo:

Herrera, P. (2021). Experiencia en la implementación del pensamiento ágil como detonante de la innovación en el mejoramiento de procesos. *Revista EPM*, (17). 72-83.



Diversidad del banco de semillas germinable de un bosque alto andino de la vereda El Cofre, municipio de Totoró, Popayán - Cauca

Diversity of the germinable seed bank of a high andean forest of the village of El Cofre, municipality of Totoró, Popayán - Cauca

**Viviana
Vélez Murillo**

Ingeniera Forestal,
Universidad del Cauca

viveforestal@gmail.com

**Giovanni
Varona Balcazar**

Departamento de Biología,
Universidad del Cauca

gvarona@unicauca.edu.co

**Diego Jesús
Macías Pinto**

Departamento de Biología,
Universidad del Cauca

djmacias@unicauca.edu.co

Resumen

El presente artículo recoge el estudio sobre la densidad, composición, diversidad y patrón de distribución del banco de semillas germinable (BSG) del suelo a diferentes profundidades, realizado en tres áreas con vegetación contrastante: se tuvo en cuenta la vegetación desde el área abierta, el ecotono, hasta el área boscosa. Se evaluaron muestras de suelo para su germinación mediante el método de plántulas emergentes, en bandejas

germinadoras. La regeneración de selvas y bosques depende en gran medida del potencial del banco de semillas germinables del suelo y del desarrollo exitoso que tengan las plántulas de las especies que en él se encuentren, al resultar rico el estudio en la capacidad que tiene las zonas de conservación de los bosques principales, por tanto, se han analizado las semillas germinables y su diversidad del banco.

Palabras clave:

Ecología, Germinación, Plántulas, Restauración, Suelo.

Keywords:

Ecological, Germination, Seedlings, Restoration, Soil.

Introducción

Este artículo plantea, la importancia de la diversidad del banco de semillas germinable de los bosques alto andinos; pues las semillas que forman parte de estos bancos son una fuente importante de propágulos¹, claves para la vida y el alimento de la flora y fauna de estos relictos² boscosos; partiendo del hecho que a lo largo del tiempo los disturbios en estos ecosistemas son cada vez mayores, y es en el banco de semillas donde encontramos la diversidad genética, para que estos lugares se recuperen de forma más rápida ante un desastre sea antrópico o natural, de los bancos de semillas, se pueden obtener a futuro plántulas mejoradas, como por ejemplo más resistentes a enfermedades, más tolerantes a la sequía o a inundaciones y el aspecto más importante es que a futuro mejoran los rendimientos y la nutrición para alimentar a una creciente población a nivel mundial.

En este estudio se determinó en primer lugar, que se reportan una gran gama de estrategias de regeneración por banco de semillas según su persistencia, “abarcando desde banco de semillas transitorios, con semillas que germinan en el curso de un año desde su dispersión hasta banco de semillas persistente con semillas que permanecen viables en el suelo por más de un año” (Montero y Vargas, 2008).

En segundo lugar, “Los bancos de semillas persistentes se presentan usualmente en lugares sometidos a disturbios, los cuales son frecuentemente característicos de especies pioneras permitiendo a sus poblaciones expandirse temporalmente en lugares donde los recursos (luz, nutrientes y espacio) están disponibles temporalmente” (Ress, 1997).

Por último como afirma Thompson (1986) “Algunos estudios aluden que los bosques sometidos a un régimen de disturbios (Quema, tala) presenta en su banco de semillas una alta proporción de semillas persistentes de especies herbáceas, en contraste con una baja proporción de especies del bosque”. Por consiguiente, para el desarrollo de este análisis es importante plantear la siguiente pregunta: ¿cómo

puede verse afectada la regeneración del bosque en estas circunstancias? y para dar respuesta se debe tener claro que las continuas actividades agrícolas y de ganadería de subsistencia a baja escala, el consumo energético, las prácticas de rosa, la quema para limpieza de potreros y la adecuación de parcelas, constituyen los más representativos factores antrópicos que han acentuado la tala de los bosques y en consecuencia, la transformación del paisaje, que de continuar indiscriminadamente y sin una visión sostenible, generarán incalculables pérdidas de diversidad y extinción de especies autóctonas vitales para mantener la dinámica del ecosistema y la vida en todas sus expresiones a largo plazo.

Por estas razones el interés de este tema se ha centrado en conocer; la regeneración de selvas y bosques que depende en gran medida del potencial del banco de semillas germinables del suelo y del desarrollo exitoso que tengan las plántulas de las especies que en él se encuentren.

La composición del banco de semillas se ve afectada por las condiciones del medio, la historia de la zona, las propiedades del suelo y el tipo de vegetación, sumado a esto, “se tiene que la viabilidad de las semillas puede ser alterada por la acción de microorganismos que se hallan presentes en el suelo” (Pineda, Arredondo & Ibarra, 2007).

El presente trabajo de investigación, plantea como propósito el análisis de la composición, diversidad y densidad del banco de semillas germinable (BSG) del suelo, así como su distribución espacial, identificación e importancia en procesos de restauración ecológica lo cual es importante para comprender la dinámica de los ecosistemas, utilizando el trabajo de campo, así como también el potencial del bosque, y a su vez, al darse la definición de estrategias de sobrevivencia de las especies a lo largo del tiempo; representa, en definitiva, una oportunidad para conocer la posibilidad de que las especies leñosas de una zona se puedan regenerar.

1. Marco teórico

Se recogen en este punto los principales conceptos y las fuentes consultadas, que reflejan los descubrimientos de varios autores que a través de sus investigaciones han hecho su aporte al estudio de la ecología en el presente siglo y que en el transcurrir del tiempo analizan la fortaleza de las semillas y banco de semillas con el fin de identificar las necesidades en medio del deterioro y llevan a descubrir lo importantes que son para futuras reconstrucciones.

1.1 Semilla

“La semilla es el resultado de la transformación del rudimento seminal fecundado; y su forma, así como su estructura dependen de las estrategias de germinación y dispersión que la especie emplea” (Ramírez & Goyes, 2005). Según Dalling, Swaine, y Garwood (1994), la semilla es la estructura típica para la diseminación de las plantas, es la parte más elaborada de la planta, y constituye la razón de ser de su ciclo de vida. “El óvulo fecundado como punto de partida del desarrollo de la semilla marca en gran medida su estructura en estado maduro” (Becerra & Chaparro, 1999). “Normalmente cada planta o fruto posee un solo tipo de semilla, no obstante, es posible encontrar en un mismo fruto o en frutos diversos, pertenecientes a una misma especie, semillas morfológicamente distintas.” (Ramírez & Goyes, 2005)

Externamente, en una semilla se pueden apreciar las siguientes partes:

Hilo: cicatriz oval u oblonga, cerca de la mitad de la semilla y queda en el lugar donde esta se separa del pedicelo o funículo;

Funículo o podosperma: cabillo que une la semilla a la pared del fruto; micrópilo: pequeña abertura en el tegumento de la semilla a un lado del hilo;

Rafe: es un surco colocado al lado del hilo y opuesto al micrópilo.

Mientras que en la estructura interna se distinguen:

Tegumento o cubierta seminal: cubierta externa de la semilla, impermeable reguladora de la humedad interior y protectora contra lesiones y la entrada de parásitos; se forma con los tegumentos del rudimento seminal generalmente es doble;

Tejido nutricio o albumen: tejido almacenador de sustancias nutritivas que acompañan al embrión según su origen se divide en dos; perisperma, tejido diploide que se presenta en algunas plantas, endosperma, se forma en el saco embrional por la fusión del núcleo secundario con uno o más núcleos polares;

El embrión: corresponde a una planta en su estado inicial, se forma por la fecundación de la ovocélula por uno de los núcleos espermáticos, encerrado en la semilla.

1.2 Banco de semillas germinable (BSG)

“Se entiende por banco de semillas germinables al conjunto de semillas viables en el suelo de un hábitat bien enterrado o bien mezclado con la hojarasca y el mantillo de la superficie” (Marañón, 2001). Según la duración de las semillas en el suelo, antes de su germinación y establecimiento, se pueden definir tres tipos de bancos:

- Transitorio (menos de un año, correspondientes a la época de invierno y verano),
- Persistente a corto plazo (entre 1 y 5 años, supone un potencial de regeneración a corto plazo) y
- Persistente a largo plazo (más de 5 años, reserva de semillas, que permite una recuperación del espacio después de una perturbación) (Marañón, 2001).

De acuerdo a lo expresado por Marañón (2001), el funcionamiento del banco de semillas en el suelo

depende de dos mecanismos principales: una vez incorporada al suelo, la semilla debe tener algún mecanismo de dormancia que evita su pronta germinación, pero al mismo tiempo debe ser capaz de detectar las condiciones para germinar. Las semillas con dormancia forzada están dispuestas para germinar, pero permanecen en estado de reposo en el suelo, debido a las condiciones ambientales no adecuadas.

El banco de semillas en el suelo está en constante flujo debido al aporte de semillas, con distribución agregada en el espacio y en el tiempo en su mayor parte el aporte proviene de las plantas próximas, pero también puede provenir de otras lejanas por vía de los agentes dispersores. La salida de semillas desde el banco puede tener diferentes agentes y destino. También puede ocurrir que la semilla germine a bastante profundidad y muera, al no tener reservas suficientes para emerger.

Una de las mayores causas de mortalidad en el banco de semillas es debido a la edad; las semillas enterradas en el suelo, con cierta humedad, pueden mantener activos sus mecanismos de reparación de daños estructurales y genéticos y mantener su viabilidad por largos periodos de tiempo. (Marañón, 1995)

Las semillas del banco del suelo, especialmente las de mayor tamaño, que están en la superficie, sucumbe en grandes cantidades a la predación por parte de aves, roedores, insectos y grandes herbívoros, mientras que las más pequeñas se entierran con facilidad y parece que corren menos riesgos, aunque también pueden ser presa de moluscos, lombrices, hormigas y otros animales del suelo (Thompson, 1986).

Los hongos y bacterias patógenos del suelo, pueden generar una pérdida importante de semillas del banco, ya que estos actúan mediante enzimas, dañando irreversiblemente la cubierta seminal; las grandes perturbaciones, por agentes naturales

episódicos, que afectan a la capa superficial del suelo pueden destruir un número importante de la reserva de semillas de la comunidad. (Ferrandis et al., 1996).



1.3 Distribución vertical del banco de semillas en el suelo

“Las semillas de cada especie se distribuyen de forma irregular en el suelo y exhiben una longevidad característica, razón por la cual,” Teketay & Granstrom citados por Ponce & Montalván (2005), determinaron la profundidad promedio de almacenamiento de las semillas en el suelo para cada especie.

Sus resultados mostraron que “la distribución vertical de las semillas presentaba la más alta densidad en los primeros tres centímetros y gradualmente decrecía a medida que aumenta la profundidad... las semillas de especies de hierbas se almacenaban a profundidades mayores que las semillas de especies de árboles, arbustos y bejucos” (Moreno, 1996). Atendiendo a esta situación, es de resaltar que el banco de semillas del suelo no alcanza grandes profundidades, la mayoría queda a dos o tres centímetros; más allá de diez centímetros se encuentra menos del uno por ciento (1%) de las semillas.

1.4 Relación entre vegetación establecida y banco de semillas

Gran parte de las semillas que germinan y determinan la composición florística de una comunidad vegetal provienen de la vegetación establecida en la zona, otro tanto son incorporadas al suelo por agentes externos, lo que representa un flujo y una dinámica extraordinariamente especial que en general, muestran una relación entre la vegetación y el banco de semillas, escrito por Gámez & White (2009), “la vegetación de un lugar está formada por un componente real y un

componente potencia, la primera representada por los individuos de las especies presentes en el área y la segunda por semillas y propágulos presentes en el suelo”.

No obstante, tras largos estudios Guevara y compañía, citados por Gámez & White (2009), concluyeron que “no existe una relación entre las especies del componente real con las especies del componente potencial”. En los lugares más perturbados la coincidencia es mayor; mientras que en los bosques y en las selvas es mucho menor (Ponce & Montalbán, 2005).

2. Materiales y métodos

El estudio de campo se llevó a cabo en la vereda El Cofre, la cual se encuentra ubicada hacia la parte central del municipio de Totoró en la zona suburbana, haciendo parte del resguardo indígena del mismo nombre.

El municipio de Totoró se encuentra situado al sur occidente de Colombia, en la zona Oriental del

Departamento del Cauca, su cabecera municipal está a una altitud de 2.750 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media de 14 grados Centígrados, entre los 2° 38' de latitud norte y 76° 15' longitud Oeste (figura 2). El bosque objeto de estudio se encuentra ubicado a una altura de 3200 msnm, con unas coordenadas geográficas N 20° 31' 42" y W 76° 20' 53"

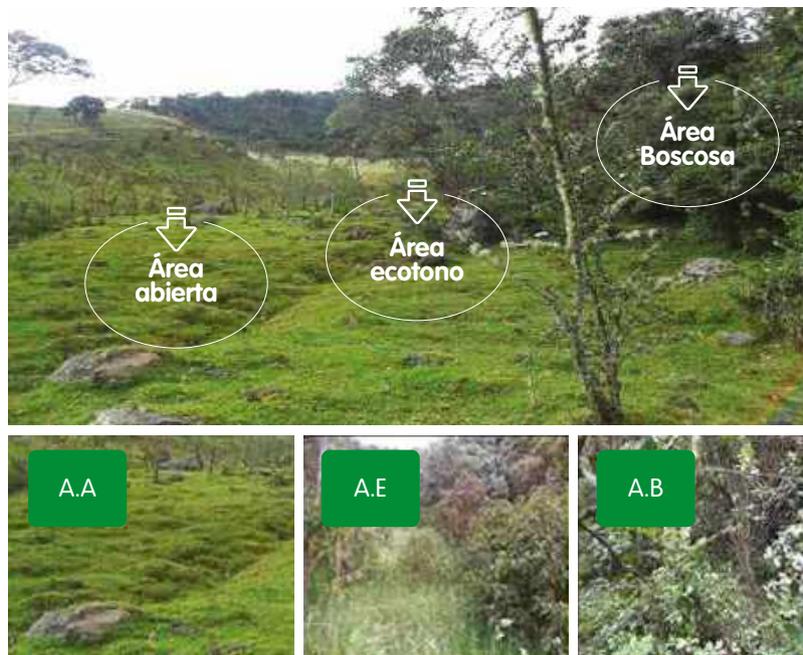


Figura 1. Sitio seleccionado para el estudio, con sus áreas correspondientes AA abierta, AE ecotono y AB boscosa.

En las tres áreas de estudio previamente elegidas (figura 1: área abierta identificada como (A), área de ecotono identificada como (E) e interior del bosque identificada como (B)) para el análisis se procedió a tomar las muestras de suelo a lo largo de un transecto en forma de (Z) y 45 metros de longitud, con un ángulo de 45° (figura 2), el primer transecto se ubicó en la zona abierta, el segundo transecto en zona comprendida entre la abierta y el bosque, y el último transecto en la zona de boscosa³.

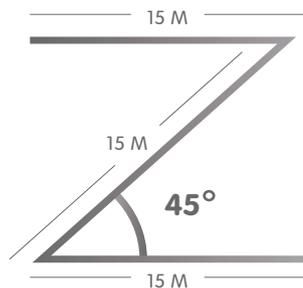


Figura 2. Diseño del transecto para la toma de las muestras de suelo en las secciones de bosque elegidas.

Cada 3 metros haciendo un cuadrado de 20 por 20 cm con un palín, siguiendo la metodología usada por López³, se tomó y dividió la muestra de suelo en tres fracciones: 0 a 4 cm de profundidad (banco de semillas transitorio), 4 a 8 cm (banco de semillas persistente a corto plazo) y 8 a 12 cm (banco de semillas persistente a largo plazo), (figura 3). Se retiró el fragmento del suelo utilizando un palustre, hasta la profundidad requerida que fue previamente medida y marcada en el palín.

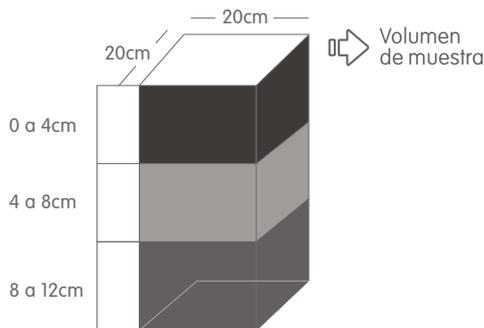


Figura 3. Método de muestreo utilizado para el estudio del banco de semillas.

El volumen de suelo en cada punto de muestreo es de (4800 cm³ por punto de muestreo) se transportó

hasta el laboratorio de la Universidad del Cauca en bolsas plásticas debidamente etiquetadas. Se utilizó una adaptación del método de conteo directo empleado por Cárdenas.⁴ Inicialmente, se contaron las plántulas germinadas en los diferentes estratos (superficial, medio, profundo) de cada zona; seguidamente, se trasplantó el material germinado para su futura identificación.

La composición del banco de semillas, se evaluó a través de dos medidas para estimar la diversidad (abundancia y densidad); la densidad de cada banco se obtuvo dividiendo la abundancia absoluta de las semillas sobre el área de la unidad muestra de cada uno de los bancos en cada sección de bosque y la abundancia relativa se calculó dividiendo la abundancia absoluta de cada especie sobre el total de semillas del banco de cada sección analizada.

2.1 Diversidad del banco de semillas

“Para establecer la diversidad del banco de semillas se empleó un índice de similitud cualitativo que mide la diversidad beta, el cual expresa el grado en que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas” (Moreno, 2001), este factor es denominado índice de Sorensen, el cual es útil para realizar comparaciones al relacionar el número de especies en común con la media aritmética de las especies en ambos sitios.

De igual forma se aplicó el índice de diversidad alfa de Shannon-Weaver adaptado en Ponce & Montalbán⁵ para medir riqueza de semillas en cada sección analizada. El patrón de distribución, Tabla 1, se determinó registrando la abundancia de semillas para los tres bancos de semillas.

Banco de semillas transitorio (de 0 a 4 cm de profundidad)	=	Abundancia de semillas
Banco de semillas persistente a corto plazo (de 4 a 8 cm)	=	Abundancia de semillas
Banco de semillas persistente a largo plazo (de 8 a 12 cm)	=	Abundancia de semillas

Tabla 1. Patrón de distribución.

3. Resultados y discusión

3.1 Composición del banco de semillas germinable (bsg)

Al efectuar el conteo de las semillas en las muestras de suelo de las tres áreas (abierta, ecotono y bosque) se encontró que no existieron diferencias significativas (Sig.0.05) entre estas. El promedio para el área de ecotono fue la más alta con (511.67), seguido del bosque con (441.67) y para el área abierta con (301.33). Es notable que en el ecotono hubo una alta variabilidad con respecto a las otras dos áreas ya que sus valores máximo y mínimo así lo indican (figura 4).

La abundancia de semillas germinadas, en el área abierta fue de 904 ,en el área de ecotono de 1535 y en el área boscosa 1325 semillas (figura 5); contrario al experimento de germinación de Haretche⁶, realizado en una pradera natural en dos parcelas sometidas a tratamientos diferentes, una con pastoreo y otra con exclusión de pastoreo, que reveló en total la presencia de 411 semillas,

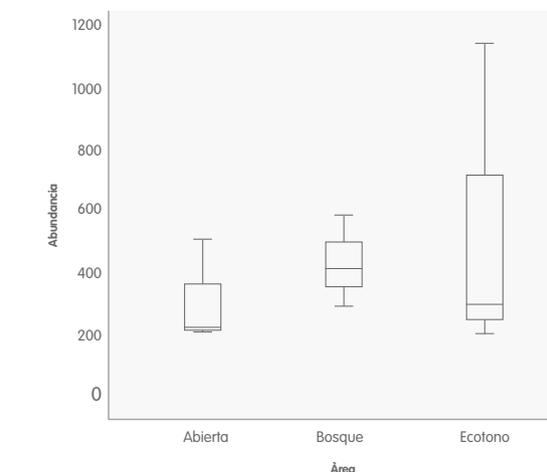


Figura 4. Abundancia promedio de individuos registrados en cada área (abierta, ecotono y bosque).

245 en la parcela pastoreada y 166 en la parcela excluida, por lo que el número total de semillas de la primera fue aproximadamente 50% mayor que en la exclusión.

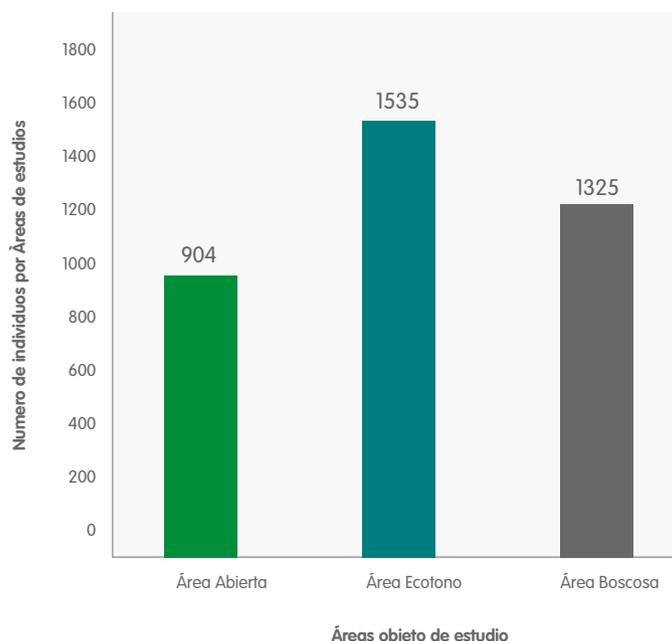


Figura 5. Total, de individuos presentes en los tres tipos de áreas.

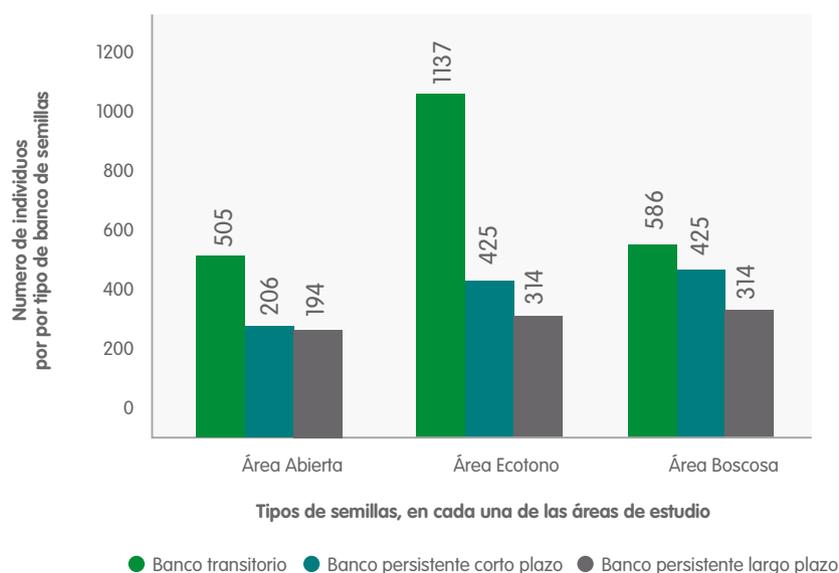


Figura 6. Total, de individuos presentes para los tres tipos de bancos en las tres áreas de estudio.

En la figura 6, es notable que el banco transitorio de las áreas (abierta, ecotono y boscosa), presentan una mayor cantidad de individuos, siendo el área de ecotono la mayor representada con 1137 individuos. En los bancos persistentes a corto y largo plazo el área boscosa contiene un número de individuos de 425 y 314 respectivamente.

3.2 Diversidad del banco de semillas

La riqueza de especies mostro diferencias significativas (Sig 0.006) entre las tres áreas (Abierta, ecotono y bosque), reportándose el mayor valor en el bosque con 7.33 especies en promedio. Entre tanto, para los tres niveles del suelo analizados (superficial, medio y profundo), no se encontraron diferencias significativas (Sig 0.230), sin embargo, la abundancia muestra una diferencia significativa con respecto a los niveles de suelo (Sig 0.049), ya que se ve directamente afectada por los mismos.

Para las familias identificadas en la zona abierta se tiene que la más abundante es la Oxalidaceae y la menos abundante la Rosaceae. En el área de ecotono al igual que en el área abierta se tiene que la familia más abundante fue la Oxalidaceae a diferencia de que las tres familias

menos abundantes fueron: Rubiaceae, Rosaceae, Asteraceae.

El área boscosa presentó un total de 13 familias botánicas, lo cual representa un valor mayor en relación a el área abierta representada por 6 familias y el ecotono con 6 familias, resaltando de igual manera que la familia Oxalidaceae (3134 individuos) es predominante en relación a otras familias como Poaceae (213 individuos), Rubiaceae (60 individuos), Rosaceae (35 individuos), Apiaceae (86 individuos), Phyllanthaceae (1 individuo), Solanaceae (5 individuos), Malvaceae (2 individuos), Ericaceae (1 individuo), Fabaceae (1 individuo), Euphorbiaceae (11 individuos), Urticaceae (130 individuos), Asteraceae (85 individuos) aunque en esta zona se identificó que un mayor número de familias esta se ven representadas por una baja abundancia.

La diversidad beta del banco de semillas medida a través del coeficiente de Sorensen, dio como resultado un 77% para el área abierta y de ecotono (ZA-ZE), un 57% para las áreas de ecotono y bosque (ZE-ZB) y un 60% para las áreas abierta y boscosa (ZA-ZB), lo que indica que las áreas abierta y de ecotono son muy similares en cuanto a composición



de especies, diferente a las áreas ecotono-bosque y abierta-bosque ya que indican un índice de similitud más bajo por cuanto estas áreas difieren en la composición de especies.

Por tanto, para las áreas abierta y de ecotono se tendría un suficiente potencial genético para recuperar la diversidad perdida de sitios degradados de este tipo de ecosistema, en relativamente poco tiempo a través de la sucesión vegetal, según lo planteado por Cardona & Vargas (2004).

Asimismo, la diversidad alfa del banco de semillas obtenida para cada zona objeto de estudio a través del índice de Shannon dio como resultado una diversidad de 0,7 en la zona abierta, lo cual resulto menor en comparación con las zonas de ecotono y boscosa que es igual a 0,8.

A su vez, el índice para el banco transitorio, banco persistente a corto plazo y el banco persistente a

largo plazo en la zona abierta es igual a 0,6- 0,8 y 0,6 respectivamente; para los bancos transitorio, persistente a corto plazo y persistente a largo plazo de las áreas de ecotono y boscosa los índices respectivos fueron: 0,6-0,6-0,8 para el ecotono y 0,7-0,5-0,8 para el bosque.

El valor de diversidad estimado para el área abierta mostró una diversidad intermedia se puede de igual manera establecer que las zonas perturbadas son las que presentan mayor cantidad de semillas y mayor riqueza florística que el área de control o zona boscosa, siendo el área desbrozada (sometida a doble perturbación), la que mayor cantidad de semillas presenta (2217,50 semillas/m²) y mayor número de especies o riqueza florística (42), seguida de la incendiada (543,33 semillas/m² y 28 especies).

Tal como lo confirman Piudo y Caverro (2005), las perturbaciones favorecen al mayor contenido de semillas.

La diversidad del banco de semillas indica que las zonas abiertas y de ecotono son muy similares en cuanto a composición de especies, lo cual coincide con lo planteado por Cardona & Vargas (2004), quienes afirman "que se tendría el suficiente potencial genético para recuperar la diversidad perdida de sitios degradados de este tipo de ecosistema, en relativamente poco tiempo a través de la sucesión vegetal."⁷

Moreno (1996) concluye que en general, aquellos ambientes que frecuentemente son perturbados, ya sea por el hombre (cultivos) o por causas naturales, presentan bancos con gran cantidad de semillas. Cuando hay una perturbación que destruye la vegetación, la única forma de que la especie perdure en el sitio es estando presente, por ejemplo, en el banco de semillas. De esa manera, en el momento en que se abren huecos hay semillas que detectan el cambio de condiciones y que con poca humedad pueden germinar.

En cuanto a la composición y diversidad del banco de semillas germinable (BSG). La vegetación de los alrededores de la zona objeto de estudio tiene una historia importante debido al uso y transformación antrópica que incluye tala de la comunidad original para uso extensivo y continuo de ganadería y agricultura.

El origen del Banco de semillas es el resultado de esta larga historia de uso y transformación principalmente debido a que a mediados del siglo XIX la producción agrícola se convirtió en la actividad principal de la zona.

La escasa presencia de especies propias del ecosistema de bosque alto andino en el BSG del área de estudio, refleja la pérdida de biodiversidad

debido a la influencia de los cultivos que se han venido realizando en la zona, se han adelantado estudios como por ejemplo el de Escobedo y compañía.⁸, en donde se observan especies representativas del bosque alto andino, contrario a este estudio en donde se manifiestan en mayor proporción hierbas y arbustos.

La transformación humana ha favorecido los sucesos de invasión de las especies foráneas de la zona guiando los ecosistemas originales hacia nuevos ambientes. La intensa y prolongada alteración antrópica a la que ha estado sometida la región, ha dejado extensas áreas prácticamente sin relictos boscosos de vegetación original, limitando los procesos de regeneración natural al no existir fuentes de propágulos nativos, disminuyendo el conjunto de especies posibles sobre las que se reconstruiría la comunidad (Escobedo, Sánchez, y Pal, 2007).

Estos factores, sumados a la ausencia de aporte por lluvia de semillas nativas debido al alto grado de fragmentación, han impedido los procesos de enriquecimiento de los bancos de semillas del área de estudio.

La entrada de semillas a un ambiente está determinada por la lluvia de semillas, la cual es influenciada por la fenología de las especies y su producción estacional de las semillas. La degradación de un ecosistema disminuye la disponibilidad de semillas y consecuentemente, la calidad ambiental de un área (Martínez-Ramos & Soto-Castro, 1993).

Conclusiones

Las tres zonas objeto de estudio (abierta, ecotono y boscosa) exhiben los tres tipos de bancos de semillas, banco transitorio, persistente a corto y largo plazo.

El área abierta, de ecotono y boscosa presentan en su banco transitorio 505, 1137, y 586 individuos por m² respectivamente, en su banco permanente a corto plazo 206, 246 y 425 individuos, el banco permanente a largo plazo presentó 193 individuos para la zona abierta, 152 para la zona de ecotono y 314 para la zona de bosque.

La zona de ecotono presenta el mayor número de individuos en su banco transitorio con un total de 1137, en comparación a la zona de bosque con 586 y a la zona abierta con 505.

La zona boscosa presenta el banco persistente a corto y largo plazo más abundante con 425 y 314 individuos respectivamente.

La abundancia de semillas en el banco es inversamente proporcional con la profundidad del

suelo; el banco de semillas transitorio presentó un total de 2228 individuos, el banco persistente a corto plazo 877 y el banco persistente a largo plazo 659 semillas germinadas.

La diferencia no es significativa en cuanto a la composición y diversidad del banco de semillas de las tres zonas objeto de estudio; ya que las especies identificadas en su gran mayoría son comunes en los tres espacios.

La composición de especies del banco de semillas de las zonas estudiadas, no refleja la composición actual de la vegetación arbustiva aledaña a las tres zonas (abierta, ecotono y boscosa), por cuanto no muestra un potencial favorable para la restauración en caso de que se manifieste algún disturbio.

El banco de semillas germinable (BSG) tuvo una mayor dinámica en cuanto a la abundancia en el periodo que coincide con las épocas de mayor precipitación, debido a que la mayoría de semillas ya han sido dispersadas y se encuentran en el suelo dispuestas a germinar.

Notas al final

¹ Tipo de germen, parte o estructura de un organismo, producido sexual o asexualmente capaz de desarrollarse de manera separada para dar lugar a un organismo idéntico al que lo formó. Del latín propagulum pueden ser multicelulares como las yemas, bulbos, tubérculos, semillas, o unicelulares como las esporas en otros. En el reino vegetal junto a las semillas encontramos la reproducción vegetativa, por la que se obtienen nuevas plantas y órganos individualizados. Existen los estolones, los rizomas los tubérculos y los bulbos como propágulos más importantes.

² Los relictos son las estructuras minerales de un material rocoso que no se ha metamorfozeado o destruido, es decir, siendo los remanentes supervivientes de asociaciones biológicas, o a especies vivas, con una distribución muy reducida por causas naturales, comparada con la que anteriormente tuvieron. Hoy muchas especies en peligro de extinción han sido convertidas en relictas por el ser humano.

³ Basado en los mecanismos que toman parte en el proceso de la sucesión secundaria y en qué medida determinan la confirmación de la comunidad vegetal en términos de estructura y composición específica. Concretamente se analiza la respuesta de la vegetación a nivel de toda la comunidad tras una severa roturación del suelo, López, 2003. Sucesión vegetal secundaria: aspectos ecológicos y funcionales.

⁴ Basado en la metodología para hacer estudios de bancos de semillas del autor Cárdenas, llamada: Banco de semillas germinable de una comunidad vegetal de paramo húmedo sometida a quema y pastoreo (Parque Nacional Natural Chingaza, Colombia).

⁵ Tomado de la metodología para la evaluación del banco de semillas del suelo en tres sitios en diferentes estados sucesionales en un bosque seco secundario en Nandarola, Nandaime, Granada de los autores Ponce y Montalbán 2005.

⁶ Basado en el modelo de restauración ecológica como alternativa para la reforestación (Estudio del banco de semillas de una pradera natural bajo diferentes condiciones de pastoreo) del autor Haretche, 2002.

⁷ Se llama sucesión ecológica o sucesión natural a la sustitución natural de los taxones que integran un ecosistema por otros, como producto de su propia dinámica interna. El término alude a la evolución del ecosistema, a su aspecto esencial en la sustitución, a lo largo del tiempo, de unas especies por otras. Se llama sucesión primaria a la que arranca en un terreno desnudo, exento de vida, es decir, es aquella que se desarrolla en una zona carente de comunidad preexistente, (que se inicia en un biotopo virgen, que no ha sido ocupado previamente por otras comunidades, como ocurre en las dunas, nuevas islas, etc.) Se llama sucesión secundaria a la que se produce después de una perturbación importante, es decir, que es aquella que se establece sobre una comunidad ya existente que ha sido eliminada por incendio, inundación, enfermedad, talas de bosques, cultivo, etc. Estos reinician la sucesión, pero a partir de condiciones especiales, en las que suelen ocupar un lugar especies muy adaptadas a este tipo de perturbaciones, como las plantas que por ellos llamamos pirófitas.

⁸ Tomado de la metodología de métodos de análisis de tejidos vegetales, del autor Mora, 2007.

Referencias

- Becerra N. y Chaparro, M. (1999). *Morfología y Anatomía Vegetal*. Universidad Nacional de Colombia.
- Cardona, A. y Vargas, O (2004). El banco de semillas germinable de especies leñosas en dos bosques subandinos y su importancia para la restauración ecológica (reserva biológica Cachalú - Santander. Colombia). *Colombia forestal*, 8(17). 60-74.
- Dalling, J.; Swaine, M. y Garwood, N. (1994). Effect of soil depth on seedling emergence in tropical soil seed – bank investigations. *Functional ecology*. 9(1). 119-121.
- Escobedo, A. Sanchez, E. y Pal, U. (2007). Use of diffuse reflectance spectroscopy for optical characterization of un-supported nanostructures. *Revista mexicana de física*, 53(5). 18-22.

- Ferrandis, P., Herranz, J. Martínez, J. (1996). The role of soil seed bank in the early stages of plant recovery after fire in a pinus pinaster forest in SE Spain. *International journal of woodland fire*, 6. 31-35.
- Gámez, S. y White, W. (2009). Evaluación del banco de semillas del suelo de tres comunidades vegetales del parque ecológico municipal cerro Canta Gallo, Condega, Estelí, Nicaragua. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria) Repositorio UNA.
- Marañón, T. (2001). Ecología de banco de semillas y dinámica de comunidades mediterráneas. En: Zmora R. y Pugnaire, I.(Ed.) *Ecosistemas mediterráneos: análisis funcional*. CSIS/AEET.
- Marañón, T. (1995). Ecología de los bancos de semilla en el suelo: una revisión de estudios españoles. *Revista Pastos*, 25(1). 3-25.
- Martínez, M. y Soto, A. (1993). Frugivory and seed dispersal: ecological and evolutionary aspects of regeneration of closed-canopied sites in the tropical rain forest, México.
- Montero, L. y Vargas, O. (2008). Caracterización de bordes de bosque altoandino e implicaciones para la restauración ecológica. *Revista biología tropical*, 56(3). 1543-1556.
- Pineda, F., Arredondo, L. & Ibarra, G. (2007). Richness and diversity of woody species in the tropical dry forest of El Tarimo, cuenca del Balsas, Guerrero. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78(1). 129 -139.
- Moreno, P. (1996). *Vida y obra de granos y semillas*. Fondo de cultura económica.
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T–Manuales y Tesis SEA.
- Ponce, L. y Montalbán, H. (2005). Evaluación del banco de semillas del suelo en tres sitios en diferentes estados sucesionales en un bosque seco secundario en Nandarola, Nandaime, Granada. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria) Repositorio UNA.
- Piudo, J. y Cavero, R. (2005). Banco de semillas: comparación de metodologías de extracción, de densidad y de profundidad de muestreo. *Rev- Serie Botánica*, 16. 71-85.
- Ramírez, B. y Goyes, R. (2005). *Botánica generalidades, morfología y anatomía de las plantas superiores*. Universidad del Cauca.
- Rens, M. (1997) Evolutionary ecology of seed dormancy and seed size. *Cambridge University press, Plant Life Histories*, 121-142.
- Thompson, K. (1986). Small-scale heterogeneity in the seed bank of an acid grassland. *Journal of ecology*, 74(3). 733-738.

Cómo citar este artículo:

Vélez, V., Varona, G. y Macías, D. (2021). Diversidad del banco de semillas germinable de un bosque alto andino de la vereda El Cofre, municipio de Totoró, Popayán – Cauca. *Revista EPM*, (17). 84-97.



Implementación de un sistema de drenaje sostenible y flexible en una cuenca urbana en expansión del Valle de Aburrá

Implementation of a sustainable and flexible drainage system in an expanding urban watershed of Valle de Aburrá

**Alejandro
Franco Botero**

Unidad Gestión Infraestructura A&S, EPM

alejandro.franco@epm.com.co

Resumen

Los sistemas de drenaje sostenibles son infraestructuras que complementan las redes de alcantarillado que opera EPM, permiten gestionar las aguas lluvias en su origen de una manera similar a la que se produce en las cuencas naturales y son elementos flexibles que se adaptan a nuevas condiciones climáticas y del entorno, ayudan a mitigar los efectos del cambio climático y a mejorar el urbanismo en las ciudades.

En este artículo se presenta un caso de aplicación en la cuenca urbana en expansión del Municipio de La Estrella en Antioquia. Para ello se construye el modelo hidrodinámico de las

redes de alcantarillado, se seleccionan y diseñan las infraestructuras con mejor desempeño, se distribuyen estos elementos en las subcuencas; y utilizando algoritmos genéticos multiobjetivo se determinan las combinaciones óptimas de cantidad y distribución de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible, SuDS que producen la mayor disminución de los caudales pico de escorrentía con el menor costo de construcción, operación y mantenimiento. Se plantean escenarios e indicadores que permiten evaluar el efecto de la intensidad de la lluvia, el crecimiento urbano y el desempeño de las infraestructuras de drenaje sostenible.

Palabras clave:

Sistemas de drenaje urbano sostenible (SuDS), Algoritmos genéticos, Escorrentía, Modelo hidrodinámico, Optimización.

Keywords:

Sustainable urban drainage systems (SuDS), Genetic algorithms, Runoff, Hydrodynamic model, Optimization.

Introducción

Con el crecimiento urbano que presenta el área metropolitana del Valle de Aburrá, que se da de la parte baja de las cuencas hacia la parte alta, se presentan cambios significativos en el ciclo hidrológico, que implican aumentos importantes en la cantidad de agua de escorrentía, y que impactan negativamente la infraestructura de drenaje y las fuentes hídricas receptoras. El incremento en los caudales de escorrentía causa rebosamiento en los sistemas de alcantarillado, desbordamiento de los ríos y quebradas en puntos críticos e inundaciones en las ciudades con efectos económicos y sociales negativos para sus habitantes.

Para enfrentar esta problemática, EPM tradicionalmente ha implementado soluciones basadas en la construcción de sistemas de alcantarillado de mayor capacidad, lo cual implica inversiones económicas importantes. Aunque estas intervenciones generan una solución de drenaje en zonas puntuales, no son una solución integral si se tiene en cuenta todo el ciclo de drenaje urbano; ya que se impactan las redes de alcantarillado aguas abajo y las fuentes superficiales.

Teniendo en cuenta el desarrollo económico de la región y la dinámica de construcción y crecimiento urbano que está teniendo la ciudad; se plantea la problemática de cómo se debe planear y desarrollar la infraestructura de drenaje urbano que tiene la ciudad actualmente y la que requiere las zonas de expansión, para tener un crecimiento sostenible que tenga en cuenta todos los elementos de la cadena del drenaje urbano, disminuyendo al máximo posible las inundaciones en las partes bajas, optimizando la inversión económica y con la menor afectación posible a las infraestructuras de alcantarillado y los cauces naturales receptores.

Para enfrentar esta problemática, a nivel mundial el enfoque está cambiando hacia una gestión del drenaje urbano integral y sostenible que se basa en medidas descentralizadas que dan preferencia a la gestión de escorrentía en la fuente y que

ofrecen flexibilidad para adaptarse a condiciones climáticas cambiantes y a la dinámica urbana. Estas medidas se enfocan en el uso de sistemas de drenaje urbano sostenible (SuDS) o mejores prácticas de gestión (BMPs), las cuales buscan administrar la escorrentía para que sea similar al régimen hidrológico que tiene la cuenca antes de la urbanización.

Este trabajo busca, por medio de la modelación hidrodinámica, tener un acercamiento a la manera más eficiente de implementar infraestructuras de drenaje urbano sostenible en la cuenca urbana del Municipio de La Estrella. Para lograr este objetivo se construye el modelo hidrodinámico con las áreas tributarias y redes de alcantarillado, se seleccionan las infraestructuras de drenaje que tienen un mejor desempeño y se realiza un proceso de optimización con algoritmos genéticos. Éste permite evaluar múltiples escenarios de cantidad y distribución de las infraestructuras de drenaje en el área de la cuenca; determinar su impacto en la reducción de rebosamiento en el sistema de alcantarillado y los costos de implementación; para finalmente, conocer las configuraciones que tienen un mayor impacto en la reducción de inundaciones al menor costo.

La implementación de sistemas de reciclaje de agua permite utilizar el agua lluvia para riego, aseo, procesos industriales, etc. lo cual disminuye la demanda sobre el sistema de acueducto. Esta iniciativa se alinea con los focos de innovación de EPM: soluciones escalables de aguas residuales (clientes industriales y distribuidos) y con la gestión sostenible de fuentes de agua para garantizar el suministro.

Este trabajo lo realizó el autor como investigación de tesis para la Maestría en Ingeniería - Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia, con codirección del Institute for Water Education IHE-Delft de Países Bajos en el año 2018. El nombre de la tesis es "Definición de un procedimiento para la planeación de sistemas de drenaje sostenibles

y flexibles en cuencas urbanas en expansión". El documento completo se puede descargar en la

biblioteca virtual de la Universidad Nacional.

1. Objetivos

Realizar una evaluación del sistema de alcantarillado del Municipio de La Estrella, bajo diferentes condiciones de intensidad de lluvia y determinar cómo se impacatará con la expansión futura del territorio urbano.

Seleccionar las infraestructuras de drenaje sostenible que tienen mejor desempeño, de acuerdo con las condiciones locales y determinar los parámetros

de diseño y los costos de construcción, operación y mantenimiento.

Evaluar el impacto en reducción de inundaciones y el costo asociado, de la implementación de infraestructuras de drenaje sostenibles; utilizando un modelo hidrodinámico que integre optimización con algoritmo genético y que permita evaluar múltiples escenarios.

2. Metodología

El desarrollo de este trabajo se realiza en las siguientes etapas:

2.1 Construcción del modelo hidráulico e hidrológico

El modelo hidráulico se construye utilizando diferentes fuentes de información. Las redes de alcantarillado (tuberías, cámaras y aliviaderos) se toman del sistema de información de redes de EPM, esta información se complementa con medidas en campo de la geometría interna de todos los aliviaderos de la cuenca. El modelo hidrodinámico se construye a partir de las tuberías principales de la red de alcantarillado (diámetro mayor o igual a 400mm). Para la construcción del modelo se utiliza el software Epaswmm desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

La modelación hidrológica se realiza a partir de las áreas tributarias, que se delimitan con el sistema de información geográfico ArcGIS, se define un modelo lluvia escorrentía y con el uso de fotos satelitales se definen los parámetros de porcentaje de impermeabilidad y número de curva del método Soil Conservation Service. Se genera una lluvia de diseño con un período de retorno de 5 años,

utilizando curvas intensidad-duración-frecuencia y se evaluarán eventos históricos representativos. Este período de retorno permite conocer el comportamiento del sistema en condiciones máximas, ya que es el que se utiliza para el diseño de las redes.

Se realiza calibración y validación de los modelos hidráulicos e hidrológicos utilizando la información de registros de lluvias del Sistema de Alertas Tempranas de Valle de Aburrá - SIATA y de caudales medidos en la red de instrumentación de EPM.

Se construye un escenario que incluye las áreas de expansión urbana de la parte alta, de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de La Estrella del año 2008 y se asocian los parámetros hidrológicos estimados y el punto de conexión a la red de alcantarillado existente.

2.2 Indicadores de desempeño

Para evaluar de manera global y objetiva el desempeño del sistema de drenaje bajo la condición actual y con expansión de la ciudad y los escenarios con implementación de sistemas de drenaje sostenible; se definen indicadores

de desempeño que se calculan a partir de los resultados del modelo hidráulico. Estos indicadores presentan de manera resumida el impacto de las infraestructuras de drenaje sostenible en las subcuencas, medido en términos de cantidad de caudal. En este trabajo se presentan de una manera normalizada los caudales de sobreflujo que tiene el sistema de alcantarillado, el volumen de lluvia que se convierte en escorrentía y la relación entre caudales máximos y promedio de escorrentía.

2.3 Selección y modelación de los SuDS

Se consultan manuales, guías e investigaciones internacionales relacionados con la implementación, diseño y efectividad de SuDS. Con base en esta información se seleccionarán los sistemas de drenaje sostenibles (SuDS) más eficientes para las condiciones locales, se definen los parámetros para su modelación y realización de un diseño de detalle que incluye el cálculo de los costos de construcción, operación y mantenimiento.

También se revisan experiencias internacionales en la implementación de estos sistemas como los registrados por el Instituto IHE-Delft y la organización Urban Green – Blue Grids.

2.4 Optimización

Se utilizan algoritmos genéticos para generar un proceso de optimización, el cual tendrá como

funciones objetivo la disminución de caudales pico de escorrentía y minimizar el costo de construcción. Para esto se utiliza un código que permita generar múltiples escenarios de infraestructuras de drenaje e interactuar con el software de modelación hidrodinámico (Epaswmm), de acuerdo con la metodología planetada en los artículos de Alves y Sanchez (2016) y 2.

En este trabajo se utiliza un código en lenguaje Pascal escrito en el software Lazarous que ha sido desarrollado por el grupo de investigación Urban Water Systems del IHE-Delft en Holanda. El código utiliza el algoritmo NSGA-II presentado por Deb (2002) y está programado para comunicarse con Epaswmm.

2.5 Análisis de resultados

Se valida y compara el valor de los indicadores de desempeño para los casos de la cuenca actual y con expansión urbana, para los casos sin SuDS y con la cantidad máxima de SuDS. Se revisa cuáles son los puntos de la red que tienen problemas de capacidad hidráulica y que están presentando sobreflujo. Se analizarán los resultados de la optimización en cuanto a la efectividad para la reducción de escorrentía, la diversidad de las soluciones y la variación de los resultados para diferentes escenarios. Se evaluará el impacto del crecimiento urbano en el sistema de drenaje actual y cómo se mitiga este efecto con el uso de SuDS.

3. Resultados y análisis

3.1 Modelo hidrodinámico

En la figura se presenta el modelo hidráulico e hidrológico construido en EPAswmm. Las tuberías en líneas de colores, las cámaras como puntos,

los alivaderos con el texto ALIV y los polígonos representan las subcuencas o áreas tributarias. Las subcuencas grandes de la parte izquierda son las cuencas de expansión urbana.

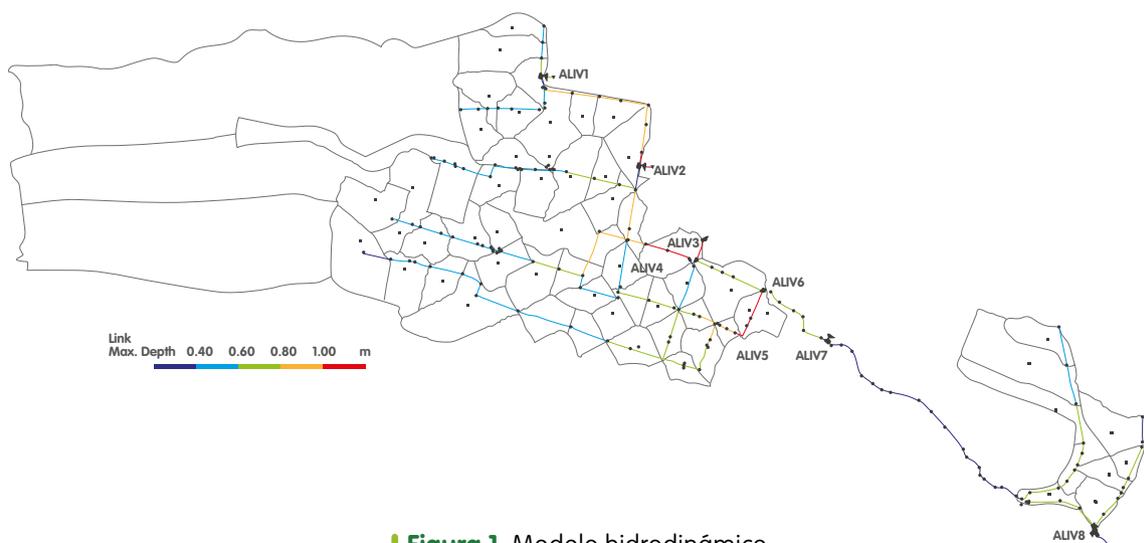


Figura 1. Modelo hidrodinámico.

3.2 Sistemas de drenaje sostenible seleccionados

Se realiza una preselección de los SuDS que físicamente es posible construir en la cuenca de estudio. Éstos se evalúan teniendo en cuenta

las metodologías publicadas en la literatura especializada. Este procedimiento se realiza dando un punto al SuDS, si es recomendado por la metodología. En la tabla 1, se presentan los resultados.

Tipo	Siting tool3	US-EPA4	UFCD5	Ciria6	PEARL7	Total
Celdas de bio-retención	1		1	1	1	4
Jardines de lluvia					1	1
Techos verdes	1	1	1		1	4
Zanjas de infiltración				1	1	2
Pavimentos permeables			1	1	1	3
Almacenamiento lluvia	1	1		1	1	4
Desconexión de techos						0
Zanjas con vegetación	1		1	1	1	4
Estanques	1			1		2
Filtros de arena	1					1
Árboles				1		1

Tabla 1. Selección de SuDS.

Para realizar la selección se toman los SuDS con puntajes de 3 o 4, se revisa la viabilidad constructiva de acuerdo a las condiciones locales. Se define implementar las celdas de bioretención, los pavimentos permeables y el reciclaje de agua. Se realiza un diseño básico de cada una de las infraestructuras a

implementar, los cuales son a nivel de planeación y tienen por objetivo tener los parámetros que requiere el modelo SWMM para la modelación. La unidad de celda de bioretención se define de 3m de largo; mientras que la unidad de pavimento permeable se define de 7m de ancho y 10 m de longitud.

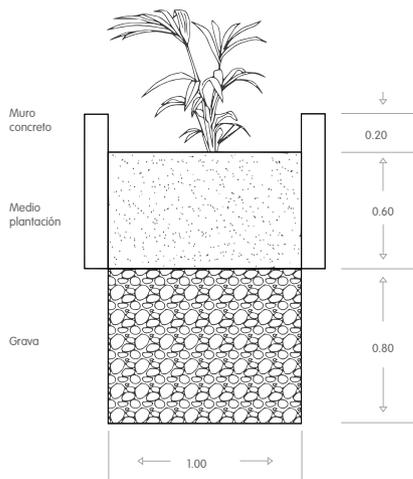


Figura 2. Diseño celdas de bioretención.

Para determinar los costos de construcción de cada tipo de infraestructura se utiliza los ítems más relevantes en la construcción y los costos de operación y mantenimiento, usando un ciclo de vida de 20 años y una tasa de inflación de 3.66% para calcular el valor presente neto. Los precios son calculados al año 2018.

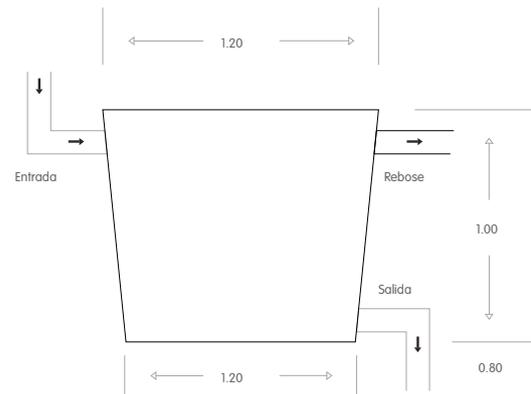


Figura 3. Diseño almacenamiento lluvia.

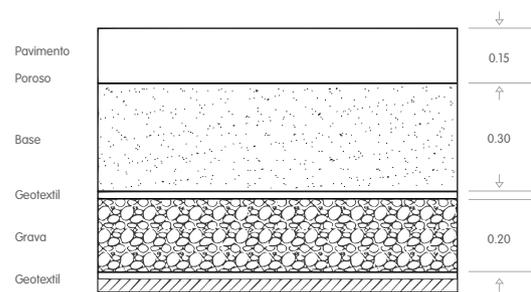


Figura 4. Diseño celdas de bioretención.

Celdas de bioretención		
Costo por m2	131,43	USD/m2
Área de una unidad	6	m2
Costo por unidad	789	USD/unidad
Tanques de almacenamientos		
Costo por unidad	344	USD/unidad
Pavimentos porosos		
Costo por m2	88,49	USD/m2
Área de una unidad	70	m2
Costo por unidad	6194	USD/unidad

Tabla 2. Costos unitarios SuDS seleccionados.

3.3 Definición de indicadores de desempeño

Se proponen tres indicadores que serán utilizados para esta investigación, los tres están relacionados con la cantidad de agua, dos se miden en las subcuencas y uno en el sistema de transporte.

3.3.1 Coeficiente de escorrentía

El objetivo es conocer el porcentaje de la precipitación que se vuelve escorrentía superficial. Se calcula en las subcuencas. Permite conocer el impacto de los SuDS en aumentar la infiltración y el encharcamiento.

$$CE = \frac{\sum_{i=1}^n Ve_i}{\sum_{i=1}^n Vll_i}$$

Donde:

Ve_i : Volumen escorrentía subcuenca i [m3]

Vll_i : Volumen lluvia subcuenca i [m3]

n: número total de subcuencas

El valor máximo de este indicador es uno (para el caso de que no se implementen SuDS); el valor mínimo es cero, caso que se daría para lluvias que no generen escorrentía (todo el caudal se infiltra, acumula o se queda en los SuDS)

3.3.2 Coeficiente de transporte

El objetivo es medir la capacidad de la red para transportar el caudal que recibe. Relaciona el volumen que sale del sistema por sobreflujo en las cámaras, con el volumen total de escorrentía.

$$CT = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k Vs_i}{\sum_{i=1}^n Ve_i}$$

Donde:

Vs_i : Volumen sobreflujo cámara i [m3]

Ve_i : Volumen escorrentía subcuenca i [m3]

K: número total de cámaras

n: número total de subcuencas

El valor mínimo del indicador es cero (cuando toda la red tiene capacidad hidráulica y no se presenta sobreflujo en ninguna cámara) y el valor máximo es uno (cuando todo el caudal sale por las cámaras).

3.3.3 Coeficiente amortiguación

Mide la relación entre el caudal pico y el caudal promedio de la escorrentía en las subcuencas. Esto permite evaluar la capacidad de los SuDS para atenuar los picos.

$$CA = \frac{\sum_{i=1}^n Qemax_i}{\sum_{i=1}^n Qeprom_i}$$

$$Qeprom_i = \frac{Ve_i}{t_{modelación}}$$

Donde:

$Qemax_i$: Caudal escorrentía máximo subcuenca i [l/s]

$Qeprom_i$: Caudal escorrentía promedio subcuenca i [l/s]

Ve_i : Volúmen escorrentía subcuenca i [m3]

$t_{modelación}$: tiempo de modelación.

3.5 horas para lluvia "evento 4" y

4 horas para evento "TR 5 años".

n: número total de subcuencas

El valor mínimo del indicador es 1 y el valor máximo no tiene límite.

3.4 Funciones objetivo

Para el caso de estudio se definen dos funciones objetivo para la optimización, una se relaciona con el caudal pico de escorrentía y la otra con los costos de construcción, operación y mantenimiento de los SuDS. El algoritmo optimiza ambas funciones simultáneamente. A continuación, se describe cada una:

Minimizar caudal pico de escorrentía: es el caudal máximo de escorrentía que produce cada subcuenca durante el período de análisis. La función objetivo consiste en calcular el promedio de cada pico de escorrentía normalizado de cada subcuenca.

$$f_1(x_i) = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n \frac{rp_j}{rp_{j,max}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$f_2(x_i) = \frac{\sum_{j=1}^n (\text{CostoSuDS} * \text{CantidadSuDS}_j)}{\text{Costomax}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- $f_1(x_i)$: función de ajuste (1) del cromosoma (i)
- n : número de subcuencas
- j : número de la subcuenca
- rp_j :caudal pico de escorrentía (l/s) de la subcuenca j
- $rp_{j,max}$:caudal pico de escorrentía sin uso de SuDS de la subcuenca j

Minimizar costo de inversión: el costo de cada una de las configuraciones de los SuDS está relacionado con el número total de unidades implementado en cada subcuenca, multiplicado por el costo unitario. El número de SuDS proviene de algoritmo de optimización (NSGAX) y el costo de implementación se toma de los resultados del numeral anterior.

Donde:

- $f_2(x_i)$: función de ajuste (2) del cromosoma (i)
- n : número total de SuDS
- CostoSuDS: costo (\$/unidad) del SuDS (i)
- CantidadSuDS_j : número de SuDS tipo (j)
- costomax : máximo costo del escenario inicial (cantidad máxima de SuDS en todas las subcuencas).

3.5 Escenarios de modelación

Con el fin de evaluar el efecto de la implementación de los SuDS en la zona de la cuenca existente y en la expansión; y conocer cuál es el efecto de la intensidad de la lluvia en la respuesta de los sistemas, se evaluarán ocho escenarios así:

Escenario	Zonas a modelar	Precipitación	Uso de SuDS
1	Existente	Evento 4	No
2		TR 5 años	
3	Existente y expansión urbana	Evento 4	No
4			Solo expansión
5			Existente y expansión
6		TR 5 años	No
7			Solo Expansión
8			Existente y expansión

Tabla 3. Costos unitarios SuDS seleccionados.

Para todos los casos se utilizarán los SuDS celdas de bioretención, tanques de lluvia (rainwater harvesting) y pavimentos permeables. El proceso de

optimización solo se lleva a cabo en los escenarios 4,5,7 y 8.

3.6 Resultados

3.6.1 Desempeño del sistema de drenaje existente

Como punto de partida, se debe conocer cómo funciona el sistema de drenaje de las subcuencas existentes, sin tener en cuenta la zona de expansión ni la implementación de SuDS. Para esto, se presentan los resultados de los indicadores para los escenarios 1 y 2. Esta evaluación se realiza para las dos condiciones de lluvia definidas: evento 4 (lluvia de intensidad media) y evento_TR5 (lluvia de

diseño con período de retorno 5 años e intensidad alta). Se presentan los valores de los indicadores.

El coeficiente de escorrentía aumenta con la intensidad de la lluvia. También, se encuentra que el sistema tiene capacidad para transportar los caudales con la lluvia evento 4; sin embargo, para el evento TR 5, el sistema no tiene capacidad y por sobreflujo en las cámaras sale un 3% del caudal (400 m³). Con respecto a la amortiguación de caudales, se encuentra que el valor es muy alto, como se espera en una cuenca urbana impermeabilizada y de alta pendiente.

	Escenario 1	Escenario 2
	Evento 4	TR 5 años
Volumen de escorrentía Ve (m3)	5132	14858
Volumen de lluvia Vll (m3)	7432	18757
Volumen de sobreflujo Vs (m3)	0	400
Caudal escorrentía máximo Qemax (l/s)	4037	10219
Duración modelación (h)	3.5	4.0
Caudal escorrentía promedio Qeprom (l/s)	407	1032
Coeficiente de escorrentía	0.69	0.79
Coeficiente de transporte	1.00	0.97
Coeficiente de amortiguación	9.91	9.90

Tabla 4. Indicadores de desempeño escenarios 1 y 2.

3.6.2 Desempeño del sistema de drenaje existente con la expansión urbana y con la implementación de SuDS

Se calcula la cantidad máxima de SuDS que se puede implementar en las subcuencas existentes y en las de expansión. Con esta información se corren los modelos de Swmm utilizando y se evalúan nuevamente los indicadores; se busca conocer cuál es el desempeño del sistema bajo

la condición de máxima inversión económica en sistema de drenaje sostenible y una reducción máxima en los caudales de escorrentía. En las tablas se presentan los valores de los indicadores. Adicionalmente, se valora la capacidad hidráulica de las redes para drenar la cuenca y cómo se afecta el sistema con la impermeabilización futura que se tendrá por el desarrollo urbano de las subcuencas de expansión.

	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
	Evento 4		
	Sin SuDS	SuDS solo subcuencas de expansión	SuDS en subcuencas existente y expansión
1. Volumen de escorrentía Ve (m3)	8143	5755	1939
2. Volumen de lluvia VII (m3)	13741	13741	13741
3. Volumen de sobreflujo Vs (m3)	726	76	42
4. Caudal escorrentía máximo Qemax (l/s)	5849	4622	2032
Duración modelación (h)	3.5	3.5	3.5
Caudal escorrentía promedio Qeprom (l/s)	646	457	154
Coefficiente de escorrentía	0.59	0.42	0.14
Coefficiente de transporte	0.91	0.99	0.98
Coefficiente de amortiguación	9.05	10.12	13.21

Tabla 5. Indicadores de desempeño escenarios 3 a 5.

	Escenario 6	Escenario 7	Escenario 8
	Evento TR 5 años		
	Sin SuDS	SuDS solo subcuencas de expansión	SuDS en subcuencas existente y expansión
1. Volumen de escorrentía Ve (m3)	24742	19723	10425
2. Volumen de lluvia VII (m3)	34682	34682	34682
3. Volumen de sobreflujo Vs (m3)	5375	2239	1365
4. Caudal escorrentía máximo Qemax (l/s)	15643	12623	6548
Duración modelación (h)	4.0	4.0	4.0
Caudal escorrentía promedio Qeprom (l/s)	1718	1370	724
Coefficiente de escorrentía	0.71	0.57	0.30
Coefficiente de transporte	0.78	0.89	0.87
Coefficiente de amortiguación	9.10	9.22	9.05

Tabla 6. Indicadores de desempeño escenarios 6 a 8.

En la tabla 6, se presentan los mismos casos de la tabla 5, pero con la lluvia de período de retorno de 5 años.

El sistema de alcantarillado de la cuenca existente tiene capacidad para transportar los caudales

del evento 4; sin embargo, cuando se incrementa la intensidad de la lluvia o cuando se anexan las descargas de la zona de expansión, el sistema presenta falta de capacidad y sobreflujo por las cámaras. Se observa que cuando se implementan los SuDS, el coeficiente de escorrentía tiene una

disminución importante; para los dos eventos de lluvia evaluados se tiene reducción superior al 50% en el volumen de escorrentía. Para la lluvia "evento 4" el indicador cambia de 0.59 a 0.42 con SuDS en la expansión y 0.14 con SuDS en lo existente y la expansión. Para el caso de la lluvia más intensa (TR 5 años), se observa que los indicadores también bajan, pero no de una manera tan significativa, esto muestra que a mayor intensidad de la lluvia los SuDS pierden eficiencia en su funcionamiento, y que su desempeño es mejor para lluvias promedio.

Con respecto al coeficiente de transporte, para la lluvia evento 4, con la implementación de los SuDS en la zona de expansión el sistema de alcantarillado recupera la capacidad de transporte. Con la lluvia más intensa, el sistema genera sobreflujo por las cámaras; sin embargo, el valor del indicador aumenta de 0.78 a 0.89 y 0.87. En el caso de coeficiente de amortiguación se evidencia que los SuDS no tienen un efecto significativo, ya que, aunque los valores de los caudales pico son menores, el caudal promedio también es menor; causando que el indicador no presente cambios significativos. Los caudales pico son muy grandes comparados con los caudales promedio debido a que se trata de una cuenca urbana que, por la pendiente del terreno, la impermeabilidad y la rugosidad de la superficie produce una respuesta muy rápida. En caudales máximos los SuDS se encuentran cerca de la saturación y su efecto en retención de escorrentía es menor.

Se encuentra que, por la infiltración y acumulación de agua en la superficie, el porcentaje de generación de escorrentía en la cuenca existente más expansión, es menor, ésto se debe a que la zona de expansión tiene mayores zonas verdes proyectadas. Se espera que, con una debida planificación territorial, donde el ordenamiento

obligue a que las zonas de expansión conserven zonas verdes nativas, es más efectiva (y más eficiente en el uso de los recursos del estado) que la implementación correctiva de SuDS generada por una expansión desbordada y carente de control y que su inversión sea menor y se enfoque en zonas mayoritariamente impermeables.

Los indicadores de coeficiente de escorrentía y de transporte muestran claramente las ventajas de la implementación de los SuDS en cuencas urbanas; estos elementos producen una retención de escorrentía significativa, por medio de los mecanismos de infiltración y acumulación. Esta menor escorrentía mejora las condiciones de capacidad de la red de drenaje y los sobreflujo por las cámaras.

3.6.3 Optimización de los SuDS

La optimización de los SuDS busca encontrar cuál es la manera más eficiente de invertir unos recursos económicos determinados para mejorar el desempeño del sistema de drenaje; o dado una meta de reducción de volumen de escorrentía, cuál es la inversión que se debe realizar y cuál es la mejor manera de hacerlo. El proceso de optimización produce como resultado una cantidad importante de soluciones posibles, de las cuales se seleccionan las más eficientes (frente de Pareto de soluciones no dominadas). Cada solución se compone del número de unidades de cada tipo de SuDS (celdas de bioretención, pavimentos permeables y tanques de almacenamiento) que se implementa en cada una de las subcuencas.

En la figura 5 y figura 6 se presenta los resultados de la optimización de los SuDS en las subcuencas existentes y proyectadas con las lluvias evento 4 y evento TR5 (escenarios 5 y 8).

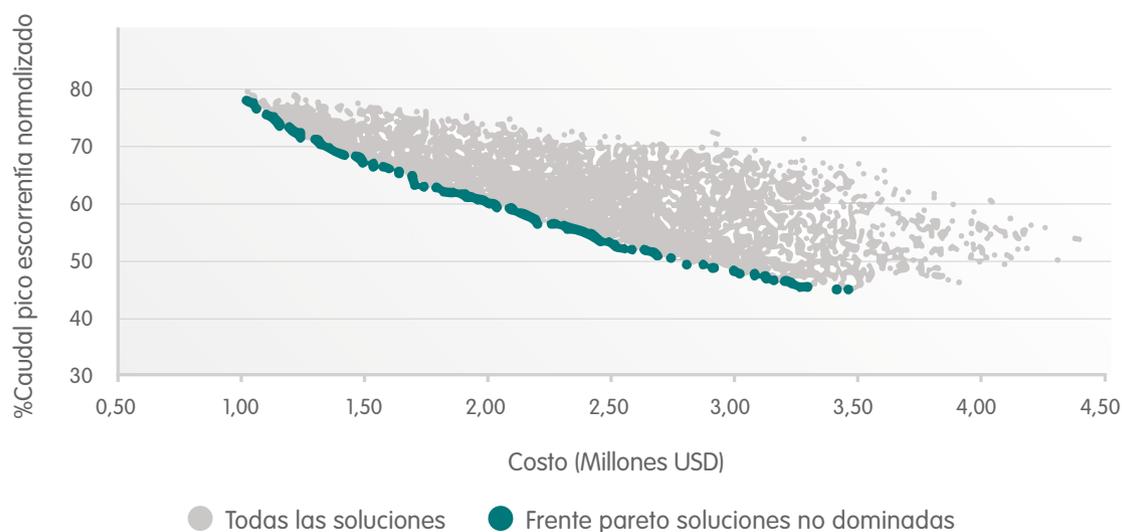


Figura 5. Optimización SuDS subcuencas existentes y expansión evento 4 (esc 5).

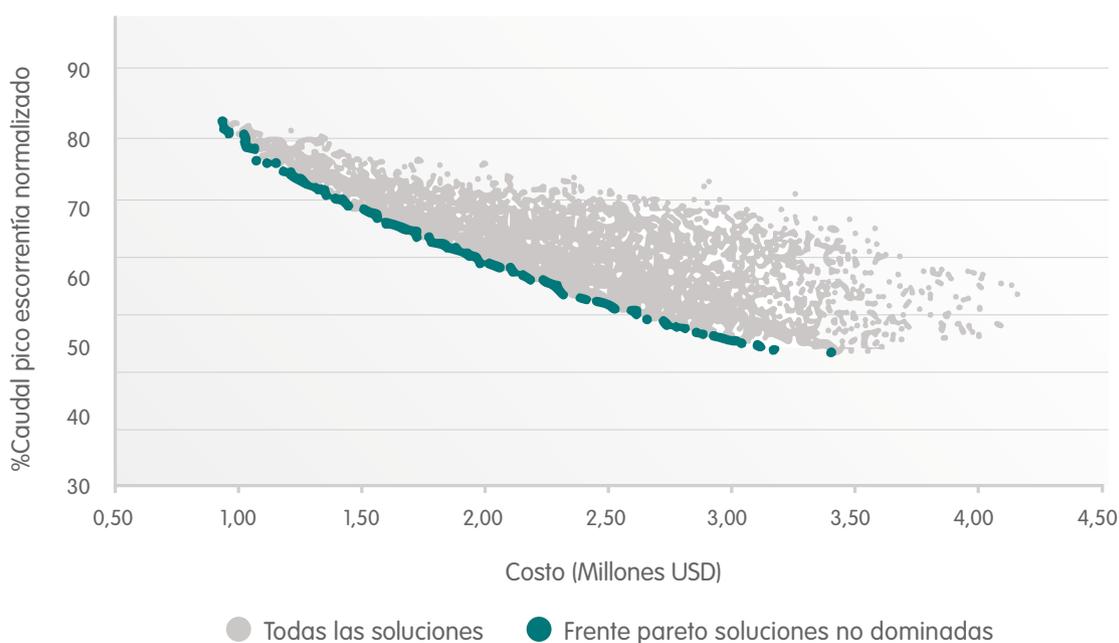


Figura 6. Optimización SuDS subcuencas existentes y expansión evento TR5 (esc 8).

Los puntos azules presentan el frente de pareto de soluciones no dominadas, éstas forman una curva cóncava y representan el conjunto de soluciones más eficientes, de acuerdo con una inversión definida. A mayor inversión se tendrá un porcentaje menor de caudal pico de escorrentía. Para el escenario 5, el menor caudal pico de escorrentía es del 45%, mientras que para el escenario 8 es del 50%. La

inversión máxima recomendada es de 3.5 millones de USD, y aunque se podría invertir un valor mayor, no se logra reducción adicional de escorrentía.

En las figuras 7 y 8, se presentan los resultados de la optimización de los SuDS en las subcuencas de expansión urbana futura con las lluvias evento 4 y evento TR5 (escenarios 4 y 7).

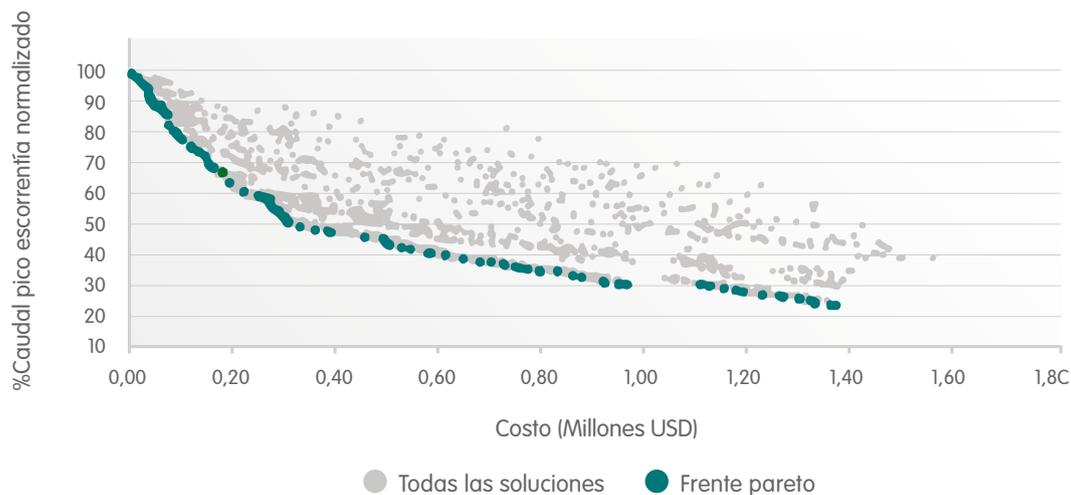


Figura 7. Optimización SuDS subcuencas expansión con evento 4 (escenario 4).

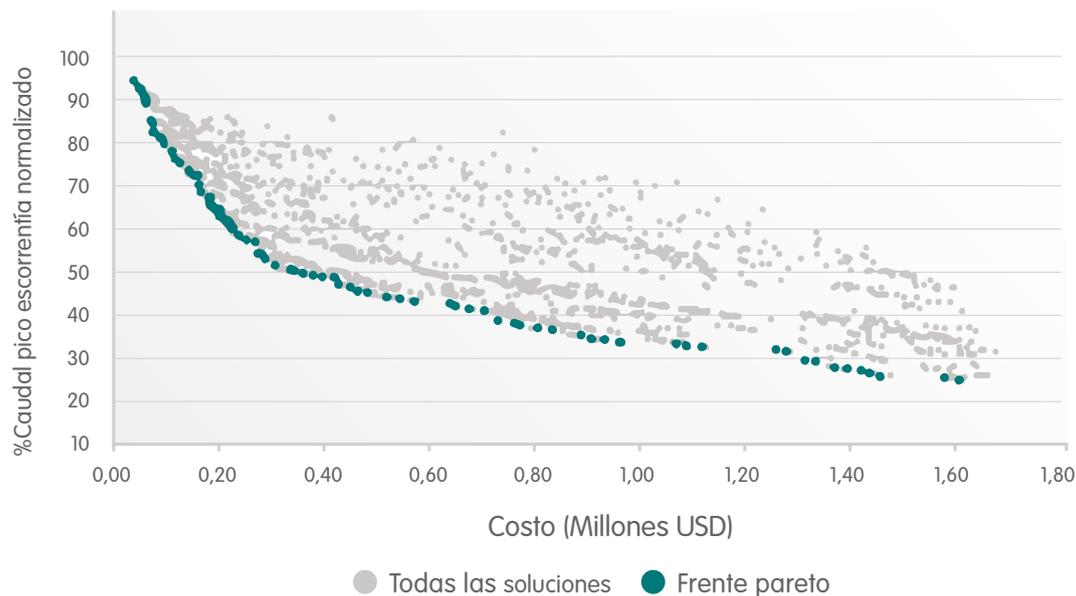


Figura 8. Optimización SuDS subcuencas expansión evento TR5 (escenario 7).

Para ambos casos se observa un punto de inflexión que corresponde a una inversión de aproximadamente 0.3 millones de USD y reducción de aproximadamente 50% del caudal pico de escorrentía; éste es un punto donde cambia la tendencia y en el cual es muy eficiente realizar las inversiones. La inversión máxima para el escenario 4 es de aproximadamente 1.4 millones de USD, mientras que en el escenario 7 es de 1.6 millones de USD. Se encuentra que es posible tener una

mayor reducción del porcentaje del caudal pico de escorrentía cuando se optimizan los SuDS solo en las subcuencas de expansión. Esto se debe a un porcentaje de área permeable mayor y a la posibilidad de implementar una cantidad mayor de unidades de SuDS.

Es importante dividir el análisis de la implementación de los SuDS en la zona urbana y en la expansión, en las zonas urbanas existentes hay restricciones

de espacio y limitaciones en las edificaciones construidas para la implementación de los SuDS; por otro lado, las zonas de expansión se pueden planear y diseñar desde el inicio, teniendo en cuenta los SuDS y logrando la implementación de una mayor cantidad de unidades, que en el diseño de detalle se pueden ubicar en los mejores sitios para lograr una mayor eficiencia. Con la información de la optimización, las entidades o instituciones encargadas de la gestión del drenaje urbano, pueden evaluar diferentes escenarios de manejo de la escorrentía de manera sostenible y flexible. Estos gráficos permiten establecer metas de reducción de escorrentía, asociar una inversión económica requerida y conocer en detalle cómo se deben implementar los SuDS en cada una de las subcuencas. Este ejercicio también

se debe complementar con corridas en Epa-swmm para evaluar los sobreflujos por las cámaras, el riesgo de afectaciones que éstos tienen y las intervenciones que se requieren hacer en la red de drenaje y su costo asociado. La normatividad nacional está empezando a exigir la reducción de caudales de escorrentía para las edificaciones nuevas que se construyen en zonas de expansión. Es importante tener en cuenta que los SuDS tienen beneficios adicionales en cuanto a mejoramiento del entorno urbano, generación de espacios de recreación, reducción del efecto isla de calor, reducción de la contaminación del aire, generación de espacios de conexión para la fauna, etc; que tienen un beneficio para la sociedad y que se deben tener en cuenta en los análisis de beneficio-costos.

Conclusiones

- Uno de los pilares de la planificación de los centros urbanos es reducir el impacto que se causa en el medio ambiente; actualmente se emplean soluciones basadas en la naturaleza y en el desarrollo de las ciudades que impactan positivamente la gestión de la escorrentía urbana; ya que buscan que la distribución de las aguas lluvias sea similar a la que se da en las cuencas naturales.
 - Se plantea una propuesta, desde planeación y prefactibilidad, de implementación de infraestructuras urbanas sostenibles (SuDS) para la gestión de la escorrentía urbana en el Municipio de La Estrella.
 - Los SuDS que tienen mayor viabilidad de implementación de acuerdo con las características locales son los tanques de almacenamiento, celdas de bioretención y pavimentos permeables.
 - El sistema de drenaje actual del municipio de La Estrella tiene capacidad para evacuar la escorrentía de una lluvia promedio; sin embargo, para la lluvia de período de retorno 5 años, se produce un sobreflujo o incapacidad en la red de alcantarillado de 3% del volumen de escorrentía y cuando se
- adicionan las zonas de expansión urbana se produce un sobreflujo de 9%.
 - Con la implementación de la cantidad máxima de SuDS en todas las subcuencas, se logra una reducción del 45% del volumen de escorrentía para la lluvia promedio y del 41% para la lluvia de período de retorno 5 años.
 - Con la implementación de la cantidad máxima de SuDS en las zonas de expansión urbana, para la lluvia de período de retorno 5 años; el sistema genera sobreflujo por las cámaras; sin embargo, el volumen cambia de 22% a 11%.
 - La inversión máxima recomendada en la zona urbana actual y en la expansión es de 3.5 millones de USD, con esto se logra una reducción en el caudal pico del 55% con el evento de lluvia promedio y 50% con el evento TR5.
 - A mayor intensidad de la lluvia es menor la efectividad de los SuDS. Desde el inicio, se debe establecer claramente los objetivos y alcances del mejoramiento en el drenaje urbano, en función de la intensidad de la lluvia.

- En las zonas de expansión, la inversión máxima en SuDS es de 1.4 millones de USD, con esto se logra una reducción de caudal pico de 77% con el evento de lluvia promedio y de 76% con el evento TR5.
- La inversión requerida se puede comparar con la alternativa de hacer reposición de la red de drenaje, teniendo en cuenta beneficios adicionales de los SuDS.
- Las infraestructuras de sistema de drenaje urbanos sostenibles permiten tener y retener parte de las aguas lluvias y de escorrentía e infiltrarlas al terreno; esto tiene un impacto positivo en todo el sistema de drenaje de las ciudades y en las fuentes naturales que reciben los caudales; se baja el riesgo de inundaciones y afectaciones a la comunidad, se evitan inversiones económicas en el sistema de alcantarillado y canales y se mejora el entorno urbano.

Agradecimientos

- Agradecimiento a la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, el IHE-DELFT en Holanda y a Empresas Públicas de Medellín.
- Un especial agradecimiento al profesor Arlex Sánchez Torres del IHE-DELFT, codirector de este proyecto de investigación; quien con su asesoría, acompañamiento y motivación, apoyó en gran medida el desarrollo de la investigación.

Notas al final

¹ Metodología para la optimización de Sistemas de drenaje urbana sostenible. Alves, A., Sánchez, A., Vojinovic, Z., Seyoum, S., Babel, M., Brdjanovic, D. (2016). Evolutionary and holistic assessment of green-grey infrastructure for CSO reduction. *Journal of water*, 8,402.

² Metodología para la optimización de Sistemas de drenaje urbana sostenible. Alves, A., Sánchez, A., Gersonius, B., Vojinovic, Z. (2016). A Model-based Framework for Selection and Development of Multi-functional and Adaptive Strategies to Cope with Urban Floods. *Journal of procedia engineering*. 154, 877-884.

³ Metodología para la selección de infraestructuras de drenaje. United States Environmental Protection Agency. BMP Siting tool, step-by-step guide. 2013. USEPA: Cincinnati, OH, USA.

⁴ Metodología para la selección de infraestructuras de drenaje. United States Environmental Protection

Agency. National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas. 2005.

⁵ Metodología para la selección de infraestructuras de drenaje. Urban Drainage and Flood Control District. Urban Storm Drainage Criteria Manual: volume 3, Best Management Practice. 2010. Denver, Colorado. USA. Multiobjective optimization of BMP system configuration for urban runoff reduction. Tesis de maestría no publicada. Universidad del Valle-Unesco IHE, Delft, Holanda.

⁶ Metodología para la selección de infraestructuras de drenaje. Ciria, Department for environmental food and rural affairs, United Kingdom (2015). The SuDS manual. Londres, Inglaterra.: Ciria.

⁷ Metodología para la selección de infraestructuras de drenaje. Pearl Project. European Union's Seventh Framework Programme for Research Technological Development and Demonstration. <http://www.pearl-fp7.eu/>

Cómo citar este artículo:

Franco, A. (2021). Implementación de un sistema de drenaje sostenible y flexible en una cuenca urbana en expansión del Valle de Aburrá. *Revista EPM*, (17). 98-113.





Filial

Ticsa
Grupo·epm

www.ticsa.com.mx

TICSA, Soluciones integrales, confiables y factibles para el tratamiento de aguas

TICSA, Comprehensive, reliable and feasible solutions for water treatment

Filial TICSA
Grupo EPM

www.ticsa.com.mx

Resumen

TICSA es una empresa dedicada al diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y financiamiento de sistemas de tratamiento de aguas, con énfasis en aguas residuales. En este artículo podrás conocer más

sobre la empresa, su historia, así como algunos de sus proyectos con más relevancia, además de entender la relación que ha construido directamente con el Grupo EPM.

Palabras clave:

Tratamiento de aguas, Aguas, Plantas de tratamiento, Aguas residuales, Desaladoras, Plantas potabilizadoras, Agua residual industrial, Agua residual municipal, PTAR, Potable, Saneamiento, Sector agua.

Keywords:

Water treatment, Waters, Treatment plants, Sewage water, Desalination plants, Water treatment plants, Industrial waste water, Municipal wastewater, WWTP, Potable, Sanitation, Water sector.

Introducción

Latinoamérica presenta unas condiciones económicas y sociales específicas que han llevado a que se tenga en la actualidad una menor capacidad de inversión en proyectos de infraestructura, subsidios y gasto estatal en términos generales.

Los negocios de agua potable y saneamiento dependen de una combinación de tarifas y transferencias de diferentes instancias gubernamentales, para lograr sostenibilidad financiera, social y ambiental de los sistemas, en un ambiente de eficiencia y transparencia, y en medio de grandes brechas en materia de cobertura, continuidad y calidad.

TICSA Grupo EPM, como empresa que hace parte de la cadena de los servicios, en sus actividades de diseño, construcción, puesta en marcha, mantenimiento y operación de sistemas de la cadena del agua pretende alcanzar proyectos en los sectores público y privado, tanto en México, Colombia y países objeto de negocio del Grupo EPM.

El reto está en superar la contracción y la mayor complejidad de la demanda, para esto la empresa trabaja en la ampliación de su oferta de servicios, en la diversificación del mercado, gestionando las presiones regulatorias, supliendo las necesidades ambientales y aprovechando la fortaleza de ser una empresa 100% del Grupo EPM.

1.

TICSA Grupo EPM un aliado para el desarrollo de la ingeniería del agua

Patricia Serna Valencia

Jefe Planeación y Desempeño
pserna@ticsa.com.mx

TICSA es una empresa mexicana que desde 1980 ha dedicado sus esfuerzos, conocimiento y el talento de todos los profesionales que hacen parte de ella, al tratamiento del agua, su ingeniería para el abastecimiento y sobre todo el cuidado del recurso vital. De su trayectoria se destaca su compromiso en el diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y financiamiento de sistemas de tratamiento de aguas, con énfasis en residuales; desarrollos de los cuales puede resaltar con orgullo los proyectos ejecutados para municipios, cerveceras, textilerías, embotelladoras, destilerías, farmacéuticas, tequileras y la industria

de alimentos, tanto en México como en el extranjero.

Hoy, TICSA lleva el apellido Grupo EPM para hacer equipo con esta gran familia que crece, evoluciona, se desarrolla y trabaja día a día, entre varias actividades, una de ellas de importante valor: la ingeniería del recurso vital.

Los lazos fuertes entre quienes hacen equipo, se construyen desde los principios, las metas y la compatibilidad, y cada uno de estos pilares nacen y se forjan desde la experiencia y el conocimiento ganado. Esta es la experiencia TICSA Grupo EPM.

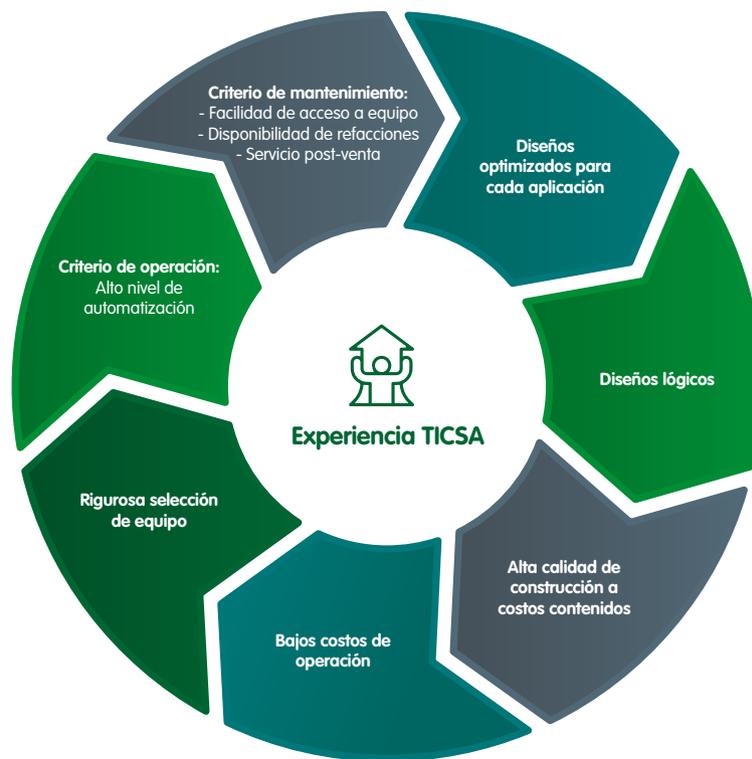


Figura 1. Experiencia TICSA.

En agosto del 2019 el Grupo EPM anuncia la adquisición del 100% del paquete accionario de Tecnología Intercontinental S.A.P.I. de C.V. Este acto permitió seguir fortaleciendo la estructura técnica de negocios y administrativa de las empresas que componen el Grupo TICSA, y superar obstáculos a nivel corporativo que limitaban el potencial empresarial.

Con la incorporación total de TICSA al Grupo EPM se consolidaron los principios de la empresa multilatina que trabaja con responsabilidad social y ambiental en los países donde tiene presencia. Con este lazo se reitera el compromiso para seguir desarrollando conjuntamente soluciones confiables en el tratamiento de aguas.

2. Trayectoria y conocimiento como engranaje para el desarrollo

Carolina Rodríguez Rubio

Asistente de Comunicación Interna
crodriguez@ticsa.com.mx

La historia de TICSA comienza hace 41 años, con el propósito principal de desarrollar y fomentar la tecnología en México. Diez años después, empieza una etapa de crecimiento, basada en la obtención con carácter exclusivo de varias licencias europeas para México en el tratamiento biológico de aguas

residuales y a finales de 1992 se consigue el primer proyecto en una embotelladora transnacional. A partir de ese momento y con el apoyo de su personal, la empresa comienza un crecimiento acelerado en el sector privado.

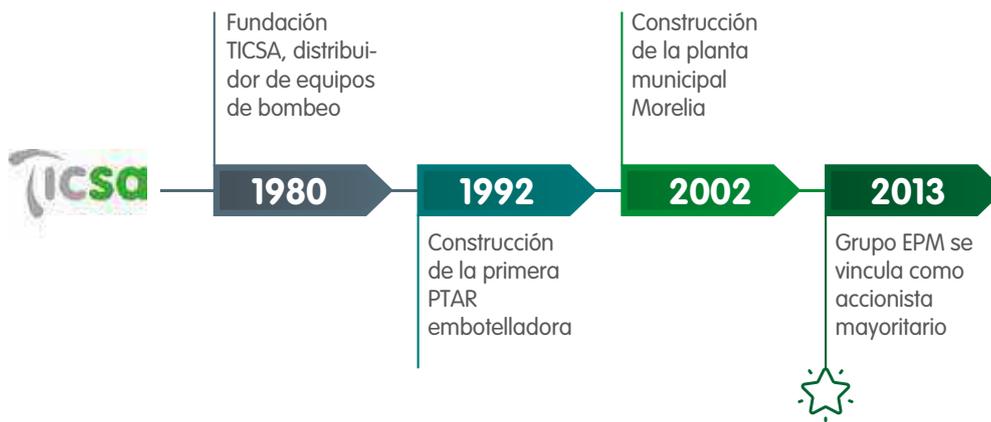


Figura 2. Línea del tiempo TICSA.

En el 2004 TICSA incursiona en el sector público con la Planta Municipal para el Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Morelia, Michoacán (México). En un lapso de diez años se construyeron 15 PTAR's para otros municipios.

Para el 2013, TICSA es capitalizado por EPM y a partir de este hito, la responsabilidad social empresarial, el buen gobierno corporativo, la planeación a largo plazo, el rigor técnico, jurídico, financiero y gerencial, se convierten en los pilares de la estrategia de la empresa.

Desde 2019, TICSA pertenece 100% al Grupo EPM con la operación de 4 contratos BOT (Build, Operate, Transfer), que incluyen 5 PTAR's municipales ubicadas en las ciudades de Celaya, Lerdo, Colima

y Morelia, con capacidad de 3.58 metros cúbicos, algunas con servicio de reúso.

En octubre del mismo año inició la operación de la Planta de Reúso de Agua para un grupo cervecero trasnacional en la Ciudad de México, proyecto cuyo objetivo es disminuir el consumo de agua de pozos que abastece los circuitos de enfriamiento.

En 2020 se inició la operación de la Planta de Tratamiento de Lixiviados para el relleno sanitario La Pradera, perteneciente a EMVARIAS. En este mismo año se diseñó, construyó y puso en marcha una PCTAR, un contenedor que en su interior incorpora la primera planta de tratamiento de aguas residuales para El Escobero, dentro del municipio de Envigado, Antioquia (Colombia).



Figura 3. Línea de tiempo TICSA Grupo EPM.

El pasado 29 de marzo de 2021 se firmó el acta de transacción entre TICSА y EPM para llevar a cabo el diseño, suministro, transporte, instalación y pruebas de planta para el aprovechamiento de biogás, para inyección de biometano a las redes de gas natural de EPM dentro de la PTAR San Fernando, ubicada en el municipio de Itagüí, Antioquia (Colombia).

Procurement and Construction), tanto en México como en Colombia para clientes de sectores público y privado. Además TICSА ha consolidado un portafolio ideal que define y ofrece servicios, productos y esquemas pensados para solucionar las necesidades de los proyectos hídricos de los clientes.

Actualmente la empresa cuenta con varios proyectos en construcción, tipo EPC (Engineering,



Figura 4. Soluciones que ofrece TICSА Grupo EPM.

2.1 Tecnologías que usa

Jelikson Steve Vásquez Coy

Gerente Relaciones Públicas y Marketing

jvasquez@ticsa.com.mx

En TICSА Grupo EPM se aplican diferentes técnicas para que los recursos hídricos de los clientes cumplan con los parámetros establecidos en las normas vigentes para el consumo, descarga, reúso

o desalación de sus procesos. Las siguientes son las tecnologías que la empresa usa para dar solución a las necesidades de sus clientes.



Figura 5. Tecnologías TICSА Grupo EPM.

2.2 Proyectos/casos exitosos

A continuación se describen algunos de los proyectos realizados por TICSА Grupo EPM para

diferentes empresas, clientes municipales e industriales dentro de México, Colombia y otras geografías.

Proyectos México - PTARs que opera TICSА Grupo EPM

PTAR Atapaneo

Michoacán (México)

Tipo de proceso:

Lodos activados convencional con selector anóxico.

Tratamiento de lodos:

Estabilización química con cal y deshidratación con filtros banda.

Desinfección del agua:

Gas cloro.

Calidad del agua tratada:

DBO5: 75 mg/L | SST: 75 mg/L
N-Total: 40 mg/L | P-Total: 20 mg/L

Flujo:

1200 lps.

Carga orgánica:

36,288 Kg DBO5/d.





**PTAR
Izúcaros**
Michoacán (México)

Tipo de proceso:
Lodos activados convencional
con bio-selector anaerobio.

**Tratamiento
de lodos:**
Digestión aerobia.

**Desinfección
del agua:**
Hipoclorito.

Calidad del agua tratada:
DBO5: 20 mg/L | SST: 15 mg/L |
N- Total: 40 mg/L | P- Total: 6 mg/L

Flujo:
300 lps.

Carga orgánica:
7,776 kg DBO5/d



**PTAR
Colima**
y Villa de Álvarez (México)

Tipo de proceso:
Sedimentación primaria lodos activados
aireación extendida remoción
de nutrientes (A/O)

Tratamiento de lodos:
Digestión aerobia: lodos secundarios,
digestión anaerobia: lodos primarios,
deshidratados con filtros bandas.

**Desinfección
del agua:**
Gas cloro.

Calidad del agua tratada:
DBO5: 30 mg/L | SST: 40 mg/L |
N-Total: 15 mg/L | P-Total: 5 mg/L

Flujo:
1,200 lps.

Carga orgánica:
26,438.4 kg DBO5/d.



**PTAR
Celaya**
Guanajuato (México)

Tipo de proceso:

Lodos activadas con remoción de nutrientes (A/O).

Tratamiento de lodos:

Digestión aerobia y deshidratación de lodos con filtros banda.

Desinfección del agua:

Desinfección ultravioleta (UV).

Calidad del agua tratada:

DBO5: 60 mg/L | SST: 60 mg/L | N-Total: 30 mg/L | P-Total: 6 mg/L

Flujo:

750 lps.

Carga orgánica:

19, 180 kg DBO5/d.



**PTAR
Lerdo**
Durango (México)

Tipo de proceso:

Lodos activados convencional por etapas con remoción de nutrientes (A2/O) + tratamiento terciario - tecnología de microfiltración, ultrafiltración y electrodiálisis reversible. (Reúso sector industrial)

Tratamiento de lodos:

Digestión aerobia y deshidratación de lodos con filtros banda.

Desinfección del agua:

Gas cloro.

Calidad del agua tratada:

DBO5: 5 mg/L | SST: 10 mg/L | N-Total: 18 mg/L | P-Total: 4 mg/L

Flujo:

200 lps.

Carga orgánica:

6,048 kg DBO5/d.

PTARs Construidas Por TICSА Grupo EPM

Municipales



PTAR Morelos

Cuernavaca (México)

Tipo de proceso:

Sedimentación primaria +
filtros percoladores.

Tratamiento de lodos:

Digestión anaerobia y deshidratación
de lodos con filtros banda.

Desinfección del agua:

Desinfección
ultravioleta (UV).

Calidad del agua tratada:

DBO5: 75 mg/L | SST: 75 mg/L |
SS: 1 mg/L

Flujo:

300 lps.

Carga orgánica:

7,776 kg DBO5/d



PTAR Durango

(México)

Tipo de proceso:

Lodos activados.

Tratamiento de lodos:

Digestión aerobia, desaguado
con filtros bandas.

**Desinfección
del agua:**

Cloración.

Flujo:

600 lps.

Carga orgánica:

8.640 kg DBO5/d



**PTAR
Tuxtla Gutiérrez**
Chiapas (México)

Tipo de proceso:
Filtros percoladores.

Tratamiento de lodos:
Digestión anaerobia.

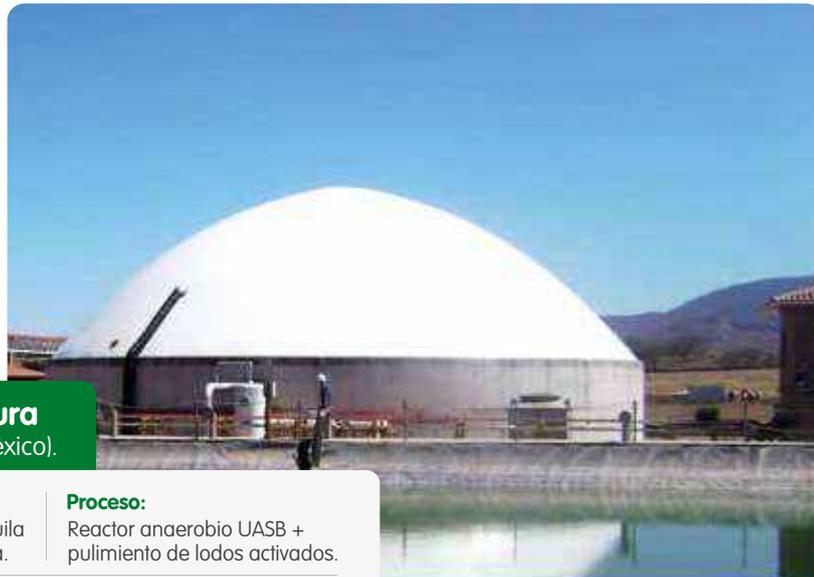
Desinfección del agua:
Cloro (producción in-situ).

Calidad del agua tratada:
DBO5: 40 mg/L | SST: 40 mg/L |
N-Total: 36 mg/L | P-Total: 10 mg/L

Flujo:
800 lps.

Carga orgánica:
280 mg/L BDO5.

Industriales



**PTAR
Tequila Herradura**
Amatitán, Jalisco (México).

Sector:
Tequilero.

Ciente:
PTAR Tequila
Herradura.

Proceso:
Reactor anaerobio UASB +
pulimiento de lodos activados.

Flujo:
1,250 m³/d.

Carga orgánica:
40,138 Kg DBO5/d | 65,541 kg DQO/d.



PTAR
Ingredion San Juan
San Juan del Río, Querétaro (México).

Sector: Alimentos y bebidas.	Cliente: PTAR Ingredion San Juan.	Proceso: Reactor anaerobio UASB + pulimento de lodos activados.
Flujo: 3,715 m ³ /d.	Carga orgánica: 8,208 Kg DBO5/d 13,680 kg DQO/d.	



PTAR
Agua Industrial del Poniente
Monterrey, Nuevo León (México).

Sector: Parque industrial.	Cliente: PTAR Agua Industrial Del Poniente.	Proceso: Estanque de lodos activados.
Flujo: 5,184 m ³ /d.	Carga orgánica: 4,338 Kg DBO5/d 9,296 kg DQO/d.	



PTAR
Compañía Cervecera de Coahuila
Piedras Negras, Coahuila (México).

Sector:
Cerveceros.

Cliente:
PTAR Agua Industrial
Del Poniente.

Proceso:
Digestión anaerobia
+ Lodos activados
con remoción de nutrientes
+ Físico-Químico.

Flujo:
15,100 m³/d.

Carga orgánica:
75,500 kg DQO/d.



PTAR
Refinería de Pemex Francisco I. Madero
Tampico, Tamaulipas (México).

Sector:
Petroquímica.

Cliente:
PTAR Pemex Refinería
Francisco Madero.

Flujo:
400 lps.

Proceso:
Ultrafiltración.



PTAR
Manantiales Peñafiel
 Tehuacán, Puebla (México).

Sector: Alimentos y bebidas.	Ciente: PTAR Manantiales Peñafiel.	Proceso: Reactor Secuencial SBR.
Flujo: 1.758 m ³ /d.	Carga orgánica: 3.099 Kg DBO5/d 5.570 kg DQO/d.	



PTAR
Southwest Cheese
 Clovis NM (USA).

Sector: Lácteos.	Ciente: PTAR Southwear Cheese.	Proceso: Digestor Anaerobio + Pulimiento de lodos activados.
Flujo: 4,731 m ³ /d.	Carga orgánica: 1,400 Kg DBO5/d. 22,700 kg DQO/d.	



PTAR
Cervecería Modelo Apan
Hidalgo (México).

Sector: Cervecerero.	Ciente: PTAR Cervecería Modelo.	Proceso: Digestor Anaerobio ECSB + Pulimiento de lodos activados.
Flujo: 24,192 m ³ /d.	Carga Orgánica: 26,926 Kg DBO5/d 44,877 kg DQO/d.	

Proyectos Colombia



La Ayurá
Proyecto Esla

Objeto: Construcción de estructuras de salida al proyecto de modernización de la planta de producción de agua potable PPAP La Ayurá.	
Localización: Municipio de Envigado, departamento de Antioquia.	Caudal máximo: 8.2 m ³ /s

PCTAR El Escobero

Objeto:

Suministro de la planta de tratamiento compacto de aguas residuales domésticas, adecuación de sitio, instalación y puesta en marcha del sistema compacto en el municipio de Envigado, Antioquia.

Localización:

Municipio de Envigado,
departamento
de Antioquia.

Caudal máximo:

2,5 lps

Componentes:

Línea agua: Lodos activados
modificados MBBR.



Modernización San Fernando

Objeto:

Modernización de la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando del municipio de Medellín para aumentar la capacidad de procesamiento preliminar con el suministro de equipos eléctricos, mecánicos y de instrumentación y control al igual que la construcción de obras civiles, eléctricas y mecánicas.

Localización:

Municipio de
Medellín,
departamento
de Antioquia.

Caudal máximo:

3.6 m³/s.

Componentes:

Línea agua: tratamientos
preliminares, cribado, desarenado.
Línea de sólidos: retiro de sólidos
de las líneas de proceso



Ampliación El Retiro



Objeto:

Ampliación de la PTAR El Retiro, de una capacidad de tratamiento en caudal de 22 l/s en una primera etapa para llegar a los 40 l/s y en una segunda etapa a los 60 l/s mediante el diseño detallado, suministro, instalación y puesta en funcionamiento de equipos, construcción y puesta en marcha.

Localización:

Municipio de El Retiro, departamento de Antioquia.

Caudal máximo:

60 lps

Componentes:

Línea agua: lodos activados modificados con remoción biológica de nutrientes, configuración Phoredox (A20).
Línea lodo: digestión aerobia mesolítica.
Línea patógenos: luz ultravioleta (UV).

Lodos PPAP Manantiales - Caldas y la Ayurá



Objeto:

Diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de los sistemas de tratamiento de lodos para los procesos de potabilización de las plantas de potabilización de EPM.

Localización:

Municipios de Bello, Caldas y Envigado, departamento de Antioquia.

Caudal máximo:

Manantiales 78 - 85 lps
Caldas 1,7 - 2 lps
La Ayurá 32 - 40 lps

Componentes:

Línea lodos: homogenización, espesamiento y deshidratación de lodos de las plantas de agua potable.

Ampliación San Fernando

Objeto:

Optimización del tratamiento secundario, clarificación secundaria, tratamiento de lodos, así como la digestión de lodos mediante la construcción de obras civiles, hidráulicas y montaje de equipos.

Localización:

Municipio de Medellín, departamento de Antioquia.

Caudal máximo:

1,8 m³/s integrado a los 1,8 m³/s existentes.

Componentes:

Línea agua: lodos activados modificados con remoción biológica de nutrientes.
Línea lodos: digestión anaerobia.



PTAR La Pradera - EMVARIAS

Objeto:

Operación del sistema de tratamiento de lixiviado incluido el mantenimiento correctivo y preventivo de equipos y demás actividades asociadas a la operación del sistema.

Localización:

Municipio de Don Matías, departamento de Antioquia.

Caudal máximo:

Tratamiento primario 12 lps
Tratamiento biológico 8 lps

Componentes:

Línea agua: lodos activados modificados con remoción biológica de nutrientes MBR.
Línea lodos: deshidratación en lechos de secado y deshidratación mecánica en centrífuga.



Lodos PPAP Malambo

Objeto:

Diseño detallado, construcción y puesta en marcha del sistema de tratamiento de lodos de potabilización.

Localización:

Municipio de Malambo, departamento de Atlántico.

Caudal máximo:

19 lps.

Componentes:

Línea Lodos: homogenización, espesamiento e hidratación de lodos de las plantas de agua potable.



2.3 Proyectos EPM – TICSА

A continuación, se describen los principales proyectos realizados en colaboración entre EPM y TICSА en Colombia, en los cuales TICSА Grupo EPM aportó los conocimientos y experiencia técnica en la gestión de aguas y proyectos.

San Fernando

La Planta de Tratamiento San Fernando, ubicada en el municipio de Itagüí, es la primera con tratamiento secundario en Colombia e inició su operación en el año 2000. En 2018, EPM determinó llevar a cabo la modernización de la planta debido al avance tecnológico que desarrolló desde su entrada en operación, logrando aumentar la eficiencia en la remoción de los sólidos que entran al sistema de tratamiento, contemplando las siguientes etapas:

Pretratamiento

- Sistema de cribado.
- Sistema de remoción de arenas.
- Sistema de remoción de gravas a la entrada de la planta (nuevo sistema).

Tratamiento preliminar

- Sistema de bombeo de lodos primarios.
- Sistema de espesamiento de lodos primarios (nuevo sistema).

TICSА Grupo EPM se encargó de llevar a cabo tanto el desarrollo de los diseños a detalle como la ejecución de las obras, los suministros y la puesta en marcha. Después de casi año y medio de actividades se pusieron en funcionamiento los sistemas antes mencionados, permitiendo una visible mejora en la operación de la planta.

En el sistema de cribado se remueve una gran cantidad de basura evitando que llegue al sistema de tratamiento primario, mejorando la calidad del lodo producido en esta etapa. El impacto fue de carácter positivo y demostró tener alcance en etapas posteriores tales como la digestión de lodos, donde la generación de biogás aumentó y trajo como consecuencia el incremento en la autogeneración de energía.

Este hecho trajo consigo beneficios para EPM, y por supuesto para TICSА, pues a lo largo del

desarrollo del proyecto se efectuó un intercambio cultural y de conocimiento en ambas direcciones, permitiendo un crecimiento en cada una de las personas involucradas directa o indirectamente en el proyecto, demostrando que el trabajo conjunto permite lograr resultados para el Grupo EPM.

Datos generales

- Caudal medio de operación: 1,8 m³/s.
- Caudal máximo de operación: 3,6 m³/s.

En 2021 se dio paso al aprovechamiento del biogás producido, bajo unas condiciones de secado, filtrado y tratamiento parcial, para ser utilizado en dos motogeneradores que tienen la capacidad de generar alrededor del 40% de las necesidades energéticas de la planta.

Con la implementación de los proyectos de modernización y ampliación, la PTAR incrementará su producción de biogás en un 30% a razón de 1200 Nm³/h, biogás que, de acuerdo a los estudios que ha realizado EPM, genera mayores beneficios si éste se trata para su inyección como biometano a la red de distribución de gas. El alcance de este proyecto será el diseño, suministro, transporte, instalación y pruebas de planta de aprovechamiento de biogás para inyección de biometano a las redes de gas natural de EPM.

Planta Compacta El Escobero

En noviembre del 2020 se diseñó, construyó y puso en marcha el contenedor que en su interior incorpora la primera planta de tratamiento de aguas residuales compacta que TICSA Grupo EPM ingresa a Colombia.

El proyecto de la Planta de Tratamiento El Escobero, surge con el fin de dar un manejo integral al recurso hídrico en el Valle de San Nicolás, con énfasis a aquellos vertimientos de aguas residuales, que puedan afectar algunas corrientes de agua y de manera particular el embalse de La Fe, que podría representar en el corto plazo la afectación del suministro de agua para el Valle de Aburra.

EPM contempla la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales en el Valle de San Nicolás para el Municipio de Envigado, con la futura construcción de la denominada Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Escobero, y la Planta de tratamiento compacta entra como un sistema preliminar antes de la construcción de la misma.

La planta compacta se configuró para trabajar con aguas residuales domésticas de alcantarillados, cumpliendo con los requerimientos de los prestadores de servicios para el sector domiciliario en Colombia o como soluciones particulares con adaptaciones del caudal para la descarga directa.



Figura 6. Ventajas TICSA.

Procesos

El sistema recibe el agua residual doméstica del alcantarillado y pasa por un proceso de cribado grueso para ser bombeado hacia la planta. Antes de entrar a los reactores biológicos se retiran los sólidos finos y arenas, así el agua está preparada para la degradación de materia orgánica y nutrientes, el efluente es desinfectado mediante radiación UV antes de su descarga final al cuerpo receptor o alcantarillado.

Módulo de flexibilidad operativa Manantiales

En noviembre del 2020 se da inicio al Proyecto "Módulo de Flexibilización Operativa (MOFLO) Manantiales" el cual tiene como alcance el diseño, suministro, construcción, montaje, comisionamiento y puesta en operación de un MOFLO para la Planta de Producción de Agua Potable Manantiales.

Con este nuevo módulo se busca mejorar el nivel de continuidad en el suministro de agua a los usuarios ya que se garantizará la continuidad de la capacidad de 5.0 m³/s QMD (caudal medio diario) en el momento de realizar los mantenimientos programados a los 6 módulos actuales. En la actualidad sólo es posible lavar una unidad a la vez y esto reduce en 1.0 m³/s QMD la producción de la planta.

También, se pretende garantizar la continuidad en la capacidad de la planta de 5,0 m³/s QMD, en el momento de realizar las intervenciones de mejoramiento y modernización de las unidades existentes, para mejorar su capacidad de producción actual, que permitirá preparar a la ciudad para un mayor suministro de agua a futuro. El nuevo módulo permitirá incorporar a EPM tecnologías nuevas y renovadas que han desarrollado y evolucionado en el mundo para la potabilización de agua.

3. El agua como problema y solución: tratamiento y distribución

Fernando Reyes Medina

Director Proyectos e Ingeniería
freyes@ticsa.com.mx

Luis Miguel Díaz

Gerente Dirección Comercial
lmdiaz@ticsa.com.mx

El agua, la molécula de hoy y siempre presenta la importancia de la gestión del agua para la vida y la sobrevivencia en el planeta, remarcándolo como un líquido vital; se hace un recorrido a través del tiempo mostrando cómo el agua ha disminuido por el incorrecto uso y falta de cuidado que le ha dado el ser humano. Mientras que en el Fósforo en las aguas residuales se presenta este elemento como nutriente o contaminante del agua y la forma de recuperarlo.

3.1 El agua, la molécula de hoy y siempre

Hoy en día se habla de la correcta gestión del agua, esta molécula vital formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Sin el agua, simplemente, este planeta no existiría tal y como lo

conocemos. El 70% del planeta está formado por agua, de la cual, el 97.5% es salada y se encuentra en los océanos y mares, y el 2.5% restante es agua dulce.

El 77% del agua dulce se encuentra en forma de hielo y nieve, 21.3% es el agua que hay en el subsuelo, 0.69% se encuentra en los lagos, ríos, pantanos (y otros reservorios) y sólo el 0.1% es el agua que hay en las plantas y animales; esto significa que alrededor del 22% del agua dulce está disponible para el consumo directo.

Hace algunos años, era normal acceder a fuentes de agua potable en bebederos y disfrutar de un buen trago de agua fresca, o correr a lo largo de los ríos que cruzan los pueblos, llenos de vida, y

escuchar el maravilloso sonido que emergía del correr de sus aguas. Agradables vivencias que han quedado atrás, hoy en día se debe comprar agua embotellada para beber, y el agua de los ríos, en muchas zonas está contaminada. Es un deseo colectivo tener ríos, lagos y mares limpios, así como poder tomar agua directamente de la llave.

El crecimiento exponencial de la población que se ha tenido en las últimas décadas, ha generado, que para el año 2019 se llegara a una población mundial de 7700 millones de habitantes, proyectando hacia el 2050 una población de 9700 millones, que a su vez, genera un crecimiento exponencial en las necesidades de consumo de agua potable.

De igual forma, el crecimiento de los principales sectores industriales, la agricultura y generación de energía que requieren del vital líquido, para cubrir las necesidades de una población que crece día a día, sumado al calentamiento global, hace que la humanidad tenga un reto cada vez mayor para tener una gestión hídrica que impulse la optimización, no sólo en el uso del agua, si no cada vez más su reúso para los sectores industriales, dejando mayor disponibilidad de agua potable para la población que es cada vez más creciente.

Para ello se requiere del compromiso de gobiernos, instituciones, industrias, empresas y de la sociedad, para fomentar políticas, y sobre todo, una conciencia en el buen uso del recurso hídrico e impulsar cada vez más el reúso del agua para procesos industriales, evitando la generación de conflictos como los que ya se han comenzado a observar en algunas regiones de México y del mundo.

Esta es la razón de ser de TICSА Grupo EPM, empresa que con sus 8 plantas de agua sanitaria, operando en todo el país y con la búsqueda e implementación continua de tecnologías innovadoras para el tratamiento de aguas, así como su gestión ágil en el desarrollo de proyectos de este tipo, hacen de ésta una empresa comprometida con la sociedad y con el cuidado del agua, la molécula de hoy y siempre; contribuyendo así a la armonía de la vida por un

mundo mejor para las generaciones venideras.

3.2 El fósforo en las aguas residuales

El fósforo en las aguas residuales tratadas constituye un elemento de contaminación por su papel como nutriente favorecedor del crecimiento de algas y plantas en los cuerpos receptores. La generación en exceso de estos organismos y su posterior putrefacción, consumiendo oxígeno dentro del cuerpo de agua, es conocido como "eutrofización" y puede llevar al agotamiento de la vida acuática y conversión de fuentes de agua a zonas muertas.

Para reducir el fósforo en las aguas residuales existen dos vías de tratamiento: la vía de remoción química y la vía de remoción biológica. Para la vía de remoción química se suele utilizar una sal metálica, como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico; sin embargo, esta vía a pesar de ser muy efectiva es costosa, por el uso del producto químico en sí y por la generación de lodos químicos que requieren un posterior tratamiento y disposición como residuo.

La vía biológica de remoción de fósforo, considera la utilización de microorganismos acumuladores de fósforo que se generan en el tratamiento de aguas residuales por métodos aerobios, principalmente lodos activados en sus distintas versiones. Es una vía económica ya que los mismos microorganismos se encargan de retener el fósforo en una proporción de 2 a 3 veces mayor que el resto de los organismos heterótrofos, presentes en los lodos activados. Su efectividad está en función de exponer de forma continua los microorganismos a condiciones anaerobias como primer contacto con el agua residual cruda para, posteriormente, conducirlos a una etapa aeróbica o de aireación.

Esta sucesión de condiciones favorece el crecimiento de organismos acumuladores de fósforo, que tienen la capacidad de resguardar compuestos orgánicos de muy rápida biodegradación (ácidos grasos volátiles, principalmente) dentro de ellos, durante la etapa anaerobia para, después, oxidarlos y aprovecharlos en su metabolismo en la etapa

aeróbica. El fósforo les proporciona la energía para llevar a cabo dicho funcionamiento, por lo que una vez en la etapa aerobia acumulan dentro de ellos la mayor cantidad de fósforo, para utilizarlo en la etapa anaerobia de acumulación de compuestos orgánicos, y es de esta manera como el efluente de agua tratada puede contener menos fósforo que un efluente convencional de agua residual tratada.

TICSA Grupo EPM ha implementado la remoción biológica de fósforo en sus proyectos de

tratamiento de aguas residuales, que requieren producir un agua de alta calidad, incluyendo un bajo contenido de fósforo; de esta manera, se ha coadyuvado a mejorar las condiciones de cuerpos receptores de agua, tales como el Lago de Cuitzeo y el Río Colima, donde las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales urbanas de las ciudades de Morelia, Colima y Villa de Álvarez, respectivamente, fueron diseñadas, construidas y operadas bajo el esquema de financiamiento conocido como Contrato de Prestación de Servicios (CPS).

4.

Construyendo un nuevo mañana, en TICSA Grupo EPM se ratifica que lo más valioso como organización es la gente

Erika Azucena Martínez Vázquez

Gerente Dirección Desarrollo Humano y
Servicios Corporativos
emartinezv@ticsa.com.mx

En TICSA Grupo EPM, hoy más que nunca, se ratifica que lo más valioso que se tiene como organización son el talento humano y los clientes. Al día de hoy, TICSA Grupo EPM ha diseñado y construido más de 150 plantas de tratamiento de aguas, para satisfacer las necesidades de una población equivalente a 16 millones de habitantes, ofreciendo conocimiento y experiencia para crear soluciones innovadoras que respondan a las necesidades de los clientes industriales y de los gobiernos.

Dentro de los servicios habilitados para los clientes se cuenta con el diseño e ingeniería, construcción, procuración de equipos y materiales, instalación electromecánica, comisionamiento, puesta en marcha, operación, mantenimiento y financiamiento, tanto de plantas nuevas como para la modernización, ampliación o rehabilitación de plantas existentes, o para el manejo integral de servicios hídricos, para lo cual se trabaja con esquemas EPC, O&M y BOT.

TICSA Grupo EPM ha venido fortaleciendo sus procesos de negocio y soporte, posicionándose en las geografías donde tiene presencia. Los

resultados comerciales, técnicos, administrativos y financieros han venido demostrando la capacidad y el potencial de la empresa para fortalecer sus negocios y realizar nuevas operaciones sostenibles, brindando soluciones confiables para el tratamiento de aguas.

Por ello, ante la situación mundial actual, la empresa se ha dedicado no solo a fortalecer los lazos con los clientes y colaboradores, cumpliendo con los protocolos ante la pandemia de COVID-19, sino a mantener el compromiso con la gente y la sociedad en general, enfocándose en el propósito que caracteriza al Grupo: contribuir con la armonía de la vida para un mundo mejor.

Como en todas las organizaciones, se han presentado adversidades y escenarios difíciles, las cuales se han enfrentado apostando a una estrategia basada en el fortalecimiento de los valores corporativos, centrándose en el bienestar de los colaboradores y motivándolos a marcar la diferencia para construir territorios sustentables.

Las condiciones actuales han orientado la gestión del personal de forma distinta, poniendo a su alcance no solo la tecnología sino canales de comunicación, flexibilidad y acercamiento a cada uno de los clientes, lo que ha permitido crear una mayor conciencia y cercanía a pesar de la distancia. TICSА Grupo EPM se caracteriza por ser una organización donde el valor agregado es el trato y el cuidado de su talento y de sus clientes; cimentada en la honestidad y transparencia que le han permitido seguir creciendo sobre bases sólidas, no solo en el territorio nacional sino internacionalmente.

La propuesta de valor de TICSА es ofrecer a sus clientes soluciones integrales confiables para el tratamiento de aguas y a cada uno de los colaboradores una estabilidad laboral, oportunidades de crecimiento y desarrollo, pero sobre todo la posibilidad de incursionar en un sector, con gran impacto social, que conlleva a la utilización de nuevas tecnologías en el manejo de aguas residuales y la innovación en todas las áreas de la empresa, manteniendo este compromiso a pesar de la emergencia sanitaria actual de COVID-19.

El esfuerzo para que los colaboradores tengan sentido de pertenencia por TICSА Grupo EPM y transmitirlo a los clientes, se logra a través del correcto trato diario en donde se reconoce cada logro, motivando al personal a enfrentar con pasión cada uno de los nuevos retos que se presentan.

4.1 ¿Cómo se prepara TICSА para la nueva normalidad?

Bajo la premisa de que tanto el personal como los clientes son lo más importante, la estrategia corporativa ha sido la comunicación constante donde se da a conocer cada una de las propuestas, basadas en protocolos analizados y con un marco referenciado en fuentes de información oficiales, benchmarking de los diferentes sectores, tendencias de recursos humanos y medidas de seguridad e higiene acordadas con los clientes.

Para esta nueva etapa llamada nueva normalidad, se han generado protocolos y filtros de seguridad en todos los centros de trabajo y para todos los colaboradores que se encuentran en cada planta, oficinas corporativas y sucursales, apegados a las medidas de la OMS e Instituciones gubernamentales.

Se han proporcionado además, elementos de protección personal a los colaboradores para su cuidado individual, tales como cubrebocas, caretas y gel antibacterial, así como la implementación de toma de temperatura, llenado de los cuestionarios requeridos, señalamiento y aplicación de las medidas de sanitización correspondientes; se desarrollaron también protocolos especiales y nuevos lineamientos para los visitantes y proveedores que acuden a las instalaciones de la empresa.

De igual forma, se han mantenido las líneas de apoyo hacia los colaboradores para analizar inquietudes o aspectos emocionales y para los clientes al canalizar información fidedigna y oportuna ante un posible caso de contagio por COVID-19. Se han readaptado los procesos de afluencia, guardando siempre la sana distancia y fortaleciendo en cada momento las medidas de prevención para mitigar riesgos.

En TICSА Grupo EPM, se continuará con el compromiso de trabajo constante en esta nueva normalidad y se extenderán las campañas de información manteniendo el puente de comunicación con los grupos de interés, para continuar brindando soluciones integrales y confiables a los clientes, con el firme propósito de seguir construyendo territorios sustentables.

4.2 Cómo se ha logrado la unión TICSА – EPM

En primer lugar, se parte de la idea que el talento no solo se gestiona, sino que se potencializa a través de la transferencia del conocimiento para trascender fronteras. Incentivado una cultura incluyente, como se hace en EPM, y comulgando con

sus valores, lo que ha permitido que la integración haya sido asimilada y valorada fácilmente por los colaboradores, es decir, encaminados desde sus inicios, en la misma dirección.

En segundo lugar, se ha trabajado día a día en la fórmula sin conciencia no hay valor, esto quiere decir que se fomenta en los colaboradores la importancia de pertenecer a EPM, un grupo con alto sentido de responsabilidad social y cuidado de los recursos naturales. TICSA Grupo EPM al dedicarse al uso y reúso del agua (líquido vital en el planeta) fomenta el sentido de pertenencia en todos sus colaboradores, al considerar que es parte activa del cambio positivo, no solo para las comunidades o países, sino para el planeta mismo.

Por otro lado, la unión con el grupo empresarial se ha seguido fortaleciendo en los últimos 3 años, con la idea Todos somos TICSA Grupo EPM, un concepto centrado en el trabajo en equipo, que como filosofía interna busca la identidad uno a uno entre cada colaborador con EPM. Se busca la cercanía entre los colaboradores y el grupo empresarial a través de inducciones y canales de comunicación en las que se comparte la visión y la misión, pero sobre todo resaltando la importancia a nivel transnacional que tiene el Grupo.

Hoy en día, los colaboradores de TICSA centran sus pensamientos de forma macro teniendo la claridad que el aporte de su talento y profesionalismo no solo será de impacto y reconocimiento en México y Colombia, sino que, además, puede aportar al desarrollo de otras comunidades y viceversa. Esa motivación ha permitido seguir adelante con la adhesión al Grupo por convicción, dando cada día el mejor esfuerzo para hacer historia con EPM, en el cuidado del medio ambiente y en alcanzar lo inimaginable en la construcción de territorios sustentables y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas.

4.3 Sinergia con EPM

TICSA al formar parte del Grupo EPM, ha logrado una cooperación con el objetivo de conseguir mayores efectos positivos en cada proyecto que se realiza. A partir del trabajo conjunto se ofrece una amplia gama de servicios que va mucho más allá de una simple estrategia comercial; el resultado es un valor agregado que se aporta considerablemente en cada proyecto, cumpliendo con las necesidades de los clientes. La unión entre TICSA y Grupo EPM hace que la acción conjunta tenga como resultado el éxito de la organización, esto se evidencia en la gestión de los proyectos PTAR San Fernando, PTAR El Retiro, Planta Compacta El Escobero, entre otros.

5. Problemáticas de mercado latinoamericano

Según Almar Solutions (2018) la región latinoamericana tiene una tercera parte del agua dulce del planeta, pero posee una cultura de uso ineficiente del agua, representada en una dotación per cápita de 22.929 m³ por persona al año, casi un 300% por encima de la media global del planeta. Además, la región presenta una distribución geográfica desigual en cuanto al agua, se pueden

encontrar zonas con alta riqueza hídrica y otras muy secas.

También, la falta de calidad en la infraestructura lleva a una pérdida del 40% de agua potable antes de que llegue al consumidor, por lo que se debe extraer mayor cantidad de agua de las cuencas para cubrir el déficit, generando aún más ineficiencia.

Patricia Serna Valencia

Jefe Planeación y Desempeño
pserna@ticsa.com.mx

En Latinoamérica, se espera que el mercado de tratamiento de aguas residuales sea el que ofrezca el mayor volumen de oportunidades en los próximos años. Los esfuerzos para aumentar la cobertura del tratamiento de aguas residuales están impulsados por el aumento de la población y el cumplimiento de las regulaciones medioambientales (Almar solutions, 2018).

Para el Global Water Market (2017), las oportunidades más interesantes en la región son las siguientes:

Colombia



El 50% de los municipios tienen cobertura de tratamiento de aguas residuales, se esperan nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales en muchas de las principales ciudades del país, incluyendo Bucaramanga, Cali, Neiva, Pereira, Manizales, Tunja y Bogotá. Igualmente, se espera que surjan oportunidades para el mejoramiento de la eficiencia física de las redes y para el mejoramiento de eficiencias comerciales de las infraestructuras actuales. Asimismo, se espera que se abran oportunidades para la realización de proyectos de provisión de agua urbana en ciudades como Santa Marta, Yopal, Riohacha, Cúcuta y Valledupar.

Brasil



En los próximos años se verá un aumento del mercado de concesiones en Brasil, ya que el país trata de ampliar la cobertura de redes de tratamiento de aguas residuales. La ambiciosa meta de un saneamiento universal requerirá un mayor grado de la participación del sector privado.

Chile



El crecimiento del mercado minero depende de los precios del cobre. Los proyectos de desalación que quedaron en suspenso durante la crisis de los productos básicos están comenzando a moverse de nuevo desde el 2018. Además, la prolongada sequía en Chile está creando oportunidades para la desalación por parte de las empresas de servicios públicos. Por otra parte, se espera que, debido a la escasez de agua, se deban realizar inversiones para aumentar los niveles de agua de reúso y el uso de tecnologías para promover la recuperación de metales.

México



La prioridad para el sector de aguas residuales se ha desplazado a la mejora de las plantas que actualmente no están en funcionamiento (40% de todas las PTAR), lo cual requerirá de la participación del sector privado. En la actualidad, las autoridades están estructurando nuevos programas para incorporar la experiencia del sector privado a fin de mejorar el funcionamiento, las capacidades tecnológicas y financieras de las empresas de servicios públicos.

En cuanto a la desalinización, el Plan Nacional Hídrico (PNH) promueve para estados como Baja California, Baja California Sur y Sonora proyectos para hacer frente al crecimiento de la demanda por aumento de la población.

6. Relaciones económicas sustentables - Futuro de las organizaciones

Juan Carlos Restrepo Perea

Director General

jrestrepo@ticsa.com.mx

En la actualidad, un gran número de compañías consideran las inversiones en proyectos sustentables como un lujo o una simple estrategia de imagen o marketing, derivado en ocasiones de la dificultad de medir, vía indicadores financieros como el pay back, el EBIDTA, flujo de caja libre, entre otros, los impactos de éstas inversiones en las organizaciones. Sin embargo, existen múltiples casos de éxito, en los cuales se puede demostrar que las inversiones en proyectos sustentables, no necesariamente riñen con el incremento del valor de las organizaciones, sino que al contrario permiten incrementarlo de forma directa (Bonini, S. y Swartz, S. 2014).

McKinsey & Company, firma consultora a nivel global, en una de sus investigaciones realizada en 2014 con más de 40 empresas buscando entender los retos y proyectos de sostenibilidad de éstas, concluyó que dichas compañías buscaban, además de un impacto social o ambiental, la perdurabilidad de sus empresas en el tiempo, así las cosas, muchos de estos proyectos cuyos impactos ambientales y sociales eran evidentes, generaban adicionalmente, por ejemplo, la disponibilidad de una materia prima, regulaciones un poco más favorables para sus empresas, incremento de la disponibilidad de mano de obra calificada, preservar el agua, entre otros (Bonini, S. y Swartz, S. 2014).

Otros estudios han concluido que los proyectos y programas de sustentabilidad corporativa no solo tienen una correlación directa con los buenos resultados financieros, sino que son un inductor de creación de valor. Según una investigación del Deutsche Bank, que evaluó 56 estudios académicos, las empresas con altas calificaciones en factores ambientales, sociales y de gobierno

(ASG) tienen un menor costo de deuda y capital; el 89% de los estudios que revisaron muestran que las empresas con altas calificaciones ASG, superan al mercado en el mediano (tres a cinco años) y largo plazo (cinco a diez años). (Fulton, Kahn, y Sharples, 2012).

Estos y otros elementos nos invitan a pensar fuera de la caja con relación a la importancia de implementar proyectos de sustentabilidad en las organizaciones y a buscar relaciones económicas sustentables, mediante las cuales no solo se impacte de forma positiva a los stakeholders en el entorno empresarial, sino que para estos al igual que para las empresas, se genere un beneficio financiero tangible, incrementando su valor y contribuyendo a su permanencia en el tiempo.

Las relaciones económicas sustentables, se definen como aquellas relaciones formales entre instituciones que, sobre la base de desarrollo de acciones, proyectos y estrategias sustentables, pueden generar un beneficio económico donde todos los participantes incrementan su valor financiero y le generen al ecosistema, en el que interactúan, unas externalidades positivas superiores a las negativas.

Específicamente en temas de agua, existe una oportunidad y necesidad sin igual para buscar este tipo de relaciones, dada la importancia que este líquido tiene para las personas, la industria, los gobiernos y el medio ambiente en general. De acuerdo con el Global Water Market (2017), más de 2/3 del territorio mexicano sufre de estrés hídrico, llegando en ocasiones a tener poblaciones casi desérticas, ubicándose principalmente este estrés en el norte de México, donde existe alta actividad económica y una gran población.

Asimismo, durante los últimos 10 años el nivel de extracción de agua se ha incrementado en 14,2% y se proyecta para los próximos 10 años un incremento en el nivel de extracción del 6,2%, lo cual indiscutiblemente llevará a estas regiones a condiciones extremas de escasez del líquido, no solo afectando la actividad económica y la competitividad del país, sino principalmente afectando la vida, dado que mucha de la población humana, animal y vegetal no tendrá acceso al agua para satisfacer sus necesidades básicas.

El crecimiento en la extracción de agua más importante esperado para los próximos 10 años proviene de la industria, que hoy demanda 8,600 m³/año y espera demandar poco más de 10,000 m³/año lo que implica un crecimiento del 17%, lo cual lleva a la pregunta ¿cuál será la fuente de agua para abastecer estas necesidades? Es urgente entonces que, desde ya, el país trabaje en alternativas que permitan garantizar el abastecimiento del líquido a todos los integrantes de este ecosistema.

Aunque el panorama es complejo, no es del todo desalentador, hoy en día se pueden identificar proyectos que claramente muestran estas relaciones económicas sustentables, en zonas del país donde existía el riesgo de afectar a la población, reduciendo la disponibilidad de agua de primer uso, derivado de la actividad industrial, pero con la voluntad y la decisión de sus gobiernos y de la industria, se han logrado beneficios que le generan valor a todas las partes involucradas.

Un ejemplo de esto ocurre en Tampico Tamaulipas, en donde actualmente opera la refinería Francisco I. Madero; por mucho tiempo esta refinería estuvo tomando agua de primer uso, proveniente de la Laguna de Patos, para sus procesos industriales, agua que se debía tratar internamente para lograr las calidades necesarias para las exigencias de sus unidades desmineralizadoras. Esta situación, además de poner en riesgo la disponibilidad de agua para una población de más de 300 mil habitantes, generaba altos costos para la empresa y niveles bajos de eficiencia en sus procesos.

Por otra parte, en esta misma ciudad, el organismo operador de agua, trata de forma eficiente a través de sus plantas de tratamiento de aguas residuales aproximadamente 1,200 litros por segundo de agua, los cuales se estaban tirando a ríos y lagunas, con niveles de calidad superiores a los de estos cuerpos receptores, literalmente se estaba contaminando el agua residual tratada.

La relación económica sustentable, surge a través de un acuerdo de colaboración entre estas dos entidades, quienes convinieron en utilizar el agua residual tratada por el organismo, con los niveles de calidad requeridos por la refinería, logrados a través de unas plantas de tratamiento con procesos de ultrafiltración y de osmosis inversa, construidas por TICSА Grupo EPM. Agua tratada que permite reducir costos, incrementar eficiencia operativa y sustituir el agua de primer uso que estaba demandando la refinería para sus procesos, claramente un proyecto sustentable.

A través de este proyecto de reúso de agua residual tratada a nivel municipal, se generaron beneficios económicos tangibles para la refinería y para el organismo operador, además de impactos ambientales y sociales positivos, dado que la población de esta ciudad cuenta en el presente con recursos que ayudan a garantizar el saneamiento municipal y a contar con mayor disponibilidad de agua de primer uso para su consumo, lo cual asegura al organismo la posibilidad de cubrir la demanda de la población del vital líquido para el futuro.

Así como éste, existen otros casos de éxito encaminados a buscar beneficios económicos sobre la base de proyectos sustentables; sin embargo, no son suficientes dada la urgencia que tiene México de resolver el problema de escasez de agua, situación, que, de no ser atendida de inmediato, generará en el corto plazo el incremento de conflictos sociales entre la población, la industria e instituciones de gobierno por la disponibilidad y prioridad de uso del preciado líquido.

¿Cómo impactar positivamente el mercado latinoamericano con la unión de TICSA y Grupo EPM? El fenómeno de sinergia dentro de cualquier empresa requiere del trabajo y el esfuerzo cotidiano, y esta suma de experiencias y de labores conjuntas permitirán encontrar ideas o habilidades que se irán consolidando, en donde, el resultado final será mucho mayor al resultado que puede dar la suma de las partes.

TICSA y Grupo EPM están totalmente comprometidos a brindar posibilidades de crecimiento y mejora en lo que a la calidad del agua se refiere, ofreciendo soluciones integrales confiables para el tratamiento de aguas en toda Latinoamérica, contribuyendo al mejoramiento y cuidado del agua.

Referencias

- Almar Solutions (2018). Desafíos y oportunidades de agua en Latinoamérica. <https://rb.gy/9qhxpr>
- Bonini, S. Swartz, S. (2014). Profits with purpose: How organizing for sustainability can benefit the bottom line. McKinsey & Company.
- Fulton, M., Kahn, B. y Sharples, C. (2012). Sustainable Investing: Establishing Long-Term Value and Performance, DB Climate Change Advisors. www.dbadvisors.com
- Global Water Market (2017). Global Water Market 2017: The Americas. Oxford, Media Analytics Ltd.

Cómo citar este artículo:

TICSA Grupo EPM. (2021). TICSA Soluciones integrales confiables factibles para el tratamiento de aguas. *Revista EPM*, (17). 114-143.

Información sobre la Revista EPM

Luz Beatriz Rodas Guerrero

Profesional Gestión Humana y Organizacional

Teléfonos. 380 6341 - 380 6523

e-mail. luz.rodas@epm.com.co

Revista impresa en papel reciclado en Colombia, mediante el aprovechamiento de materias primas obtenidas a partir de material posconsumo.

estamos ahí. comprometidos con el cuidado del medio ambiente.



estamos ahí.