Aporte Santiaguino 8, 2015: 389-420
ISSN 2070-836X

Modelo para la simulación dinámica de la demanda local de agua, como herramienta de toma de decisiones sostenibles frente al desafío del cambio climático

Dynamic simulation model for local water demand as a tool for sustainable decision-making against climate change challenge

MARIO ALEJANDRO NUDELMAN[1], RAFAEL PÉREZ-GARCÍA[2] Y ANTONIO CASELLES MONCHO[3]

RESUMEN

El cambio climático se presenta para la sociedad toda como el desafío más interpelante frente al cual no se tiene registros históricos ni experiencia previa suficiente para la valoración de su total alcance y consecuencias. Una de las evidencias que comienza a emerger y que pondrá en riesgo las condiciones de vida de nuestras comunidades tal cual las conocemos, son las alteraciones del Ciclo Hidrológico en todas las regiones. Frente a este escenario se propone a nivel internacional lineamientos generales para el planteo de políticas adaptativas al cambio climático donde se destaca lo que podríamos llamar "enfoque inteligente local": esto es, capacidad de registrar, informar, diseñar alternativas viables, decidir basados en la evidencia. El trabajo, apoyado en la Teoría General de Sistemas, plantea en primer lugar un Modelo para la Sostenibilidad del Ciclo del Agua, a nivel de identificación de sus variables principales e interrelaciones contenidas en un Diagrama de Forrester. Luego se enfoca en la demanda local de agua, distinguiendo particularidades agrupadas geográficamente en los diversos sectores que componen el ejido municipal de la localidad tomada de referencia (Fontana, Chaco, Argentina). El modelo de simulación dinámica obtenido permitirá comprender el comportamiento de la demanda de agua, ante escenarios diversos según las principales variables identificadas. Esto constituirá un instrumento pertinente a la hora de contar con evidencias para el diseño de objetivos de políticas que busquen un equilibrio de oferta y demanda, especialmente frente a escenarios de escasez de agua y olas de calor que pudiesen acarrear un crecimiento superlativo del consumo.

Palabras clave: teoría general de sistemas; simulación dinámica; sostenibilidad; gestión de la demanda; adaptación al cambio climático.

ABSTRACT

Climate change is presented to society as a whole as the challenge more interpelante against which we do not have historical records or experience enough for the estimation of total scope and consequences. One of the evidences that is beginning to emerge and that will threaten the living conditions of our communities as we know them, are alterations of the hydrological cycle in all regions. Facing this scenario proposed international guidelines for the proposal of adaptive policies to

1 Universidad Autónoma de Entreríos, Oro Verde, Argentina.
2 FluIng – IMM, Universitat Politècnica de Valencia, España.
3 Universitat de Valencia, España.

climate change which highlights what might be called "intelligent local approach": that is, ability to register, report, design viable alternatives and decide based on the evidence. The work, supported by the general theory of systems, raises first a model for the sustainability of the water cycle, at the level of identification of its main variables and relationships contained in a diagram of Forrester. It then focuses on local water demand, distinguishing features grouped geographically in the various sectors that make up the municipal area of the town taken from reference (Fontana, Chaco, Argentina). Retrieved dynamic simulation model will allow to understand the behavior of water demand, before various according to the main variables identified scenarios. This will constitute an instrument that is relevant when it comes to having evidence for the design of policy objectives that seek a balance of supply and demand, especially against scenarios of water shortage and heat waves that could lead to a superlative growth in consumption.

Keywords: general theory of systems; dynamic simulation; sustainability; management of the demand; adaptation to climate change.

INTRODUCCIÓN

El trabajo destaca los efectos del cambio climático sobre el Ciclo Hidrológico en América Latina, y especialmente en un punto de la Cuenca del Plata donde se ubica una localidad de referencia donde se centró un trabajo de investigación para la construcción de un Modelo de Simulación de la Sostenibilidad del Ciclo Urbano del Agua. Dicho Modelo, presentado en el SELASI del 2012 , constituye el marco del subsistema Consumo de Agua, en la presentación actual. Se destaca la información desde un enfoque sistémico que aporta dicho Subsistema, para comprender la demanda como "caja transparente", y de esta forma, disponer de evidencia georreferenciada a la hora de fundamentar programas pertinentes de gestión de la demanda, tendientes a buscar equilibrios de calidad de los servicios, ante la amenaza que ofrecen los actuales informes sobre cambio climático en la región. De esta manera, se contribuye a la ejecución de políticas de carácter adaptativo a los principales desafíos que ofrecen las modificaciones del ciclo hidrológico en tanto "extremización" de las precipitaciones e incidencia prolongada de olas de calor en la región en estudio.

ALTERACIONES DEL CICLO HIDROLÓGICO PREVISTAS POR CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL ÁREA DE REFERENCIA

La extralimitación en las emisiones de CO2 como expresión de las actividades humanas en el planeta, presentan un panorama sombrío en cuanto a sus consecuencias en las condiciones climáticas globales. El último Informe del IPCC (Intergoverment Panel of Climate Change) , brinda una detallada información acerca de los impactos sobre las sociedades, los sistemas productivos primarios y los ecosistemas, como parte de un enfoque adaptativo, ante las modificaciones muchas veces abruptas a las cuales se verán sujetas todas las regiones del planeta.

Tabla 1. Tipo y magnitud de riesgos claves para América Central y del Sur

Riesgo Clave	Cuestiones de Adaptación y Perspectivas	Marco temporal		Riesgo y Potencial de adaptación
Disponibilidad de agua en las regiones semiáridas y dependientes del deshielo de los glaciares y en América Central; inundaciones y deslizamientos de tierra en zonas urbanas y rurales debido a la precipitación extrema (nivel de confianza alto)	* Gestión integrada de los recursos hídricos * Gestión de inundaciones urbanas y rurales (incluida la infraestructura), sistemas de alerta temprana, mejores predicciones meteorológicas y de la escorrentía, y control de enfermedades infecciosas			+baj medi +alt
		Presente		
		2030/40		
		2080 2100	2º	
			4º	
				
Menor producción de alimentos y calidad alimentaria (nivel de confianza medio)	* Desarrollo de nuevas variedades de cultivos más adaptadas al cambio climático (temperatura y sequía) * Compensación de los impactos de la menor calidad alimentaria en la salud humana y animal * Compensación de los impactos económicos del cambio de uso del suelo * Fortalecimiento de los sistemas y prácticas derivadas de los conocimientos indígenas tradicionales.		+baj	medi +alt
		Presente		
		2030/40		
		2080 2100	2º	
			4º	
				
Difusión de enfermedades transmitidas por vectores en altitud y latitud (nivel de confianza alto)	* Desarrollo de sistemas de alerta temprana para el control y mitigación de enfermedades basado en fuentes climáticas o de otro tipo pertinentes. Hay muchos factores que inducen una mayor vulnerabilidad * Establecimiento de programas para ampliar los servicios básicos de salud pública.		+baj	medi +alt
		Presente		
		2030/40		
		2080 2100	2º	No está disponible
			4º	No está disponible
				
Referencias				
Motores Climáticos de los impactos				Nivel Riesgo y Potencial adaptación
				

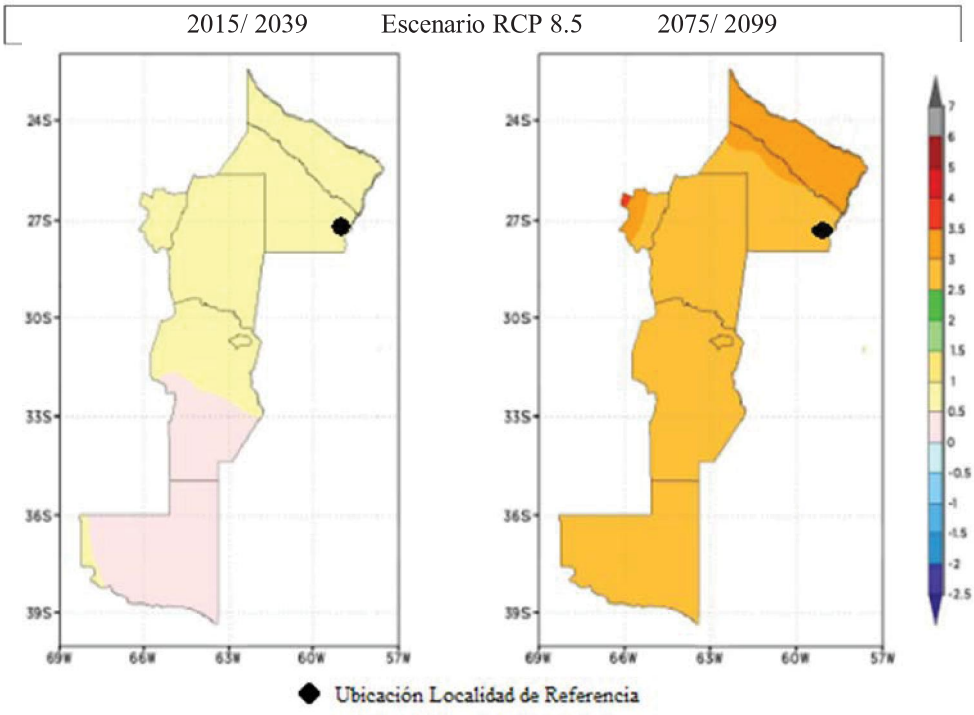
Fuente: Intergoverment Panel of Climate Change [1]

La tabla 1 que sigue a continuación, muestra un resumen de los principales riesgos a que se verá sujeta América Central y del Sur con motivo del Cambio Climático. Estos riesgos, están avalados por estudios sectoriales citados por el propio IPCC y que quedan expresados por el término "Nivel de Confianza Alto" o "Nivel de Confianza Medio", según el grado de certeza alcanzado en dichos estudios. La segunda columna aporta información sobre los principales ejes de medidas "adaptativas" que deberán encararse. Dentro de la lógica de enfoque adaptativo, aparecen primero una valoración del riesgo, expresado en la última columna. En la misma puede visualizarse el potencial de riesgo que puede disminuirse en la medida de que se pongan en marcha las principales medidas adaptativas enunciadas. Queda en evidencia que el enfoque adaptativo considera que cuanto más rápido se implante tipos de medidas como las presentadas, disminuirán hacia niveles medios o bajos los impactos. Además, que el riesgo aumenta con el tiempo, de acuerdo a las actuales trayectorias previstas de aumento del CO2 atmosférico. Para finales del siglo, serán decisivas las emisiones de CO2 que hoy deben remitirse, lo cual condicionará el aumento del promedio de temperatura global en relación al período pre-industrial: la valoración del riesgo puede alcanzar niveles máximos si es que dicho promedio llega a valores de +4ºC. Ahora bien, ¿de qué manera estos grandes impactos modificarán el comportamiento del Ciclo Hidrológico? La tabla 1 presentada es de carácter general, pero puede visualizarse las consecuencias altamente negativas que tendrán para la subregión andina, la práctica desaparición de los glaciares de las altas cumbres. Hoy mismo se está registrando aumentos de los caudales por el deshielo casi permanente de dichos reservorios. Debe sumarse en la otra punta precipitaciones que se vuelven fenómenos extremos, con consecuencia en inundaciones alternando también con fenómenos extremos de sequías.

Pero la diferenciación de la densidad de cuencas superficiales y subterráneas en la vasta superficie de América Central y del Sur, lleva a la necesidad de contar con información más específica, atentos a los objetivos del presente artículo. Por ello, luego de la tabla del IPCC, figuran los resultados del Tercer Comunicado Nacional sobre Cambio Climático en Argentina , donde está localizado un caso de Referencia (Municipio de Fontana, ubicado en el Gran Resistencia, Provincia del Chaco) para alcanzar niveles de concreción compatibles con los mismos.

Las figuras 1 y 2 siguientes informan sobre las temperaturas y precipitaciones proyectadas según el escenario RCP 8.5 diseñado por el IPCC para la situación más desfavorable (incrementos de 3.7° por sobre el promedio de temperatura en período pre-industrial). La lectura experta de dicha información indica: "En los dos escenarios RCP, tanto para el futuro cercano como lejano, la región presenta calentamientos que van de 0 y 1°C en el futuro cercano hasta 2,5 a 3,5°C en el norte de la región en el futuro lejano. En todos los casos el calentamiento sería mayor en el norte que en el centro y sur de la región. (Confianza media) (…).Las proyecciones de las precipitaciones indican que no habrá mayores cambios en la precipitación en el futuro cercano (confianza alta), aunque la magnitud de los cambios presenta gran

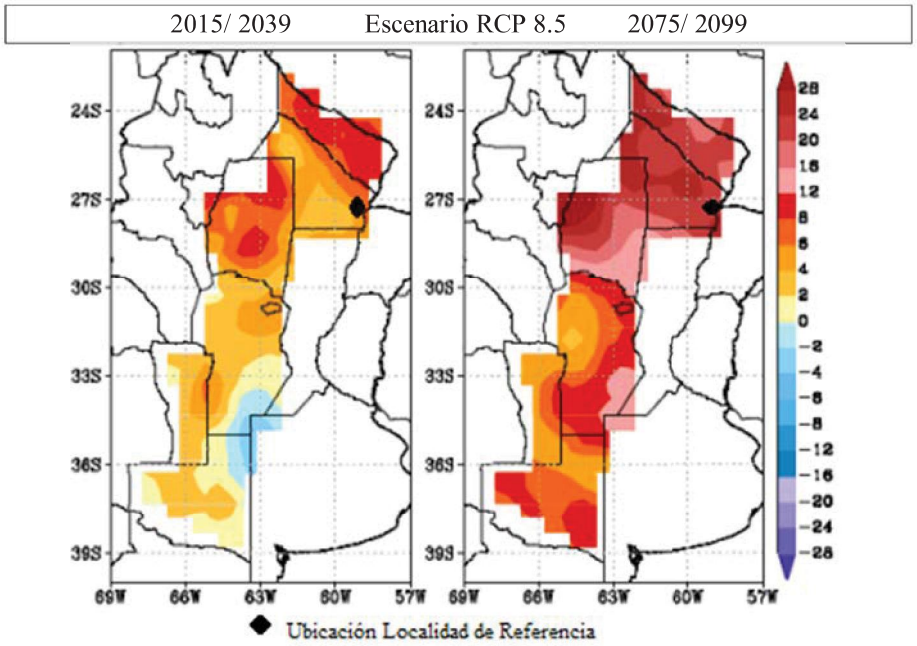
Figura 10. Prospectiva de cambios de la Temperatura Media Anual (en ºC) con respecto al período



Fuente: Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera [2]

dispersión en el futuro lejano" [4] Para completar este panorama de impacto sobre el ciclo urbano del agua en la sub-región en estudio, es preciso conocer el comportamiento del río Paraná, principal fuente de provisión de agua de las ciudades del Litoral argentino, y que tiene sus nacientes en Brasil. Para ello se tuvo en cuenta el trabajo de R. Saurral, del año 2010 quien utilizó para la determinación de temperaturas y precipitaciones estimadas los modelos MCGs (Modelos Generales de Circulación), introduciéndole correcciones que permitieron un ajuste al

Figura 11. Prospectiva de cambios de la Precipitación Diaria Máxima del año (en mm) con respecto al período 1986 – 2005 en la Región Centro de Argentina



Fuente: Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera [3]

comportamiento de la región donde estos principales ríos tienen sus nacientes, considerando estaciones ya establecidas para el estudio de caudales.

Las tablas 2 y 3 transcriben los resultados obtenidos de porcentajes de crecimiento de caudales en los puntos pertenecientes al Río Paraná y al más influyente afluente del mismo, el Iguazú. Tomando esta prospectiva como referencia, el escenario extremo futuro que más impactará en la región en estudio es la de las inundaciones. Un crecimiento de caudal del río Iguazú, que marca directamente el ritmo de crecidas del Paraná en el litoral argentino, de un tenor superior al 100% sobre los promedios de caudales del 99/90 para el año 2030 generará un impacto de inundaciones que afectará a toda esta vasta área, que cuenta con un sistema de asentamientos de las principales ciudades de las provincias ribereñas.

Tabla 10. Diferencia relativa (%) en el caudal para las futuras décadas (2030 and 2070) con respecto al promedio 1990 -99 de los escenarios A1B, A2 y B1 y por cada uno de los cinco MCGs en Jupiá en el Río Paraná. Para cada modelo y escenario, el número en la parte superior corresponde a la variación en el caudal de verano (DEF), el número en el medio a la variación en el invierno (JJA), y el número al final al caudal anual. El conjunto de promedios de los cinco modelos es desplegado al final de la tabla".

	2030			2070		
	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1
CNRM	−29	−26	−37	−25	−5	−25
	−4	1	1	−5	3	5
	−9	−4	−14	0	−2	10
ECHAM	−10	−10	3	0	17	6
	−14	−9	−4	9	16	−12
	−4	−8	1	5	20	−3
GFDL2.0	−58	−21	−6	−46	−44	−48
	−35	−25	−21	−33	−9	−26
	−24	−3	14	−33	−12	−27
CGCM	22	55	8	20	156	55
	30	73	15	14	66	15
	35	99	14	21	114	30
GISS	102	—	109	152	—	103
	51	—	31	10	—	16
	74	—	64	74	—	46
Mean	6	0	15	20	31	18
	6	10	4	−1	19	−1
	14	21	16	13	30	11

Tabla 11. Como la tabla anterior, pero para la Estación Salto Caixas en el Río Iguazú

	2030			2070		
	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1
CNRM	173	188	184	203	220	217
	49	47	56	48	72	34
	136	153	149	147	167	159
ECHAM	49	87	71	61	74	52
	17	77	35	46	118	37
	45	91	69	66	125	65
GFDL2.0	201	211	151	196	246	176
	−14	0	3	40	11	−16
	74	75	64	90	111	62
CGCM	45	41	23	29	48	15
	74	104	27	35	95	33
	41	55	21	27	60	16
GISS	36	—	40	40	—	33
	39	—	59	60	—	63
	27	—	46	38	—	44
Mean	101	132	94	106	147	99
	32	57	36	46	74	30
	65	94	70	74	116	69

Fuente: Saurral (2010) [6]

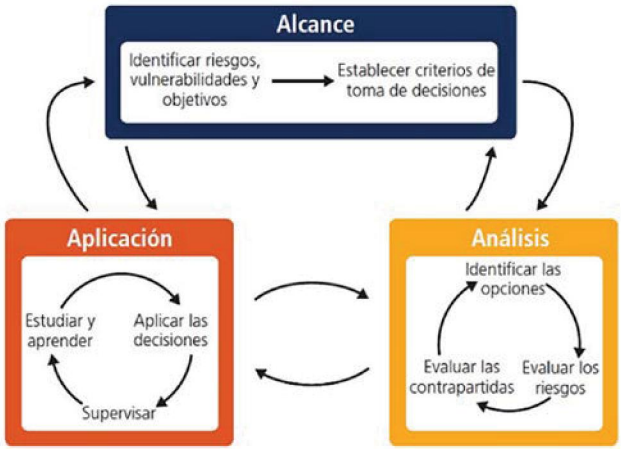
LINEAMIENTOS PARA POLÍTICAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

¿Cómo hacer frente a dichos conflictos crecientes que tendrán aparejados los cambios del ciclo hidrológico?. La formulación de modelos puede resultar una herramienta de gran utilidad en la resolución de la conflictividad creciente a la que se verán sujetos los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento. No hay que olvidar que dicha conflictividad se suma a la existente en el momento presente, agudizando las situaciones problema y sobre-cargando la capacidad de respuesta local y regional. El IPCC propone el siguiente modelo conceptual a la hora de enfocarse en los procesos de toma de decisiones ante un panorama cambiante, incierto y extremo como el presentado en la figura 3:

El esquema precedente, como puede visualizarse, es de carácter iterativo. Implica en los diversos niveles de la sociedad, la incorporación del conocimiento climático experto, para internalizar en los procesos de toma de decisiones que impliquen el desarrollo, los riesgos que el cambio climático acarrea y acarreará. Puede visualizarse además atributos que hacen a los procesos de aprendizaje, no ya a nivel individual, sino a nivel de actores sociales y de estos interrelacionados. Es notable cómo este modelo conceptual del 2014, remite al lector a los planteos de Fromm, en los 70: la necesidad de ajustar los procesos de planificación/toma de decisión no solo a las necesidades en virtud de los recursos disponibles, sino también incorporando la

visión y participación según niveles de responsabilidad, de los mismos implicados [8].

Figura 12. Adaptación al cambio climático como proceso de gestión iterativa del riesgo con múltiples retroalimentaciones. Las personas y los conocimientos configuran el proceso y sus resultados



Fuente: IPCC (2015) [7]

Pueden redactarse entonces, en el campo del ciclo urbano del agua, las siguientes recomendaciones:

- Contribuir a generar en el campo del Ciclo Urbano del Agua un cambio de los estilos de vida, de un modelo consumista irrestricto donde se parte del falso concepto de "Crecimiento indefinido" (donde en su versión referida al Agua sería "Siempre vamos a disponer del agua que necesitemos") con un deterioro del medio ambiente y también de las posibilidades de acceso de franjas sociales a un bien natural imprescindible para la vida, a otro estilo de vida donde se pueda verificar dichas consecuencias y actuar bajo restricciones consensuadas y conscientes que permitan un acceso equitativo al recurso según las características regionales del medio natural.
- La vocación de este modelo no será de "producto terminado e infalible", sino más bien de un proceso de progresiva integración, tanto de conocimiento técnico-científico, como de factores aportados por las visiones de los distintos actores sociales intervinientes en el Ciclo. También donde las repetidas aplicaciones y verificaciones y ajustes aporten una mayor certeza en cuanto a las variables-objetivo que muestren el equilibrio entre demandas, calidad del servicio y condiciones ambientales.
- Los beneficiarios y participantes de este proceso serán los ciudadanos, instituciones públicas y empresas del asentamiento, quienes buscarán con el consenso alcanzar niveles de sostenibilidad creciente, según los términos que se

especificarán más adelante. Sin dudas, el gobierno local y una vocación democrática sostenida serán una condición imprescindible de viabilidad.

- Para que el punto precedente tenga consistencia, también las formas que pueda adquirir a futuro el instrumento serán de vital importancia. "Las denominadas "interfaces amigables" serán la "cara" que posibilite la apropiación de dicho instrumento a nivel local. Su utilización en los procesos de decisiones bajo las condiciones altamente limitadas de lo local dependen de ello" [9].

Por último, las opciones tecnológicas que se desprenden como ejes de I+D+i a la hora de enfocarnos en líneas de solución, siempre de carácter iterativo pueden ser las siguientes:

- Planteo de Sistemas de Abastecimiento de múltiples fuentes (Cursos superficiales / Subterráneos/ Precipitaciones), con Aumento de la Capacidad de Almacenamiento (Centralizada /Comunitaria /Individual) de agua de red o de agua de lluvia. Aumento de la capacidad de captura de agua cruda de escorrentía en coordinación con Recolección y Disposición de Residuos Sólidos para el mantenimiento de las condiciones de calidad.
- Integración de sistemas extensos o localizados de distribución de agua no potable con reutilización de aguas blancas para destinarlas a consumos que no necesiten agua potable.
- Sistemas de Control y Mantenimiento de la calidad de agua en almacenamientos.
- Planes de Contingencia que establezcan normas de conductas, recursos y responsabilidades según los sistemas de alerta temprana de Crecidas de Ríos, Olas de Calor, Sequías.
- Normativas y Sistemas de información que permitan construir un Sistema de Agua y Saneamiento adaptativo y resiliente según las condiciones locales imperantes.
- Enlace del Sistema de Información del Servicio de Agua y Saneamiento con los Sistemas de Vigilancia Epidemiológica para la alerta temprana y mitigación de enfermedades de origen hídrico.

Sin dudas, en el contexto sintéticamente planteado, el Sistema de Ciencia y Tecnología tiene una responsabilidad mayúscula de brindar todo tipo de soportes, asistencia técnica e innovación a los efectos de que los gobiernos locales puedan disponer de herramientas para encarar estos procesos adaptativos. El costo humano que significará para todos los niveles de la sociedad, pero primeramente para los más vulnerables, es inversamente proporcional a los avances en adaptación que hoy se vayan produciendo.

CONDICIONES ESTRUCTURALES DE LOS SERVICIOS DE AGUA Y SANEAMIENTO DE REGIONES EN VÍAS DE DESARROLLO

Pero las políticas adaptativas no partirán de 0 ni de situaciones altamente ventajosas en cuanto a calidad de servicio en agua y saneamiento. Por ello, es bueno conocer cuáles serían en términos estructurales las situaciones más comprometidas en este campo, y las dificultades a la hora de plantear un modelo de simulación que

favorezca la toma de decisiones sostenibles. La falta total o parcial de un ordenamiento urbano previo a la función "habitar" en las localidades de regiones en vías de desarrollo, con preeminencia de áreas pobladas con áreas residenciales en planta baja, muestran un panorama heterogéneo y por lo tanto diverso y complejo a la hora de modelizar las condiciones de sostenibilidad.

Para una comprensión de los factores que deben ser tenidos en cuenta a la hora de la instrumentación de un Modelo, se planteó el siguiente diagrama conceptual acerca de las tres funciones que operan el equilibrio del Ciclo Urbano del Agua, en cuanto al sector "Provisión de Agua Potable".

Función "Distribución"

Si las condiciones urbanas vienen pautadas por la condición "Primero habito, luego mejoro y desarrollo el hábitat construido", base sobre la cual se definen a posteriori la expansión de los servicios de provisión de agua, es la demanda la que aparece como motor de los mismos. Por lo tanto, es fundamental conocer las particularidades de dicha demanda para conocer el comportamiento presente y futuro de los servicios, que operan siempre como reacción de coyuntura y no como planificación basada en una prognosis definida.

Dicha demanda estará caracterizada por las condiciones socio-económicas, culturales y habitacionales de los grupos que agregativa y progresivamente fueron tomando posesión del espacio urbano. El objetivo principal de este trabajo está centrado justamente en el conocimiento de las variables que influyen sobre dicha demanda.

La satisfacción de la demanda, a su vez, queda expresada en tipos de formas de distribución del agua que van desde una distribución por red según una calidad con un estándar más o menos ajustado a normativas de servicio pautadas, hasta expresiones informales fuera de todo control y responsabilidad social. A su vez, dentro del Servicio por red, las deficiencias de la calidad de servicio, son subsidiadas directamente por los usuarios con sistemas complementarios para alcanzar la satisfacción de la demanda. La tabla 4 clasifica las formas heterogéneas de distribución del agua, mostrando desde una calidad considerada "razonable" de servicio para estas regiones, hasta formas atribuibles a niveles mínimos de subsistencia.

Forma de provisión	Estándar de Servicio	Componente Tecnológico que se suma a la Instalación de Agua		
		Almacenamientos a nivel de tierra	Equipos de Bombeos	Almacenamientos elevados de distribución
Centralizada: Red de Distribución	Altura Piezométrica entorno a los 8 m.c.a			
	Menos 8 m.c.a hasta 2 m.c.a en horario punta.			Tanques compensadores entre 500 y 1000 lts
	Menos 2 m.c.a en horario punta y valle	Tanques enterrados entre 500 y 1000 lts	Bombas elevadoras entre ½ y ¾ HP	Tanques de distribución entre 500 y 2000 lts.
Complementación de Fuentes				
In Situ: Agua de Precipitaciones	Precipitaciones superiores a los 100 mm anuales	Cisternas entre 10.000 y 30.000 lts	Opcional Bombas elevadoras entre ½ y ¾ HP	Opcional Tanques de distribución entre 500 y 2000 lts.
In Situ: Agua Subterránea	Calidad de Agua compatible con los requerimientos del Código alimentario		Equipos de Bombeo Profundidad entre 20 y 40 mts.	Tanques de distribución entre 500 y 2000 lts.

Función "Acceso"

Existe una correlación entre las heterogéneas formas de distribución y las tipologías tecnológico-constructivas necesarias para poder "acceder" a dicha heterogénea forma de distribución de agua. La tabla 5 sintetiza dichas tecnologías que permiten que los usuarios dispongan del recurso según los tipos de distribución de agua, concentrados en Redes de Distribución.

Estas Tipologías Tecnológicas muchas veces se dan en forma combinada, según las condiciones particulares y estacionales en que se da la distribución del agua, como así también a las condiciones económicas a que se ven sujetos los usuarios. Por otra parte, en los sectores formalizados de distribución por red, estas instalaciones cumplen también el cometido del cumplimiento de las condiciones pactadas por la empresa distribuidora y el gobierno local para poder acceder al servicio.

Función "Mantenimiento"

Subsistema Demanda de Agua			
CAGU	**Promedio de Consumo por Usuario y Manzana**	**M3/Mz**	**Subsistema desarrollado al detalle en próximo punto 6**

Variables vinculadas a la Gestión de la Demanda a Nivel de Usuario y Utilización de fuentes alternativas			
SEAL	Selección de un porcentaje de Manzanas en forma aleatoria para complementar consumo con Agua de Lluvia	N° de Mz	Manzanas objeto de un programa de uso eficiente del agua difundido por medios de comunicación social
SEFO	Selección de un porcentaje de Manzanas en forma focalizada para complementar consumo con Agua de Lluvia	N° de Mz	Manzanas objeto de un programa de uso eficiente del agua focalizado solo en Mz. deficitarias.
EFAL	Porcentaje de Consumo que se reduce por Uso Eficiente del Agua en Mz con selección aleatoria	M3/mes	Disminución del Consumo por efecto campaña en medios de comunicación
EFFO	Porcentaje de Consumo que se reduce por Uso Eficiente del Agua en Mz con selección focalizada	M3/mes	Disminución del Consumo por efecto campaña focalizada.
PPSE	Promedio de Precipitaciones por Semestre en la Localidad	Mm /Semestre	Disponibilidad de Agua por Precipitaciones en la localidad
COLT	Consumo de agua de Lluvia Teórico	M3/ Semestre x Mz	Consumo de Agua de Lluvia en virtud de los m2 de captación disponible.

Fuente: Elaboración Propia

Esta función es la que permite extender los objetivos de eficiencia a lo largo del tiempo.

Tienen un doble cometido: mantener el acceso al servicio a lo largo del tiempo (por ejemplo manteniendo los intercambios pago de tarifa contra prestación del servicio) como el cumplimiento de los objetivos de calidad de agua hasta el punto de consumo, según las necesidades que se satisfagan. Dicha función en los aspectos

tarifarios, queda sujeta a lo que se denomina "Voluntad de pago" [12] mientras que en los aspectos de calidad, queda transferida tácitamente a los usuarios, en virtud de la ubicación de los componentes tecnológicos de Accesos, dentro del espacio privado.

MODULO PARA LA SIMULACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA

El presente módulo forma parte de un Modelo más extenso denominado de la "Sostenibilidad del Ciclo Urbano del Agua, desarrollado detalladamente en la ponencia presentada en el SELASI realizado en La Habana en el año 2012.
El subsistema presentado responde a un estudio multivariante basado en el análisis de información primaria fruto de una encuesta sobre condiciones de consumo de agua realizada en el año 2003 en el Municipio de Referencia seleccionado (Fontana, Provincia del Chaco en el nordeste de la República Argentina). Dicha Encuesta tomó una muestra representativa en sectores residenciales con selección aleatoria de usuarios según estratos de manzanas definidos a partir de las condiciones de habitabilidad predominante en las mismas. Resultó un total de 927 encuestas sobre un total de 5690 unidades de consumo (Estimación basada en el Censo 2001). Para los análisis de consumo se dispuso del padrón de usuarios del servicio de agua potable de 1992 usuarios residenciales que contaban con micromediciones al año 2003.

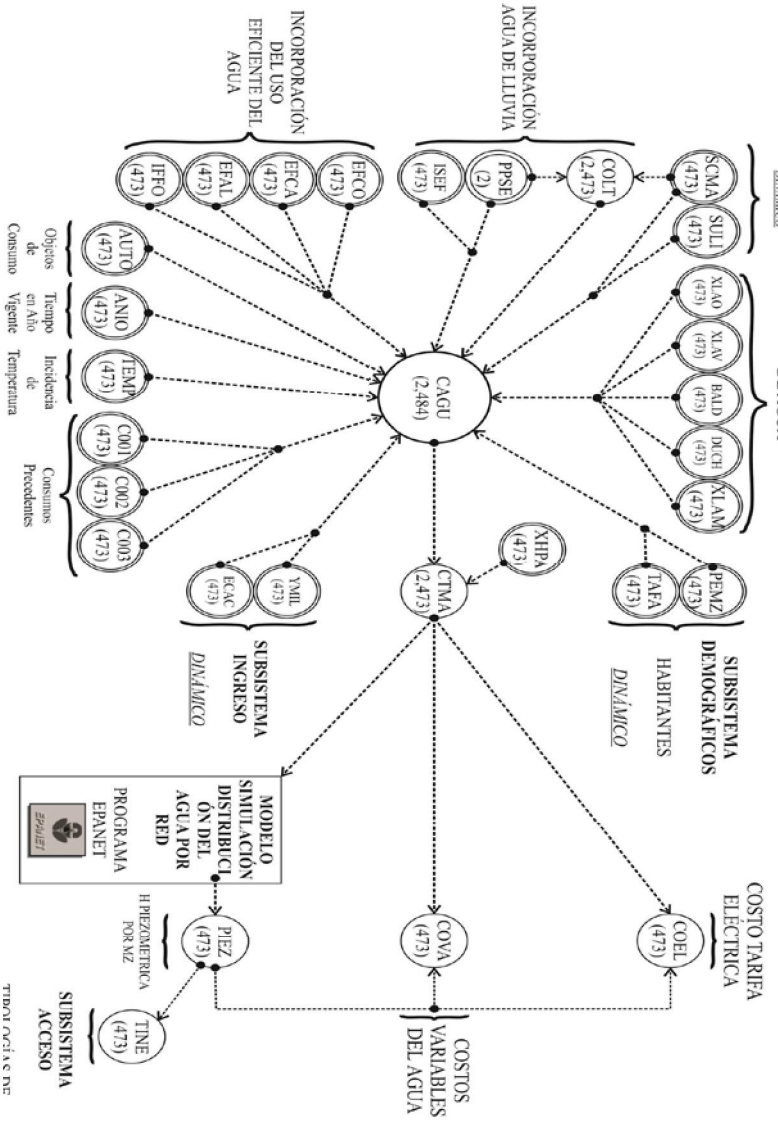


Figura 13. Diagrama de Forrester del Subsistema "Demanda de Agua". Fuente: Elaboración Propia

A los efectos de disponer de información estadísticamente válida en las 473 manzanas residenciales que componen el ejido municipal, se realizó una interpolación geográfica de la información (Arc view GIS 3.2). La unidad territorial de análisis determinada fue la Manzana, por lo que toda la información de consumo y variables en estudio fue calculada según dicha unidad (Promedio x Manzana).

El análisis multivariante se realizó mediante la utilización del software REGINT [13] considerando un total de doce variables en relación al consumo por semestre (Promedio de Consumos por Manzana en Semestre "cálido" y en Semestre "frío"). Un resultado previo revelador fue el detectar que podría obtenerse correlaciones con el consumo analizando no la totalidad de la información sino según un agrupamiento por Chacra [14] .En este trabajo se presentan los resultados para 6 (seis) Chacras, mientras el resto se encuentra aun en estudio. Las Ecuaciones resultantes fueron incorporadas a la codificación diseñada siguiendo el Diagrama de Forrester resultante de la interacción de las variables que explican el Consumo de Agua por Manzana. Junto con ellas aparecen por una parte la relación con los subsistemas del entorno sistémico presentado en el SELASI 2012. Pero, además, a modo de flujograma de información, la derivación de resultados a un sub-modelo de la red de abastecimiento de agua obtenido aplicando el Programa EPANET y el desarrollo GIS Red, lo cual permitirá visualizar el comportamiento de la presión en los nudos y el consecuente estándar de servicio en cada una de las manzanas servidas (Variable PIEZ de la figura 4).
A continuación de la figura 4 aparece la tabla 4 con la presentación de cada una de las variables intervinientes.

Tabla 4. Subsistema "Demanda de Agua"

Variables Intervinientes en el "Subsistema Demanda"			
Código	Nombre de la Variable	Unidad	Observaciones
NMAN	Número de Manzanas	Nº Mz	Número de Manzanas comprendidas en el Ejido (Término) municipal
INCH	Número de manzana en que se inicia cada chacra	Nº	Número auxiliar que indica el cambio de Chacra en el proceso de cálculo
BALD	Número medio de baños con ducha "a balde" por manzana	Nº	Indica la falta de disposición de ducha en la Instalación de Agua
XLAV	Número medio de lavadoras automáticas por manzana	Nº	Disponibilidad de Lavadoras Automáticas en la Mz
XLAO	Número medio de lavabos por manzana	Nº	Disponibilidad de Lavabos en los baños de la Mz
DUCH	Número medio de Higiene Personal usando ducha por manzana	Nº	Disponibilidad de Duchas en los baños de la Mz
XLAM	Número medio de Lavado de Ropa a Mano por manzana	Nº	Promedio de Unidades en la Manzana donde se lava la ropa a mano

ANIO	Año dentro del cual se efectuó consumo de agua potable dentro de la Chacra	Años a partir de 1995	Partiendo como año inicial aquel a partir del cual se dispone registros de micromediciones domiciliarias
YMIL	Ingreso medio por manzana, sobre población total	Pesos	∑ Ingresos en la Mz / Población Total de la Mz (por razones de cálculo/1000)
ECAC	Ingreso medio por manzana, sobre población económicamente activa	Pesos	∑ Ingresos en la Mz / Población E.A. de la Mz (por razones de cálculo/1000)
PEMZ	Número de personas por manzana	Nº Personas	Nº de personas que habita en la manzana (por razones de cálculo/1000)
TAFA	Tamaño medio de las familias de la Mz.	Nº Personas	Promedio x Mz del Nº de integrantes (por razones de cálculo/1000)
SULI	Promedio de Superficie Libre en cada parcela por Manzana	M2	Promedio de Superficie sin construir en cada parcela por Mz (por razones de cálculo/1000)
SCMA	Promedio de Superficie Cubierta construida en cada Parcela por Manzana	M2	Promedio de Superficie construida en cada parcela por Mz (por razones de cálculo/1000)
AUTO	Promedio de Autos particulares por Manzana	N°	Forma de dimensionar uso del agua para lavado periódico de autos
CO01	Promedio de Consumo de Agua por Manzana y Semestre durante el año 2001	M3	Patrón de consumo por Manzana del año 2001 como Variable Independiente que influye sobre el patrón general o del año subsiguiente en la Chacra (por razones de cálculo/1000)

Tabla 4. Subsistema "Demanda de Agua"

Variables Intervinientes en el "Subsistema Demanda"			
Código	Nombre de la Variable	Unidad	Observaciones
CO02	Promedio de Consumo de Agua por Manzana y Semestre durante el año 2002	M3	Patrón de consumo por Manzana del año 2002 como Variable Independiente que influye sobre el patrón general o del año subsiguiente en la Chacra (por razones de cálculo/1000)
CO03	Promedio de Consumo de Agua por Manzana y Semestre durante el año 2003	M3	Patrón de consumo por Manzana del año 2003 como Variable Independiente que influye sobre el patrón general o del año subsiguiente en la Chacra (por razones de cálculo/1000)
TEMP	Promedio de Temperatura de cada Semestre y Año	°C	Temperatura obtenida en la estación meteorológica más cercana al Municipio de Referencia (por razones de cálculo/1000)
CAGU	Consumo de Agua por parcela y manzana	M3	Consumo calculado diferencialmente según la Chacra donde se esté ubicado
XHPA	Número de parcelas por manzana	Nº	Cantidad de parcelas en que fue loteada cada Mz
CTMA	Consumo total por manzana y día promedio semestral	M3	CAGU x XHPA /30
SEAL	Selección de un porcentaje de Manzanas en forma aleatoria para complementar consumo con Agua de Lluvia	N° de Mz	Manzanas objeto de un programa de uso eficiente del agua difundido por medios de comunicación social
SEFO	Selección de un porcentaje de Manzanas en forma focalizada para complementar consumo con Agua de Lluvia	N° de Mz	Manzanas objeto de un programa de uso eficiente del agua focalizado solo en Mz. deficitarias.

EFAL	Porcentaje de Consumo que se reduce por Uso Eficiente del Agua en Mz con selección aleatoria	M3/mes	Disminución del Consumo por efecto campaña en medios de comunicación
EFFO	Porcentaje de Consumo que se reduce por Uso Eficiente del Agua en Mz con selección focalizada	M3/mes	Disminución del Consumo por efecto campaña focalizada.
PPSE	Promedio de Precipitaciones por Semestre en la Localidad	Mm /Semestre	Disponibilidad de Agua por Precipitaciones en la localidad
COLT	Consumo de agua de Lluvia Teórico	M3/ Semestre x Mz	Consumo de Agua de Lluvia en virtud de los m2 de captación disponibles.

Fuente: Elaboración Propia

ECUACIONES ACTUALMENTE EN EVALUACIÓN

Las que siguen a continuación son las ecuaciones representantes de la variabilidad de la demanda, que alcanzaron un Coeficiente de Determinación aceptable para cada Chacra componente del término municipal de Fontana y las cuales actualmente estan en período de evaluación (Prueba de Kolmogorov-Smirnoff y Error estadístico de los resultados).

CAGU Chacra 37 a 40 – Semestre1 (Cálido) – Coeficiente de Determinacion R2= 0.803

h=3.081907748804457e+001-
1.351429400299261e+003*(BALD(i1)*SCMA(i1))+1.156926607959956e+003*(BALD(
i1)*YMIL(i1))-2.153807245174447e+001*(DUCH(i1)*XLAO(i1)-
4.158565581524871e+002*(YMIL(i1)*YMIL(i1))

AA=16435.101869377431*((BALD(i1)*SCMA(i1))-
0.006332)^2+11233.244583511367*((BALD(i1)*YMIL(i1))-
0.005209)^2+4.764687026067*((DUCH(i1)*XLAO(i1)-0.755138
)^2+3859.681762078099*((YMIL(i1)*YMIL(i1))-0.008047)^2

AB=-2*10944.339894779960*((BALD(i1)*SCMA(i1))-
0.006332)*((BALD(i1)*YMIL(i1))-0.005209)

AC=2*181.872162830637*((BALD(i1)*SCMA(i1))-
0.006332)*((DUCH(i1)*XLAO(i1)-0.755138)

AD=2*6748.835769277135*((BALD(i1)*SCMA(i1))-
0.006332)*((YMIL(i1)*YMIL(i1))-0.008047)

AE=-2*55.553403113610*((BALD(i1)*YMIL(i1))-
0.005209)*((DUCH(i1)*XLAO(i1)-0.755138)

AF=-2*4055.581561509233*((BALD(i1)*YMIL(i1))-
0.005209)*((YMIL(i1)*YMIL(i1))-0.008047)

AG=2*86.104438257044*((DUCH(i1)*XLAO(i1)-0.755138
)*((YMIL(i1)*YMIL(i1))-0.008047)

s=1.308039*sqr(1+1/35+AA+AB+AC+AD+AE+AF+AG) (1)

CAGU Chacra 37 a 40 – Semestre 2 (Frío) Coeficiente de Determinación R2= 0.892

h= 4.803558126974103e+000 + -1.295353712747910e+003*(BALD(i1) *
PEMZ(i1)) + 6.443848896086640e+002 *(BALD(i1) *
SULI(i1))+7.158699806539819e+002*(BALD(i1) * YMIL(i1))

AA= 10266.300507383368*((BALD(i1) * PEMZ(i1))-0.005928
)^2+5260.952340437043*((BALD(i1) * SULI(i1))-
0.010788)^2+8027.285838346739*((BALD(i1) * YMIL(i1))-0.005209)^2

AB= 2*-5725.981263105973*((BALD(i1) * PEMZ(i1))-0.005928)*((BALD(i1)
* SULI(i1))-0.010788)

AC= 2*924.197171099735*((BALD(i1) * PEMZ(i1))-0.005928)*((BALD(i1) *
YMIL(i1))-0.005209)

AD= 2*-3914.036644367193*((BALD(i1) * SULI(i1))-0.010788)*((BALD(i1) * YMIL(i1))-0.005209)
s= 1.188879*sqr(1+1/35+AA+AB+AC+AD) (2)

CAGU Chacra 41 – Semestre 1 (Cálido) Coeficiente de Determinación R2= 0.983

h=8.107279727767550e-002-1.116407972403929e+000*(ANIO(i1)*TEM1(i1))
AA=210737.170866348980*((ANIO(i1)*TEM1(i1))- 0.060597)^2
s=0.000220*sqr(1+1/35+AA) (3)

CAGU Chacra 41 – Semestre 2 (Frío) Coeficiente de Determinación R2= 0.836

h= -2.052974729236798e+000 + 4.134865608929356e+000*(1/ANIO(i1))
AA=2360421.282533907300*((1/ANIO(i1))-0.499551)^2
s= 0.000687*sqr(1+1/35+AA) (4)

CAGU Chacra 42 – Semestre 1 (Cálido) Coeficiente de Determinación R2= 0.977

h=2.469659197536780e+002-8.470088550790401e+001*(1/ANIO(i1))-1.675169176740869e+002*exp(0.100000*ANIO(i1))
AA= 142293985211.24161*((1/ANIO(i1))-0.500151)^2+597161535224.86389*(exp(0.100000*ANIO(i1))-1.221330)^2
AB= 2*291500199725.25665*((1/ANIO(i1))-0.500151)*(exp(0.100000*ANIO(i1))-1.221330)
s=0.000407*sqr(1+1/35+AA+AB) (5)

CAGU Chacra 42 – Semestre 2 (Frío) Coeficiente de Determinación R2= 0.807

h= -9.124977690985817e+002 + 1.076878847603510e+003*(1/ANIO(i1)) + 5.396628691985615e+002 *(log(ANIO(i1)))
AA= 688603448198.073240000000*((1/ANIO(i1))-0.500151)^2+172285095116.303680000000*((log(ANIO(i1)))-0.692846)^2
AB= 2*344435877308.496700000000*((1/ANIO(i1))-0.500151)*((log(ANIO(i1)))-0.692846)
s= 0.000842*sqr(1+1/35+AA+AB) (6)

CAGU Chacra 43 – Semestre 1 (Cálido) Coeficiente de Determinación R2= 0.866

h= -1.394256413717146e+004+1.647207705028611e+004*(1/ANIO(i1))+8.23279195048010 3e+003*(log ANIO(i1))
AA=1262345333000.9075*((1/ANIO(i1))-0.500029)^2+315680425508.78088*((logANIO(i1))-0.693091)^2
AB=2*631266676150.03259*((1/ANIO(i1))-0.500029)*((logANIO(i1))-0.693091)
s=0.003515*sqr(1+1/35+AA+AB) (7)

CAGU Chacra 43 – Semestre 2 (Frío) Coeficiente de Determinación R2= 0.828

h= 2.491761325540402e+003 + 6.225108418363101e+002*(ANIO(i1) * ANIO(i1)) + -2.490897392260018e+003 *(ANIO(i1))
AA= 4937393224.045956600000*((ANIO(i1) * ANIO(i1))-3.999561)^2+78975077407.176895000000*((ANIO(i1))-1.999889)^2
AB= 2*-19746668546.988541000000*((ANIO(i1) * ANIO(i1))-3.999561)*((ANIO(i1))-1.999889)
s= 0.002328*sqr(1+1/35+AA+AB) (8)

CAGU Chacra 44 – Semestre 1 (Cálido) Coeficiente de Determinación R2= 0.682

h= 3.276979978383005e+001 + 1.790945531842004e+000*(DUCH(i1) * C031(i1)) + 9.912864794938923e+000 *(TAFA(i1) * C011)-2.561775800340850e+001*(sqr(DUCH(i1)))-5.659970732256450e+000*(sqr(C031(i1)))
AA= 0.010194934562*((DUCH(i1) * C031(i1))-9.906592)^2+0.263469760712*((TAFA(i1) * C011)-0.607578)^2+2.871327290878*((sqr(DUCH(i1)))-0.865828)^2+0.400002161533*((sqr(C031(i1)))-3.525724)^2
AB= 2*0.003609817019*((DUCH(i1) * C031(i1))-9.906592)*((TAFA(i1) * C011)-0.607578)
AC= 2*-0.158764764312*((DUCH(i1) * C031(i1))-9.906592)*((sqr(DUCH(i1)))-0.865828)
AD= 2*-0.060972883578*((DUCH(i1) * C031(i1))-9.906592)*((sqr(C031(i1)))-3.525724)
AE= 2*-0.084855490858*((TAFA(i1) * C011)-0.607578)*((sqr(DUCH(i1)))-0.865828)
AF= 2*-0.069474796757*((TAFA(i1) * C011)-0.607578)*((sqr(C031(i1)))-3.525724)
AG= 2*0.955615534851*((sqr(DUCH(i1)))-0.865828)*((sqr(C031(i1)))-3.525724)
s= 3.310847*sqr(1+1/35+AA+AB+AC+AD+AE+AF+AG) (9)

CAGU Chacra 44 – Semestre 2 (Frío) Coeficiente de Determinación R2= 0.932

h= -1.149575596233329e+000 + 1.033394048568070e+000*(C032(i1)) + 1.736999137165106e+001 *(1/C032(i1))+-1.898360437699116e+000*(exp(-0.100000*C022(i1)))

AA= 0.001875375551*((C032(i1))-12.771734)^2+34.636566220132*((1/C032(i1))-0.088089)^2+0.698351336605*((exp(-0.100000*C022(i1)))-0.402484)^2

AB= 2*0.216971986703*((C032(i1))-12.771734)*((1/C032(i1))-0.088089)

AC= 2*-0.000256315769*((C032(i1))-12.771734)*((exp(-0.100000*C022(i1)))-0.402484)

AD= 2*-0.745012947958*((1/C032(i1))-0.088089)*((exp(-0.100000*C022(i1)))-0.402484)

s= 1.141102*sqr(1+1/35+AA+AB+AC+AD) (10)

CAGU Chacra 45 – Semestre 1 (Cálido) Coeficiente de Determinación R2= 0.787

h=9.589201829261533e-001+1.388620492855219e+001*(TAFA(i1)*C011(i1))-1.800049983142845e-001*(C011(i1)*C011(i1))+2.200956350503084e-001*(C011(i1)*C021(i1))+1.704560691328512e+000*(exp(0.100000*CO03(i1)))

AA=2.952086659964*((TAFA(i1)*C011(i1))-0.321587)^2+0.000366549017*((C011(i1)*C011(i1))-99.974238)^2+0.000479759106*((C011(i1)*C021(i1))-83.340862)^2+0.005843717789*((exp(0.100000*CO03(i1))-2.861843)^2

AB=-2*0.015722325305*((TAFA(i1)*C011(i1))-0.321587)*((C011(i1)*C011(i1))-99.974238)

AC=2*0.013769376524*((TAFA(i1)*C011(i1))-0.321587)*((C011(i1)*C021(i1))-83.340862)

AD=-2*0.025533568806*((TAFA(i1)*C011(i1))-0.321587)*((exp(0.100000*CO03(i1))-2.861843)

AE=-2*0.000414366655*((C011(i1)*C011(i1))-99.974238)*((C011(i1)*C021(i1))-83.340862)

AF=2*0.000379639850*((C011(i1)*C011(i1))-99.974238)*((exp(0.100000*CO03(i1))-2.861843)

AG=-2*0.000394038821*((C011(i1)*C021(i1))-83.340862)*((exp(0.100000*CO03(i1))-2.861843)

s=2.415264*sqr(1+1/35+AA+AB+AC+AD+AE+AF+AG) (11)

CAGU Chacra 45 – Semestre 2 (Frío) Coeficiente de Determinación R2= 0.922

h= 2.679039248521098e+000 + 2.350932308009209e-002*(1/TEM2(i1)) + 9.789891296461299e-001 *(log(TEM2(i1)))
AA= 1465.822805589972*((1/TEM2(i1))-40.260717)^2+2386750.504174021100*((log(TEM2(i1)))+3.694698)^2
AB= 2*59147.043996724620*((1/TEM2(i1))-40.260717)*((log(TEM2(i1)))+3.694698)
s= 0.000471*sqr(1+1/35+AA+AB) (12)

CAGU Chacra 46 – Semestre 1 (Cálido) Coeficiente de Determinación R2= 0.738

h=9.405179270909800e+000+1.303531075121132e+002*(TAFA(i1)*XLAV(i1))+1.703939375930131e+001*(YMIL(i1)*XLAO(i1)) - 2.822452265058277e+001*(1/DUCH(i1))+2.611987434590440e+001*(1/XLAO(i1))
AA=1146.707781135041*((TAFA(i1)*XLAV(i1))-0.006684)^2+14.940235040672*((YMIL(i1)*XLAO(i1))-0.093307)^2+4.919812943306*((1/DUCH(i1))-3.580403)^2+4.191338569795*((1/XLAO(i1))-3.864641)^2
AB=-2*29.480554636427*((TAFA(i1)*XLAV(i1))-0.006684)*((YMIL(i1)*XLAO(i1))-0.093307)
AC=-2*26.630879895221*((TAFA(i1)*XLAV(i1))-0.006684)*((1/DUCH(i1))-3.580403)
AD=2*24.617962245698 *((TAFA(i1)*XLAV(i1))-0.006684)*((1/XLAO(i1))-3.864641)
AE=-2*1.992911372906*((YMIL(i1)*XLAO(i1))-0.093307)*((1/DUCH(i1))-3.580403)
AF=2*1.853071703269*((YMIL(i1)*XLAO(i1))-0.093307)*((1/XLAO(i1))-3.864641)
AG=-2*4.540915169092*((1/DUCH(i1))-3.580403)*((1/XLAO(i1))-3.864641)
s=1.398164*sqr(1+1/35+AA+AB+AC+AD+AE+AF+AG) (13)

CAGU Chacra 46 – Semestre 2 (Frío) Coeficiente de Determinación R2= 0.781

h= -4.410547272121510e+000 + -8.426932880243730e-001*(XLAO(i1) * C012(i1)) + 2.722530505492488e+000 *(exp(0.100000*C012(i1)))+7.082630545649797e+000*(sqr(XLAV(i1)))+3.286714169789567e+001*(sqr(YMIL(i1)))
AA= 0.008404068073*((XLAO(i1) * C012(i1))-7.176106)^2+0.038571741108*((exp(0.100000*C012(i1)))-2.933541)^2+2.091415627313*((sqr(XLAV(i1)))-0.379329)^2+9.650983159769*((sqr(YMIL(i1)))-0.332807)^2
AB= 2*-0.013161857283*((XLAO(i1) * C012(i1))-7.176106)*((exp(0.100000*C012(i1)))-2.933541)
AC= 2*-0.065838036920*((XLAO(i1) * C012(i1))-7.176106)*((sqr(XLAV(i1)))-0.379329)
AD= 2*-0.169475083665*((XLAO(i1) * C012(i1))-7.176106)*((sqr(YMIL(i1)))-0.332807)

AE= 2*0.137282778440*((exp(0.100000*C012(i1)))-2.933541)*((sqr(XLAV(i1)))-0.379329)

AF= 2*0.310879411590*((exp(0.100000*C012(i1)))-2.933541)*((sqr(YMIL(i1)))-0.332807)

AG= 2*0.179631501435*((sqr(XLAV(i1)))-0.379329)*((sqr(YMIL(i1)))-0.332807)

s= 1.303725*sqr(1+1/35+AA+AB+AC+AD+AE+AF+AG) (14)

CAGU Chacra 47 – Semestre 1 (Cálido) Coeficiente de Determinación R2= 0.808

h=-4.677508930260714e+001+1.266837727919172e+003*(SULI(i1)*YMIL(i1))+8.056630433531446e+001*(SULI(i1)*XLAO(i1))-7.544713893855356e+002*(YMIL(i1)*YMIL(i1))+5.009196109575697e+000(1/SULI(i1))

AA=11308.172928390179*((SULI(i1)*YMIL(i1))-0.026333)^2+21.055156766401*((SULI(i1)*XLAO(i1))-0.150098)^2+4419.743121702183*((YMIL(i1)*YMIL(i1))-0.025976)^2+0.136736319505*((1/SULI(i1))-6.193227)^2

AB=2*223.734946391996*((SULI(i1)*YMIL(i1))-0.026333)*((SULI(i1)*XLAO(i1))-0.150098)

AC=-2*6984.734005145042*((SULI(i1)*YMIL(i1))-0.026333)*((YMIL(i1)*YMIL(i1))-0.025976)

AD=2*35.775054663716*((SULI(i1)*YMIL(i1))- 0.026333)*((1/SULI(i1))-6.193227)

AE=-2*150.531648334618*((SULI(i1)*XLAO(i1))-0.150098)*((YMIL(i1)*YMIL(i1))-0.025976)

AF=2*0.967929200283*((SULI(i1)*XLAO(i1))-0.150098)*((1/SULI(i1))-6.193227)

AG=-2*21.901901598152*((YMIL(i1)*YMIL(i1))-0.025976)*((1/SULI(i1))-6.193227)

s=1.621388**sqr(1+1/35+AA+AB+AC+AD+AE+AF+AG) (15)

CAGU Chacra 47 – Semestre 2 (Frío) Coeficiente de Determinación R2= 0.862

h= -1.273959557798468e+001 + 2.121218289166152e-002*(C012(i1) * C022(i1)) + -2.143708955906181e-001 *(C022(i1) * C032(i1))+1.708456460679722e+000*(C022(i1))+8.986235835386692e+000*(exp(0.100000*C032(i1)))

AA= 0.000049292697*((C012(i1) * C022(i1))-69.131360)^2+0.002604817931*((C022(i1) * C032(i1))-66.754982)^2+0.199326657582*((C022(i1))-7.197774)^2+1.989934165583*((exp(0.100000*C032(i1)))-2.520662)^2

AB= 2*-0.000216334018*((C012(i1) * C022(i1))-69.131360)*((C022(i1) * C032(i1))-66.754982)

AC= 2*0.000952412859*((C012(i1) * C022(i1))-69.131360)*((C022(i1))-7.197774)

AD= 2*0.005465206686*((C012(i1) * C022(i1))-69.131360)*((exp(0.100000*C032(i1)))-2.520662)

AE= 2*-0.020974059665*((C022(i1) * C032(i1))-66.754982)*((C022(i1))-7.197774)

AF= 2*-0.069963367872*((C022(i1) * C032(i1))-66.754982)*((exp(0.100000*C032(i1)))-2.520662)

AG= 2*0.554951143250*((C022(i1))-7.197774)*((exp(0.100000*C032(i1)))-2.520662)

s= 0.870920*sqr(1+1/35+AA+AB+AC+AD+AE+AF+AG) (16)

CAGU Chacra 48 – Semestre 1 (Cálido) Coeficiente de Determinación R2= 0.798

h= 4.611132930538291e+001 + 3.596991626604801e+002*(AUTO(i1) * AUTO(i1)) + -1.148844754537627e+003 *(TAFA(i1) * DUCH(i1))+3.272976635573022e-001*(XLAO(i1) * C021(i1))+3.709217741994769e-001*(exp(0.100000*C011(i1)))

AA= 9838.133360479540*((AUTO(i1) * AUTO(i1))-0.001469)^2+42895.079757060441*((TAFA(i1) * DUCH(i1))-0.036189)^2+0.003860336826*((XLAO(i1) * C021(i1))-11.938612)^2+0.003173907856*((exp(0.100000*C011(i1)))-4.015299)^2

AB= 2*-5549.852885223585*((AUTO(i1) * AUTO(i1))-0.001469)*((TAFA(i1) * DUCH(i1))-0.036189)

AC= 2*-1.715718397820*((AUTO(i1) * AUTO(i1))-0.001469)*((XLAO(i1) * C021(i1))-11.938612)

AD= 2*-1.371526268190*((AUTO(i1) * AUTO(i1))-0.001469)*((exp(0.100000*C011(i1)))-4.015299)

AE= 2*-5.696519701843*((TAFA(i1) * DUCH(i1))-0.036189)*((XLAO(i1) * C021(i1))-11.938612)

AF= 2*-0.893088985243*((TAFA(i1) * DUCH(i1))-0.036189)*((exp(0.100000*C011(i1)))-4.015299)

AG= 2*-0.000856229924*((XLAO(i1) * C021(i1))-11.938612)*((exp(0.100000*C011(i1)))-4.015299)

s= 1.174304*sqr(1+1/35+AA+AB+AC+AD+AE+AF+AG) (17)

CAGU Chacra 48 – Semestre 2 (Frío) Coeficiente de Determinación R2= 0.841

h= -4.172630162269493e+000 + -3.869777388826985e-002*(1/TEM2(i1)) + -1.553490995226156e+000 *(log(TEM2(i1)))
AA= 1403.345799553395*((1/TEM2(i1))-40.513370)^2+2287841.843074603900*((log(TEM2(i1)))+3.700937)^2
AB= 2*56661.180562294678*((1/TEM2(i1))-40.513370)*((log(TEM2(i1)))+3.700937)
s= 0.000295*sqr(1+1/35+AA+AB) (18)

CAGU Chacra 49 – Semestre 1 (Cálido) Coeficiente de Determinación R2= 0.862

h= 1.174524059132316e+001 + -9.377450030848290e+002*(ECAC(i1) * TAFA(i1)) + 2.450575965294377e-001 *(1/BALD(i1))+-2.303116444178642e-001*(1/XLAV(i1))
AA= 438694.865399425440*((ECAC(i1) * TAFA(i1))-0.004695)^2+0.021075905313*((1/BALD(i1))-34.988411)^2+0.018644684147*((1/XLAV(i1))-41.340600)^2
AB= 2*-55.000887652568*((ECAC(i1) * TAFA(i1))-0.004695)*((1/BALD(i1))-34.988411)
AC= 2*50.267105344013*((ECAC(i1) * TAFA(i1))-0.004695)*((1/XLAV(i1))-41.340600)
AD= 2*-0.019813176095*((1/BALD(i1))-34.988411)*((1/XLAV(i1))-41.340600)
s= 0.242013*sqr(1+1/35+AA+AB+AC+AD) (19)

CAGU Chacra 49 – Semestre 2 (Frío) Coeficiente de Determinación R2= 0.829

h= -1.184204112226301e+004 + -2.000902659711452e+002*(SCMA(i1) * XLAM(i1)) + 1.179064031791510e+004 *(exp(0.100000*PEMZ(i1)))
AA= 36658.430173449058*((SCMA(i1) * XLAM(i1))-0.046097)^2+115973938.806756760000*((exp(0.100000*PEMZ(i1)))-1.005578)^2
AB= 2*-2055421.908212003300*((SCMA(i1) * XLAM(i1))-0.046097)*((exp(0.100000*PEMZ(i1)))-1.005578)
s= 0.178183*sqr(1+1/35+AA+AB) (20)

A continuación se presentan las tablas 5 y 6, las cuales, a modo de síntesis de las ecuaciones precedentes, contienen las transformadas contenidas en las mismas. A partir de su lectura se podrá obtener aspectos específicos de los patrones de comportamiento de la demanda estudiados en el presente caso de referencia.

Tabla 5. Transformadas por Chacra que conforman las ecuaciones que explican la

Variabilidad de la demanda del agua para el semestre 1 "frio"

	Transformada 1	Transformada 2	Transformada 3	Transformada 4
Chacras 37-40	BALD * SCMA	BALD*YMIL	DUCH*XLAO	YMIL*YMIL
Chacra 41	ANIO*TEM1	xxx	xxx	Xxx
Chacra 42	1/ANIO	exp(0.1*ANIO)	xxx	Xxx
Chacra 43	1/ANIO	log(ANIO)	xxx	Xxx
Chacra 44	DUCH*C031	TAFA*C011	sqr(DUCH)	sqr(C031)
Chacra 45	ECAC*PEMZ	DUBA*PEMZ	DUBA*XLAM	C031*CO31
Chacra 46	TAFA*XLAV	YMIL*XLAO	1/DUCH	1/XLAO
Chacra 47	SULI*YMIL	SULI*XLAO	YMIL*YMIL	1/SULI
Chacra 48	AUTO*AUTO	TAFA*DUCH	XLAO*C021	exp(0.1*C011)
Chacra 49	ECAC*TAFA	1/BALD	1/XLAV	Xxx

Tabla 6. Transformadas por Chacra que conforman las ecuaciones que explican la

Variabilidad de la demanda del agua para el semestre 2 "cálido"

	Transformada 1	Transformada 2	Transformada 3	Transformada 4
Chacras 37-40	BALD*PEMZ	BALD*SULI	BALD*YMIL	Xxx
Chacra 41	1/ANIO	xxx	xxx	Xxx
Chacra 42	1/ANIO	log(ANIO)	xxx	Xxx
Chacra 43	1/ANIO	log(ANIO)	xxx	Xxx
Chacra 44	C032	1/C031	exp(-0.1*C022)	
Chacra 45	1/TEM2	log(TEM2)	xxx	Xxx
Chacra 46	XLAO*C012	exp(0.1*C012)	sqr(XLAV)	sqr(YMIL)
Chacra 47	C012*C022	C022*C032	C022	exp(0.1*C032)
Chacra 48	1/TEM2	log(TEM2)	xxx	Xxx
Chacra 49	SCMA*XLAM	exp(0.1*PEMZ)	xxx	Xxx

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Aplicando a nuestro objeto principal de atención lo que propone Edgar Morin [17], el establecimiento de un sistema no debe ser abordado como una verdad definitiva, sino como una oportunidad de diálogo con una realidad compleja que se desentraña no por una limitada reducción a componentes elementales, sino comprendida en sus interrelaciones, las cuales en este caso quedan expresadas en estos resultados parciales y provisorios. Se realizó un ingente esfuerzo de mantener un enfoque de "caja transparente", donde se conozcan cuales son las "fuerzas" intervinientes en la definición de la demanda de agua. Las notas salientes generales son las siguientes:

1. Queda clara la relación de la demanda con el territorio. Se alcanzaron niveles aceptables de comprensión de la variabilidad de la demanda a partir de un análisis geográfico de la misma. Se tomó como unidad territorial englobante de la misma a la Chacra, que no deja de ser una unidad territorial de carácter administrativo y por lo tanto arbitrario. Dentro de estas unidades territoriales, habilitadas a su ocupación según el dinamismo propio del crecimiento de la localidad hace más de cien años, podrían registrarse caracterizaciones particulares de los grupos de pobladores que van introduciéndose a procesos de urbanización y socialización que modelan formas comunes de utilización del agua y de las funciones propias de las mismas.
2. Este primer punto lleva a suponer de que puede darse límites irregulares al territorio no ya en función de limites como se dijo arbitrarios, si no en función de formas comunes de consumir el agua. A modo de líneas para trabajos a futuro, cabría la aplicación de metodologías similares a las utilizadas por Manuel Herrera para la determinación de sectorizaciones de redes de abastecimiento de agua según un conjunto establecido de criterios. La identificación de variables aportadas por el presente trabajo constituirían un valioso antecedente para la selección de variables que comprenderían dichos sectores de demanda común a delimitar.
3. Otro aspecto destacable son las diferentes variables implicadas en cada chacra según se trate de un semestre "frío" o cálido.
4. Hay que reconocer que a los efectos de abarcar la totalidad del territorio que comprende la localidad en estudio, se realizaron análisis de multivariante que impliquen el tiempo e inclusive los patrones de consumo de años precedentes. Si bien lo valioso ha sido incorporar ecuaciones explicativas de la demanda para dichas áreas, no se condicen con la búsqueda de "caja transparente" bajo la cual se desarrolló este subsistema del modelo de sostenibilidad del ciclo urbano del agua. Esto abre también las puertas a profundizar a futuro trabajos que logren desentrañar las variables implicadas en sectores urbanos que tengan las características por ejemplo de las Chacras 41, 42, 47 y otras.

Sobre la Gestión de la Demanda

Dichas acciones comprenden obviamente potenciales intervenciones en los sectores urbanos residenciales estudiados. Como ya se destacó en el punto 3 precedente, dichas intervenciones se diferenciarán ya sea se ubiquen en el calendario dentro de

un semestre "frío" o "cálido", en virtud de las variables objetivo que tiendan a modificar la demanda en las chacras implicadas.

1. Un aspecto interesante es visualizar cómo "pares de variables" se potencian entre sí para modificar la demanda. Por ejemplo en el semestre frío, en la chacra 45, la variabilidad de la demanda de la Chacra queda comprendida fundamentalmente por la interacción entre ECAC (Variable Ingreso de las familias) con PEMZ (Cantidad de Personas por Manzana); DUBA (Instalaciones de Ducha y Bañera) y la misma PEMZ, luego la ya mencionada DUBA con XLAM (Modalidad de lavada a mano). Por último la potenciación del patrón de consumo del año precedente.
2. El punto anterior nos muestra la necesidad de concebir medidas "asociadas", integrales, a la hora de intervenir sectores urbanos determinados, ante la necesidad de equilibrar desde la demanda las condiciones del servicio. Para el caso precedente, una estrategia posible pasaría por introducir fontanería de bajo consumo en las Instalaciones de agua domiciliarias, ante la dificultad de control que podrían ofrecer las variables de índole demográfica que se presentarían más bien como escenario.
3. En cuanto a intervenir en el campo de las economías domésticas, podríamos interpretar a ECAC o YMIL, como potenciadoras del consumo en su relación inversa con la tarifa. Cuando esta ultima significa un cada vez menor porcentaje en referencia al ingreso familiar, el consumo asociado a la misma podría crecer sin incidir mayormente en el presupuesto familiar. Una estrategia tarifaria escalonada pero también de carácter territorial, tendría un impacto más relevante y pertinente como medida de control de la demanda.
4. Participan en estas "potenciaciones" variables ligadas a la superficie cubierta (SCMA) y a la superficie libre (SULI). La primera estaría ligada a los consumos de agua en higiene del hogar, lo cual estaría asociado al medioambiente construido y a la calidad de los materiales de las viviendas. Normatizar adecuadamente y facilitar el acceso a terminaciones de viviendas que garanticen una fácil higiene no solo incidiría favorablemente en la disminución de consumo de agua, sino también en la mejora de la salud pública. La segunda variable estaría asociada a los consumos de agua en jardines y parques. Existen estrategias para la utilización de especies de bajo consumo de agua, reemplazo de césped por grava, etc., que podrían incidir positivamente en los sectores donde estas variables potencian la demanda.
5. La temperatura no faltó a la hora del análisis de la demanda, si bien los resultados han sido aún ambiguos. Solo una Chacra, la 41 encontró en la variación de temperatura ambiente una potenciación de la variabilidad de la demanda en el semestre frío. Mientras que en el semestre cálido aparecen dos Chacras, la 45 y la 48. Aunque paradójicamente en estas últimas, una de las transformadas integradas a la ecuación para esos sectores es la inversa de la temperatura. Sin dudas, este también es un campo relevante de trabajo. Se está hablando de condiciones climáticas ordinarias para el período temporal de estudio. Actualmente se está trabajando, por ejemplo en el campo de la salud, estudiando la morbilidad en períodos con temperatura extraordinaria, las llamadas olas de calor. Un estudio particular de la demanda en períodos de temperaturas extraordinarias, aportará información para

determinar de que manera inciden en el consumo y poder hacer previsiones para períodos extensos de olas de calor.

6. Además, el hecho de que solo existiesen tres sectores de Fontana donde la temperatura explique la variabilidad de la demanda, indica también en qué manera los hábitos de consumo responden diferencialmente frente a las condiciones de variación de temperatura ambiente. En el caso de alcanzar situaciones extraordinarias con mayor frecuencia, tal como lo presentan los escenarios climáticos mencionados al principio de este trabajo, indicarían también la incorporación de nuevos hábitos tendientes a mitigar estos efectos, y el agua, sin dudas no estará ausente.

REFERENCIAS

1. Intergovernmental Panel of Climate Change. 2014. "Climate Change 2014. Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for policymakers". *World Meteorological Organization (WMO) y* United Nations Environment Programme (UNEP). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Publicación recuperada 02/02/2015 en: https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WG2AR5_SPM_FINAL.pdf

2. [3] , [4] Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera. 2015. "Cambio climático en la Argentina: tendencias y Proyecciones – Tercer Comunicado Nacional". Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sutentable de la Nación Argentina – Jefatura de Gabinete de la Nación Argentina – Banco Mundial. Buenos Aires (Argentina) recuperado el 18/05/2015 en: http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=13291

5. [6] Saurral, Ramiro. 2010. "The hydrologic cycle of the la plata basin in the wcrp-cmip3 multimodel dataset". American Meteorological Society, Volumen 11. Pp.1100.

7. Intergovernmental Panel of Climate Change. 2013. "Cambio climático 2013. Afirmaciones principales del Resumen para Responsables de Politicas". *World Meteorological Organization (WMO) y* United Nations Environment Programme (UNEP), Berna (Suiza) 2013 . Publicación recuperada 03/03 2015 en http://www.climatechange2013.org/

8. Fromm, Erik. 2010. " La revolución de la esperanza, hacia una tecnología humanizada" – 15° Reinpresión Editorial Fondo de Cultura Económica - Ciudad: México.

9. Nudelman, Mario y Schenone, Carlos. 2013. "Diseño de interfaces cercanas al usuario: aportes desde la investigación a la gestión sostenible del agua en pequeños municipios". XII Simposio Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento de Agua y Drenajes Urbanos SEREA. Buenos Aires (Argentina) 11 al 15 de noviembre.

10. [11] Nudelman, Pérez García y Caselles Moncho. 2012. Sostenibilidad del Ciclo Urbano del Agua: un enfoque sistémico con acento en la demanda. VIII Seminario

Euro-Latinoamericano de Ingenieria de Sistemas. CUJAE. La Habana, Cuba, Septiembre.

12. Altaf, Anjum, Aarón, Jamal y Whittington, Dale. 1992. "Willingess to pay for water in rural Punjab, Pakistan". Water and Sanitation Report Nº 4. United Nations Development Program / World Bank, Water an Sanitation Program. Washington (Estados Unidos de América).

13. Caselles Moncho Antonio. 1998. "REGINT: a tool for discovery by complex function fitting". Cybernetics and Systems '98. Austrian Society for Cybernetic Studies. Vienn, Austria. R.Trappl. Ediciones. 1998, pp 787 – 792

14. Herrera, Manuel. 2007. "Informe preliminar del Análisis de Variables vinculadas al Ciclo Urbano del Agua en el Municipio de Fontana (Argentina). Centro Multidisciplinar de Modelación de Fluidos. Universidad Politécnica de Valencia (España).
15. Casalles Moncho, Antonio y Nudelman, Mario. 2009. "Modelos de Simulación por Ordenador, hacia una herramienta útil para la gestión del agua y el Saneamiento". Editorial de la Universidad de Valencia (formato digital). Valencia (España).
16. Caselles Moncho, Antonio. 1994. "Improvments in the Systems-Based Models Generator SIGEM". Artículo publicado en la Revista "Cybernetics an Systems: An International Journal" Nº 25, pgs. 81 a 103. Viena (Austria).
17. Morin, Edgar. 1998. "Introducción al Pensamiento Complejo". Editorial Gedisa, Barcelona (España)

Correspondencia

Mario Alejandro Nudelman
manudel63@gmail.com

Aporte Santiaguino 8, 2015: 421-432
ISSN 2070-836X

Determinación de las características energéticas de la tusa de maíz con variación de la densidad y relación aire-combustible

Determination of energy characteristics of corncob, with change of density and air-fuel ratio

RAFAEL ESPINOZA ALMACHE[1], GABRIELA TORRES RODRÍGUEZ[2], REINALDO DELGADO GARCÍA[1]

RESUMEN

La producción anual de maíz en El Ecuador es alrededor de 250 mil toneladas, lo que genera unas 45 mil toneladas de tusa. Con el propósito de aprovechar la energía proveniente de la combustión de estos residuos se realizó este estudio con tusa secada en condiciones ambientales cerradas durante un año. Los parámetros utilizados fueron la densificación de los pellets y la relación oxígeno–combustible. Se midió el poder calórico inferior en una bomba calorimétrica adiabática y se obtuvo un valor máximo de 16,07 kJ/g ensayando con pellets de un gramo, de densidad de 909,115 kg/m^3 (presión de compactación de 124 MPa logrados obtenidos con una fuerza de 1 Tonelada) y una relación oxígeno-combustible de 14.7 bar (relación estequiométrica). El análisis bifactorial independiente mostró dos grupos estadísticamente significativos para las dos densidades estudiadas, para las tres cantidades de oxígeno dosificadas el mismo tipo de análisis arrojó dos grupos estadísticamente significativos. El análisis bifactorial combinado mostró que existe relación entre los dos factores estudiados.

Palabras clave: biomasa; entalpía de combustión; poder calórico; tusa de maíz.

ABSTRACT

In Ecuador, the annual corn production is about 250000 tons, which in turn generates around 45000 tons of corncobs. In order to take advantage of energy from the combustion of this waste, the corncob was sundried for one year. The study parameters were pellets densification, and the oxy-fuel ratio. In an adiabatic bomb calorimetry a lower calorific of 16.07 kJ / g was obtained, working with a pellet of one gram, density 909 115 kg / m3 (compaction pressure of 124 MPa achieved with a force of 1 ton) and oxy-fuel ratio of 14.7 bar (stoichiometric ratio). The independent bifactorial analysis showed two statistically significant groups for both studied densities, and for the three amounts of oxygen dosed the same type of statistical analysis showed two significant groups. The combined bifactorial analysis showed that a relationship exists between the two factors studied.

Keywords: biomass; calorific power; combustion enthalpy; corncob.

1 Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sangolquí, Ecuador.
2 Agencia de regulación y control hidrocarburífero ARCH, Conocoto, Ecuador

INTRODUCCIÓN

Toda biomasa con lleva un poder energético producto del ciclo de carbono, en la biomasa sólida, producto de desechos agrícolas, el rastrojo de maíz posee un poder calórico superior a la mayoría sus similares agrícolas.
La combustión de la biomasa en Ecuador está basada en leña, bagazo de caña, cascarilla de arroz, y residuos de maíz. Los estudios para tecnificar este consumo se enfocan en la fabricación de pellet y briquetas.[1]

Los residuos de maíz y en el caso particular de la tusa son abundantes, pues se tiene destinado a su cultivo 761224 toneladas métricas, de los cuales el 40% son residuos totales y el 20% es tusa o elote.[2]
En el presente proyecto se determinó el poder calórico inferior de la tusa de maíz utilizando una bomba calorimétrica adiabática, calibrada previamente con ácido benzoico con variación de la densificación en la compactación de la pastilla y la relación aire combustible (cantidad dosificada de oxígeno).
Las tusas utilizadas fueron de la variedad chillos (*Zea Mays L.*), las cuales se adquirieron desgranadas, tiernas y fueron sometidas a un proceso de secado a condiciones normales en ambiente cerrado durante un año

MATERIALES Y MÉTODOS

Una vez que secadas las tusas durante un año, se midió la humedad con un higrómetro marca DUSIEC, modelo MD 812 con un rango del 5 al 40%, con una resolución de 1%, posteriormente se las sometió a un proceso de pulverización en un molino harinero de fabricación artesanal.
Se construyeron cuatro moldes en el laboratorio de manufactura de la carrera de mecánica con acero de transmisión A-36. Para elaborar las pastillas se colocó la muestra de tusa pulverizada en el interior del molde, posteriormente se las compactó en la máquina de ensayos universales MTS TK /T5002 del laboratorio de resistencia de materiales sometiéndolas a una fuerza de compactación de una tonelada y a dos toneladas para obtener dos densidades diferentes. Estas pastillas se utilizaron como muestras para analizarlas en la bomba calorimétrica adiabática del laboratorio de conversión de motores del Departamento de Ciencias de la Energía. Se procedió a calibrar el equipo, con una pastilla de un gramo de ácido benzoico.[3]
En el equipo se colocó la pastilla previamente compactada, con un peso de un gramo, luego se presurizó la bomba con oxígeno de acuerdo a la relación aire combustible requerida (14,7 Bar para relación estequiométrica), en seguida se llenaron las cámaras con agua destilada y se inició la combustión.
Las temperaturas de las dos cámaras se registraron con intervalos 15 segundos hasta alcanzar una temperatura máxima.
Se verificó que en el crisol se haya consumido toda la muestra. [3]

El cálculo del poder calorífico se lo calcula mediante un balance simple de energía y con la siguiente fórmula:

$$m_1 Cp_1 \Delta T_1 = m_2 Cp_2 \Delta T_2 \quad (1)$$

RESULTADOS

Se realizó una evaluación de la pérdida de humedad de las tusa (tusa tierna) esta prueba se realizó en una muestra de 21 tusas, los datos de desviación estándar y los datos estadísticos restantes se expresan en la Tabla 14 y fueron calculados con el software estadístico Infostat Versión Estudiantil. Los valores de humedad resultaron ser mayores que los publicados por[4]. En el diseño experimental planteado para este proyecto se propuso analizar el poder calórico como variable respuesta con los factores densificación (fuerza de compactación) y cantidad de oxigeno dosificada (relación aire-combustible). [3]
Se realizó un test de normalidad de Shapiro Wilks. Al interpretar el valor de la columna P(Unilateral D) que se muestra en la Tabla 15 se observa que la humedad de la tusa no se ajusta a una curva normal para ninguno de los dos tipos de tusa [5] , lo cual es esperado pues se trabajó con muestras de origen vegetal y en ellas influyen factores como la variación del clima, altitud del terreno, presión y temperatura.
En la
Tabla 16 se muestra el análisis de varianza y en la
Figura 14, el gráfico cuantil-cuantil, que presenta los valores de humedad observados en relación a los valores calculados.

Tabla 14. Resultados estadísticos de humedad relacionados con el tipo de tusa

Tipo Tusa	Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)	Mín	Máx
Húmeda	Humedad	21	38,52	1,44	2,06	33,00	39,00
Seca	Humedad	21	13,71	3,49	12,21	9,00	20,00

Tabla 15. Prueba de normalidad de humedad relacionada con el tipo de tusa

Tusa	Variable	n	Media	D.E.	W*	P (Uni lateral D)
Húmeda	Humedad	21	38.51	1.44	0.42	0.0001
Seca	Humedad	21	13.71	3.49	0.88	0.0390

Tabla 16. Análisis de varianza SC tipo III de la humedad relacionada con el tipo de tusa

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Tusa	6462.88	1	6462.88	905.41	0.0001
Error	285.52	40	7.14		
Total	6748.4	41			

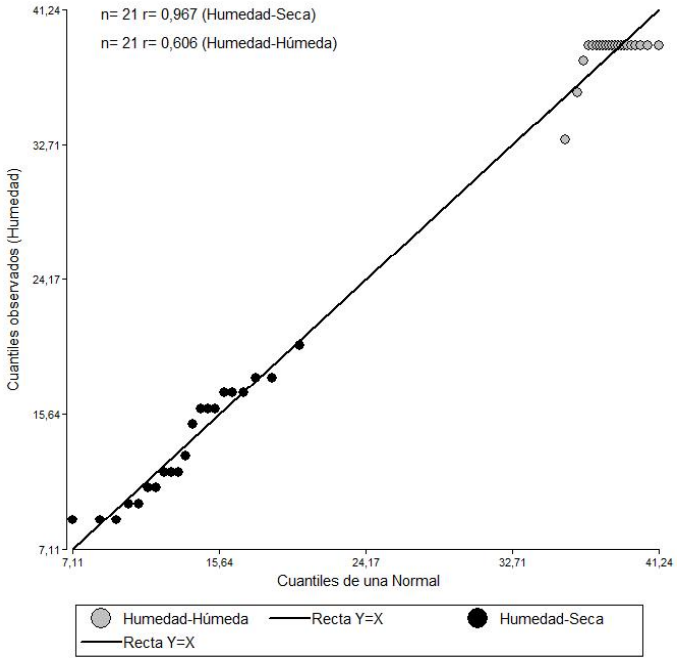


Figura 14 Distribución quantil- quantil de la humedad relacionada con el tipo de tusa

La relación entre fuerza de compactación del pellet, presión generada y densidad obtenida se presentan en la tabla 12.

Tabla 17. Resultados estadísticos de la densidad de la pastilla en relación con la presión de compactación

Compac,	n	Media (kg/m^3)	D.E.	Var(n-1)	Mín	Máx	Mediana
124 MPa (1T)	11	909,115	50,987	2599,651	843,362	1030,977	909,599
249 MPa (2T)	11	1088,439	39,201	1536,756	1021,701	1189,794	1083,817

La incidencia de la fuerza de compactación sobre el poder calórico se expresa en la Tabla 18**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la cual aprecia un diseño desbalanceado el mismo que acompleja el cálculo estadístico. . [6]

También se observa que la columna P(Unilateral D) en el test de Shapiro Wilks, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, refleja un comportamiento normal para los dos valores de fuerza de compactación utilizados y para todas las cantidades de oxígeno dosificada, lo que permite realizar un ANOVA confiable para todos los casos.

Tabla 18. Resultados estadísticos del poder calórico inferior relacionado con la fuerza de compactación y cantidad de oxígeno dosificada

OXÍGENO	COMPAC.	Variable	n	Media	D.E.	Var (n-1)	Mín	Máx	Mediana
O IGUAL	1T	PC [kj/g]	32	16,07	0,59	0,34	14,76	17,07	16,07
O IGUAL	2T	PC [kj/g]	38	14,83	0,58	0,34	13,30	15,92	14,71
O MAYOR	1T	PC [kj/g]	12	15,62	0,36	0,13	14,76	16,02	15,81
O MAYOR	2T	PC [kj/g]	6	14,85	0,63	0,40	13,88	15,49	14,94
O MENOR	1T	PC [kj/g]	12	13,99	0,27	0,07	13,72	14,66	13,98
O MENOR	2T	PC [kj/g]	6	13,71	0,13	0,02	13,55	13,83	13,74

Tabla 19. Análisis de normalidad del poder calórico inferior relacionado con la fuerza de compactación y cantidad de oxígeno dosificada

OXÍGENO	COMPAC.	Variable	n	Media	D.E.	W*	P(Unilateral D)
O IGUAL	1T	PC [kj/g]	32	16,07	0,59	0,94	0,23
O IGUAL	2T	PC [kj/g]	38	14,83	0,58	0,94	0,22
O MAYOR	1T	PC [kj/g]	12	15,62	0,36	0,84	0,04
O MAYOR	2T	PC [kj/g]	6	14,85	0,63	0,90	0,45
O MENOR	1T	PC [kj/g]	12	13,99	0,27	0,87	0,10
O MENOR	2T	PC [kj/g]	6	13,71	0,13	0,79	0,06

El análisis de varianza SC tipo III, se expresa un p-valor que tiende a cero y se muestra en la tabla 15. Lo que demuestra que la fuerza de compactación utilizada (densificación) es un factor estadísticamente significativo, esto se observa en el análisis de Duncan de la tabla 16.

En la figura 16 en el gráfico quantil-quantil se presentan los valores de poder calórico observados en relación a los valores calculados y se pueden apreciar los comportamientos normales para los dos valores de fuerza de compactación (densificación).

Tabla 20. Análisis de varianza del poder calórico inferior relacionado con la fuerza de compactación

Para 1Tonelada (n=56)

F.V.	*SC*	*gl*	*CM*	*F*	*p-valor*
Modelo.	*37,92*	*2*	*19*	*77,47*	*0,0000*
OXIGENO	*37,92*	*2*	*19*	*77,47*	*0,0000*
Error	*12,97*	*53*	*0,2*		
Total	*50,9*	*55*			

Para 2Toneladas (n=50)

F.V.	*SC*	*gl*	*CM*	*F*	*p-valor*
Modelo.	*6,69*	*2*	*3,35*	*10,75*	*0,00014*
OXIGENO	*6,69*	*2*	*3,35*	*10,75*	*0,00014*
Error	*14,63*	*47*	*0,31*		
Total	*21,33*	*49*			

Tabla 21. Prueba de Duncan del PCI en relación a la Fuerza de Compactación

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 0,2761 gl: 100

COMPACTACIÓN	Medias	n	E.E.		
2T	14,47	50	0,11	A	
1T	15,23	56	0,08		B

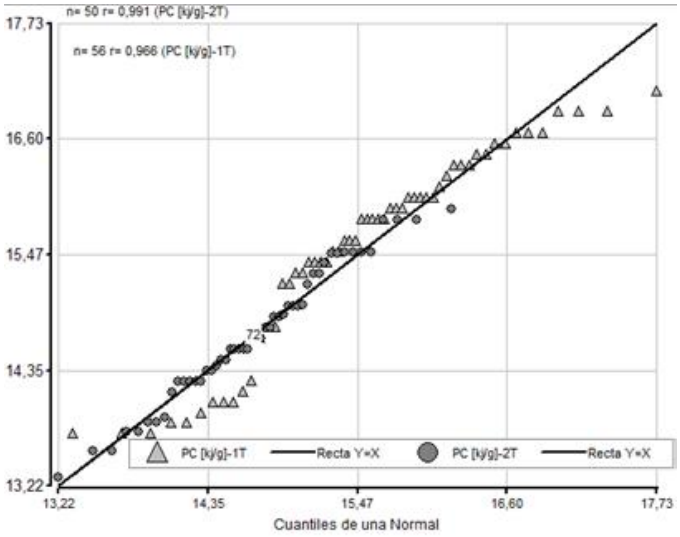


Figura 15. Distribución quantil- quantil del poder calórico para una fuerza de compactación de 1T y 2T

Para determinar la incidencia de la cantidad de oxigeno dosificada (relación aire-combustible), se realizó un análisis similar al descrito anteriormente con la fuerza de compactación. Los resultados estadísticos se pueden observar en la tabla 17.
En el análisis de Duncan de la tabla 18 se aprecian dos grupos, A para dosificación de oxígeno menor a la estequiométrica y B para Igual y Mayor.
Análogamente en la figura 17 se muestra un comportamiento normal para los tres parámetros de la variable cantidad de oxígeno dosificada (relación aire-combustible)

También se observa que la columna P(Unilateral D) en el test de Shapiro Wilks, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, refleja un comportamiento normal para los dos valores de fuerza de compactación utilizados y para todas las cantidades de oxígeno dosificada, lo que permite realizar un ANOVA confiable para todos los casos.

Tabla 22. Análisis de varianza del poder calórico inferior relacionado con la cantidad de oxígeno dosificada

O IGUAL

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	**26,54**	**1**	**26,54**	**77,63**	**0,0000**
COMPACTACIÓN	**26,54**	**1**	**26,54**	**77,63**	**0,0000**
Error	**23,25**	**68**	**0,34**		

Total	**49,78**	**69**			

O MAYOR

F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo.	**2,34**	**1**	**2,34**	**10,84**	**0,0046**
COMPACTACIÓN	**2,34**	**1**	**2,34**	**10,84**	**0,0046**
Error	**3,46**	**16**	**0,22**		
Total	**5,8**	**17**			

O MENOR

F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo.	**0,31**	**1**	**0,31**	**5,48**	**0,0325**
COMPACTACIÓN	**0,31**	**1**	**0,31**	**5,48**	**0,0325**
Error	**0,9**	**16**	**0,06**		
Total	**1,21**	**17**			

Tabla 23. Prueba de Duncan de la relación entre el poder calórico y la cantidad de oxígeno dosificada

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 0,2761 gl: 100

OXIGENO	Medias	n	E.E.		
O MENOR	13,85	18	0,13	A	
O MAYOR	15,24	18	0,13		B
O IGUAL	15,45	70	0,06		B

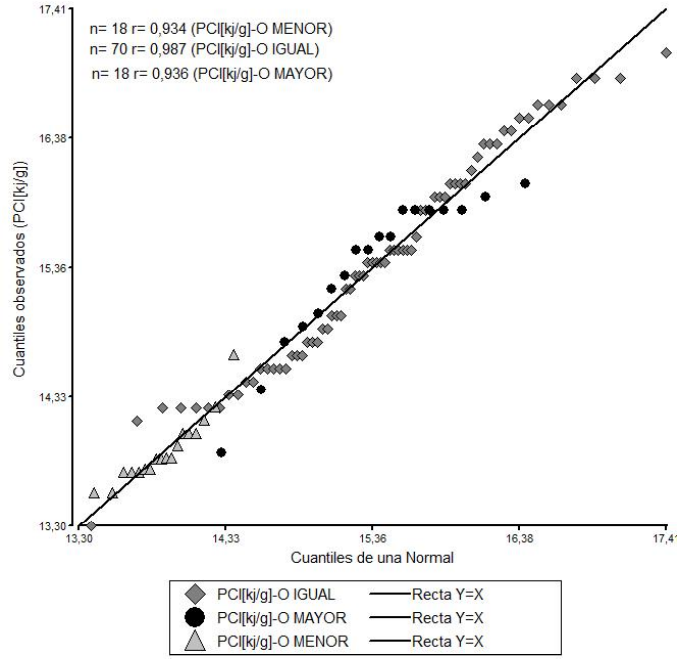


Figura 16 Distribución quantil- quantil del poder calórico inferior relacionado con la cantidad de oxígeno

Efecto combinado de los factores fuerza de compactación y cantidad de oxígeno dosificado

El ANOVA realizado que se observa en la tabla 11 para los dos factores de estudio, ratifica en primer lugar lo analizado anteriormente con los factores independientes (sin eecto combinado), pues la columna p-valor tiene tendencia a cero, en el análisis combinado de los factores arroja un p-valor que representa estadísticamente una interacción entre los dos factores y que los mismos no actúan independientes en el poder calórico obtenido, se realizó un análisis de Duncan y las interacciones binarias correspondientes se muestran en la tabla 12.

Tabla 24. Análisis de varianza del poder calórico inferior relacionado con la fuerza de compactación, cantidad de oxígeno y efecto combinado

Efecto Combinado

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo.	62,63	5	13	45,00	0,0000
COMPACTACIÓN	9,32	1	9	34,00	0,0000
OXIGENO	33,47	2	17	61,00	0,0000
COMBINADO COMPAC*OXIG.	3,27	2	2	6,00	0,0037
Error	27,61	100	0		
Total	90,24	105			

Tabla 25. Prueba de Duncan del poder calórico inferior relacionado con la fuerza de compactación, cantidad de oxígeno y efecto combinado

Efecto Combinado

Test: Duncan Alfa=0,01 *Error: 0,2761 gl: 100*

OXIGENO	COMPACTACIÓN	Medias	n	E.E.			
O MENOR	2T	13,71	6	0,21	A		
O MENOR	1T	13,99	12	0,15	A		
O IGUAL	2T	14,83	38	0,09		B	
O MAYOR	2T	14,85	6	0,21		B	
O MAYOR	1T	15,62	12	0,15			C
O IGUAL	1T	16,07	32	0,09			C

DISCUSIÓN

La humedad inicial y final de la después de una año de secado natural reflejan las condiciones ambientales del Valle de los Chillos cuyo promedio de humedad relativa y temperatura ambiente son 78% y 12°C respectivamente[7].

El poder calórico obtenido mostró ser inversamente proporcional la fuerza de compactación (a la postre densificación) utilizada en la pastilla, debido a que la pastilla menos compacta, contiene mayor espacio entre partículas, lo cual facilita y mejora la combustión.

Los valores de poder calórico inferior determinados son menores que los publicados para briquetas de tusa esto se debe al uso de aditivos y compactantes en el briquetaje. [8]g

El poder calórico obtenido resulta comparable con el reportado por Keener de 15.1 kJ/g [9] y superior al de otros tipos de biomasa como cascarilla de arroz, cascarilla de café, bagazo de caña, bagacillo [10]

El análisis de Duncan para estudiar el efecto de la cantidad de oxigeno dosificada mostró dos grupos estadísticamente significativos el primero (A), para oxigeno menor al estequiométrico y el segundo (B), para oxigeno igual y mayor al estequiométrico, lo cual muestra que la reacción está limitada para el primer grupo y utiliza solo la cantidad necesaria de oxígeno para el segundo grupo.

El análisis estadístico combinado mostró que se forman tres grupos. El primer grupo (A) muestra que para una cantidad de oxígeno insuficiente el factor fuerza de compactación resulta indiferente, ya que el oxígeno al ser el reactivo limitante su poder de llenar los espacios intersticiales del pellet también se limita.
El segundo grupo (B) revela que si se trabaja con una compactación de 2T, el efecto del factor cantidad de oxígeno dosificado queda anulado.
El tercer grupo (C) está conformado por los pellets compactados con 1T y cantidad de oxígeno dosificado O igual ó O Mayor al requerido estequiométricamente, cabe mencionar que para este análisis se disminuyó la sensibilidad a un 99,99% de confianza, pues debido a la naturaleza desbalanceada de la información un análisis con un 95% resultó muy riguroso

CONCLUSIONES

El valor de poder calórico inferior obtenido al utilizar una fuerza de una tonelada para compactar el pellet fue de 16.07 kJ/g comparado con 14.83 kJ/g que se obtuvo al compactar el pellet con dos toneladas, es decir, se obtuvo un incremento del 8.36% al disminuir la fuerza de compactación todo esto con cantidad de oxigeno dosificado igual al estequiométrico.
La humedad de la tusa tierna se redujo de 38.52 a 13.71%, por secado de un año en condiciones ambientales cerradas, lo cual significa aproximadamente un 65% de pérdida de humedad.
Los valores de densificación a diferentes presiones o fuerzas de compactación que se presentan en la Tabla 17, muestran que con una fuerza de compactación de 1 Tonelada se genera una presión de 124 MPa y se obtiene una densidad de las pastilla de 909,6 (kg/m^3) y con una fuerza de 2 Toneladas se obtuvo 249 MPa y 1083,8 (kg/m^3) respectivamente
El análisis estadístico aplicado mostró que al utilizar oxígeno en cantidad inferior a la estequiométrica incide negativamente en el poder calórico obtenido, sin embargo al utilizar oxígeno en exceso arrojó resultados similares al obtenido al utilizar oxígeno en cantidad estequiométrica, lo cual demuestra que el proceso solo emplea lo requerido para la reacción de combustión
El análisis estadístico combinado bifactorial mostró que existen tres grupos con diferencias estadísticamente significativas, A: Oxígeno dosificado MENOR y fuerza de compactación de 1T (124 MPa) y 2T (249 MPa); B: Fuerza de compactación 2T Oxígeno dosificado IGUAL o MAYOR y C: Fuerza de compactación de 1T y Oxígeno dosificado MAYOR o IGUAL

RECOMENDACIONES

Realizar un estudio de las fuerzas de compactación con 5 o más parámetros, y en efecto combinado con la cantidad de oxigeno suministrada.
La tusa de maíz es fuente de energía que se pueden explotar por otros métodos combustión eficiente directa como pirolisis de lecho fluidizado.
Realizar un estudio energético de la tusa de maíz para diferentes variedades y buscar modificaciones genéticas para incrementar el poder energético de esta especie.

REFERENCIAS

[1] Barriga A. Aplicaciones de Biomasa. Quito, Pichincha, Ecuador2007.
[2] Enquesta de superficie y producción agropecuaria continua. 2012.
[3] Espinoza Almache R, Torres Rodríguez G. Determinación de las Características Energéticas de la Tusa de Maíz con Variación del Contenido de Humedad, Densidad y Relación Aire-Combustible. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; 2015.
[4] Gamboa C, Guerrero J. Diseño Conceptual de una Planta Piloto de Combustión para el Aprovechamiento Energético de la Biomasa Residual del Maíz. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico Química. Escuela de Ingeniería Química; 2009.
[5] Sorribas A. Grup de Bioestadística i Biomatemàtica, Departament de Ciències Mèdiques, Bàsiques, Institut de Recerca Biomèdica de Lleida, (IRBLLEIDA). Introducción al análisis de la varianza (ANOVA)2014.
[6] Mendoza Rivera H. Probabilidad e Inferencia Báica. Universidad Nacional de Colombia2002.
[7] Ganchala Cáceres CE, Moreira Freire PR. Diseño Geoespacial para gestion ambiental del valle de los Chillos. GESTIÓN AMBIENTAL. Sangolqui, Pichincha, Ecuador2013.
[8] Nalladurai Kaliyan RVM. Densification Characteristics of Corn Cobs. SCOPUS. 2010:5.
[9] Keener H. Pyrolysis and combustion of corncobs in a fluidized bed: Measurement and analysis of behavior. 1981.
[10] Quinceno Villada D, Mosquera Gutierrez MY. Alternativas Tecnológicas para el uso de la Cascarilla de Arroz como Combustible. Santiago de Cali, Cali, Colombia: Universida Autonoma de Occidente; 2010.

Correspondencia

César Rafael Espinoza Almache
crespinoza@espe.edu.ec