

ACIDULANTE ORGÁNICO PARA MODULACIÓN DEL POTENCIAL REDOX EN RESIDUOS HÚMEDOS NO PERSISTENTES DE CONSUMO ANIMAL

(ORGANIC ACIDULANT FOR MODULATING REDOX POTENTIAL IN NON-PERSISTENT WET WASTE OF ANIMAL CONSUMPTION)

Enrique C Ávila, Marlene Brizuela.

Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” UNELLEZ. Programa Estudios Avanzados. Subprograma Ciencias del Agro y del Mar. San Carlos-Estado Cojedes, Venezuela.

enriqcavila@gmail.com / marlenebrizuela@hotmail.com

Recibido: 30-09-2021/ Aceptado: 10-10-2021

RESUMEN

La investigación experimental exploratoria dual, estocástica y determinística, en la optimización multiobjetivo de un acidulante (acrónimo: AHO-Ngen), de consumo animal consistente de una mezcla de ácidos orgánicos más 2 % de sal consumo animal estándar y 2 % de melaza de caña de azúcar; como tecnología de control del potencial redox de residuos orgánicos no persistentes con alta humedad (RONPAH) para su estabilización biológica. Exploración bajo diseño de muestreo estadístico con el algoritmo de Proceso Gaussiano IMSE optimal (DME-PGIMSEOp), ajustando con metamodelos lineales múltiples aditivos cuadráticos e interacciones de alto orden. Estableciéndose en la simulación restricciones de variabilidad de las respuestas de calidad con funciones difusas multimétrica: minimizar la acidez iónica (pH: índice de moles H^+ /litro), la acidez titulable total (ATT: ml NaOH 1N), target el potencial redox (POR: mV) entre +0 y +200 mV y maximizar la capacidad buffer (CB: ml NaOH 1N); bajo la hipótesis de que un POR no negativo cercano a cero controla el metabolismo respiratorio de microorganismos (MRM) anaerobios y POR cercanos a 0 mV (alejados de +850 mV) controla el MRM aerobios. La mezcla optima operativa de ácidos fue: 3,792 g de Citrato de Na (~34,14%), más 0,884 g de Benzoato de Na (~7,96%), 3,386 ml de Acido Fórmico (~30,48%) y 3,046 ml de Ácido Acético (~27,42%), con una deseabilidad de calidad del acidulante de ATT: 272, CB: 168, POR: 27 y pH: 2,3. Validándose la metodología AHO-Ngen en RONPAH, con excelentes resultados para estabilizarlos biológicamente y almacenarlos al ambiente sin refrigeración ni biocidas, por periodos de más de 3 meses.

Palabras clave: Diseño experimental, Redox, Modelo, Optimización.

ABSTRACT

The dual, stochastic and deterministic exploratory experimental research, in the multi-objective optimization of an acidulant (acronym: AHO-Ngen), of animal consumption consisting of a mixture of organic acids plus 2% salt standard animal consumption and 2% cane molasses of sugar; as a technology for controlling the redox potential of non-persistent organic waste with high humidity (RONPAH) for its biological stabilization. Exploration under statistical sampling design with the IMSE optimal Gaussian Process algorithm (DME-PGIMSEOp), adjusting with multiple quadratic additive linear metamodels and high order interactions. Establishing in the simulation restrictions of variability of the quality responses with diffuse multimetric functions: minimize ionic acidity (pH: index of moles H + / liter), total titratable acidity (ATT: ml NaOH 1N), target the redox potential (POR : mV) between +0 and +200 mV and maximize the buffer capacity (CB: ml 1N NaOH); under the hypothesis that a non-negative POR close to zero controls the respiratory metabolism of anaerobic microorganisms (MRM) and POR close to 0 mV (away from +850 mV) controls the aerobic MRM. The optimal working acid mixture was: 3.792 g of Na Citrate (~ 34.14%), plus 0.884 g of Na Benzoate (~ 7.96%), 3.386 ml of Formic Acid (~ 30.48%) and 3.046 ml of Acetic Acid (~ 27.42%), with an acidulant quality desirability of ATT: 272, CB: 168, POR: 27 and pH: 2.3. Validating the AHO-Ngen methodology in RONPAH, with excellent results to stabilize them biologically and store them in the environment without refrigeration or biocides, for periods of more than 3 months.

Keywords: Experimental design, Redox, Model, Optimization.

INTRODUCCIÓN

Los signos y síntomas de las anomalías sobre el deterioro de los bienes y servicios ambientales (BySA), que están vigente a nivel mundial, son fundamentalmente debido al impacto adverso de los residuos orgánicos tanto persistente como los no persistente y, en Latinoamérica, el Caribe y en Venezuela; la ONU Programa para el medio ambiente (2018); CEPAL (2020) y VITALIS (2018), igualmente lo han revelado.

Entre la gran diversidad de anomalías detectadas, están: la contaminación de los suelos, de los cuerpos de agua, del aire, deterioro, daño y/o extinción de la biodiversidad, la formación de tormentas, el calentamiento global, los grandes bosques desérticos; así como el uso excesivo de los BySA; muestran que estas anomalías son consecuencia de una anomalía sociológica y socioeconómica. Hay un excesivo uso de los BySA, ya que estos se

consumen a una velocidad de 1,75 veces más rápida que la velocidad de su auto recuperación (la demanda supera la oferta); al año 2019, se están consumiendo en siete (07) meses los BySA que la tierra puede ofrecer en un año. Detectándose además que no se está creando BySA, con casos excepcionales.

Por su parte, el Banco Mundial al 2018, reporta que el 61 % de los residuos sólidos urbanos (RSU) domésticos son orgánicos (17 % papel y 44 % alimentos); sin embargo se hace énfasis que al incluir los residuos fecales, agrícolas de campo, los provenientes del matadero de animales y los residuos de campo de galpones de cría de animales; estas estadísticas se vuelven mucho más elevadas y, son un problema vigente y futuro.

En este sentido, en Venezuela (Avila, 2019b), se ha detectado que en épocas de esplendor de disponibilidad de divisas extranjeras, para el año 2009, el consumo de carnes de solo tres (03) rubros animal, fue. Pollos broiler, 42 Kg/persona*año; Bovinos, 24 Kg/persona*año y Cerdo, 13 Kg/persona*año y; según las proyecciones de INE (2019), para el año 2050, la población venezolana serán, > 40.500.761 habitantes.

En estas condiciones se producirán para el año 2050 (Avila, 2019), más de 2.831.753.198,7 Kg de residuos orgánicos húmedos, que representarían un problema grave, causal de impacto ambiental, si no se gestionan adecuadamente; sin embargo pueden representar una oportunidad de negocio, si se implementan gestiones como las que propone esta investigación. Y, falta la inmensa cantidad de RSU residenciales, los residuos fecales y los residuos de la producción agronómica vegetal, para estos y otros animales y para las personas, en el 2050.

Basado en esta problemática, la investigación se enfocó en crear y optimizar una tecnología para estabilización de residuos orgánicos húmedos no persistentes, provenientes de procesos agroindustriales del beneficio y proceso de vegetales y animales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el cumplimiento del objetivo general de la investigación, se desarrollaron las siguientes fases:

1. Generación de un arreglo de muestreo de tratamientos usando el algoritmo Proceso Gaussiano IMSE Optimal del software SAS JMP 8.
2. Con los tratamientos elaborados (mezclas de CitratoNa, BenzoatoNa, Ácido Fórmico y Ácido Acético), se procedió al montaje y ejecución de la experimentación, con el fin de determinar las respuestas, acidez iónica (pH: índice moles H⁺/litro), Potencial Redox (PR: mV), Capacidad Buffer (CB: ml de NaOH 0,1N) y Acidez Titulable (ATT: ml de NaOH 0,1N), usando los métodos descritos en la A.O.A.C. (2012), adaptados y estandarizados durante las pruebas pilotos. Todo en el laboratorio LITA (laboratorio de ingeniería y tecnología de alimentos) de la UNELLEZ-VIPI-San Carlos-Cojedes.
3. Estimación de cuatro modelos lineales aditivos cuadráticos con interacciones de alto orden, ajustando los parámetros con el método de mínimos cuadrados ordinarios matriciales Ridge (m.c.o.m. Ridge), formando un sistema de cuatro ecuaciones (metamodelo de simulación), comprobando su bondad de ajuste, con el cual se emuló el proceso de elaboración del acidulante para control redox de materia orgánica no persistente.
4. Co-optimización del proceso de creación del acidulante (AH-Ngen), vía simulación, con el simulador Prediction Profiler con interfaz gráfico interactivo del software SAS JMP 8 (SAS JMP, 2012; 2013), según las recomendaciones de Derringer (1994) y Derringer y Suich (1980), bajo las siguientes restricciones de deseabilidad de calidad (reglas difusas multimétrica) para las cuatro respuestas medidas, 1. Minimizar la respuesta acidez iónica (pH: índice moles H⁺/litro), 2. Target el potencial redox entre 0 mV y 200 mV, 3. Minimizar la acidez titulable soluble total (ATT: ml NaOH 0,1 N) y 4. Maximizar la capacidad buffer (CB: ml NaOH 0,1 N), para cada una de los tratamientos diseñados, con la mezcla de ácido fórmico, ácido acético, cítratoNa y benzoatoNa.

5. Validación de la mezcla óptima del acidulante; agregándola en residuos orgánicos no persistentes industriales de beneficio animal, con adición de sal consumo animal estándar a dosis fija de 2 % y malaza de caña de azúcar a dosis fija de 2 %.

RESULTADOS Y DISCUSION

En este apartado se describen los resultados de los análisis estadístico-matemáticos, tecnológicos y su discusión.

En este sentido, en la tabla 1 se muestra Matriz “D” de diseño de muestreo y las respuestas medidas (promedio aritmético de tres repeticiones).

Tabla 1. Matriz “D” de diseño de muestreo y respuestas: Diseño Proceso Gaussiano IMSE Optimal.

Tratamientos	Factores experimentales				Respuestas			
	Ácido Fórmico	Ácido Acético	Citrato de sodio	Benzoato de sodio	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
	X ₁ [ml]	X ₂ [ml]	X ₃ [g]	X ₃ [g]	pH	PR	CB	ATT
1	2,964	2,464	3,536	0,616	2,11	22,55	145,63	291,22
2	3,461	2,961	3,983	0,867	2,28	29	176,94	276,98
3	2,514	2,947	3,986	0,636	2,38	29,24	145,54	274,26
4	2,517	2,961	3,039	0,633	2,37	29,44	134,7	276,08
5	3,463	2,963	3,037	0,633	2,32	40,07	182,61	275,09
6	3,461	2,017	3,039	0,867	2,50	32,85	124,52	264,81
7	2,522	2,022	3,978	0,646	2,38	29,08	111,35	271,80
8	3,447	2,014	3,986	0,864	2,51	35,27	130,05	266,92
9	2,964	2,464	3,536	0,884	2,34	29,55	144,26	276,77
10	2,514	2,014	3,053	0,636	2,13	15,96	112,08	290,01
11	2,514	2,014	3,053	0,864	2,51	30,24	114,44	267,50
12	3,463	2,963	3,037	0,867	2,46	41,78	164,65	251,4
13	2,973	2,473	2,955	0,750	2,48	37,92	151,63	270,01
14	2,973	3,045	3,527	0,750	2,40	34,43	160,87	273,01
15	3,447	2,014	3,986	0,636	2,37	44,77	146,37	273,59
16	2,514	2,947	3,986	0,864	2,40	29,64	141,37	274,24
17	3,461	2,017	3,039	0,633	2,35	32,15	121,81	276,69
18	2,517	2,961	3,039	0,867	2,51	33,5	135,82	264,42
19	3,545	2,473	3,527	0,750	2,36	29,69	115,76	277,01
20	3,461	2,961	3,983	0,633	2,35	42,14	175,1	274,52
21	2,522	2,022	3,978	0,854	2,43	40,52	133,08	271,67

Fuente: Avila (2021).

Los modelos ajustados con screening Ridge (modelo lineal múltiple aditivo con interacciones de alto orden), se muestran en las figuras 1, 2, 3, y 4, siguientes. Donde en la parte izquierda, “Term” se corresponde con los términos (unidades de producto) del modelo, a la derecha “Estimate”, son los coeficientes regresores, StdError el error estándar de estos, “tRatio” la razón de t de Student y “Prob>|p|” la significancia estadística de cada parámetro del modelo. Mostrándose alta significancia estadística de los términos del modelo.

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	2,5271533	0,030419	83,08	<,0001*
Citrato Na (X3:g)	-0,001779	0,007289	-0,24	0,8091
Benzoato Na (X4:g)	-0,107956	0,007237	-14,92	<,0001*
Ácido Fórmico (X1:ml)	-0,009808	0,002579	-3,80	0,0008*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)	0,1029719	0,004267	24,13	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Benzoato Na (X4:g)-0,75)	-0,02832	0,015481	-1,83	0,0788
(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Benzoato Na (X4:g)-0,75)	0,1873323	0,059963	3,12	0,0043*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	0,0838716	0,003593	23,34	<,0001*
(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	-0,136885	0,012906	-10,61	<,0001*
(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	0,0810111	0,003885	20,85	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	0,0495073	0,003501	14,14	<,0001*
(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	-0,038194	0,014977	-2,55	0,0170*
(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	0,03128	0,003575	8,75	<,0001*
(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	0,1188342	0,004045	29,38	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)	0,0236278	0,011162	2,12	0,0440*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	0,0018096	0,00748	0,24	0,8107

Figura 1. Modelo para la respuesta pH

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	30,943598	0,109445	282,73	<,0001*
Citrato Na (X3:g)	-2,344766	0,028493	-82,29	<,0001*
Ácido Acético (X2:ml)	1,0283672	0,007633	134,72	<,0001*
Ácido Fórmico (X1:ml)	0,1553731	0,007598	20,45	<,0001*
Benzoato Na (X4:g)	0,6329611	0,030686	20,63	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)	2,3314175	0,017672	131,93	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	1,3024156	0,015018	86,72	<,0001*
(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	0,1921971	0,017315	11,10	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	-0,926541	0,015207	-60,93	<,0001*
(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	-3,264631	0,015569	-209,7	<,0001*
(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	-1,435545	0,016905	-84,92	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Benzoato Na (X4:g)-0,75)	-11,07038	0,065439	-169,2	<,0001*
(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)*(Benzoato Na (X4:g)-0,75)	5,4515837	0,062604	87,08	<,0001*
(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)*(Benzoato Na (X4:g)-0,75)	-17,96154	0,053607	-335,1	<,0001*
(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Benzoato Na (X4:g)-0,75)	19,881993	0,258889	76,80	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)	-0,123637	0,043104	-2,87	0,0081*

Figura 2. Modelo para la respuesta PR

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	148,57431	0,051	2913,2	<,0001*
Citrato Na (X3:g)	-14,57292	0,013534	-1077	<,0001*
Benzoato Na (X4:g)	32,709776	0,013641	2398,0	<,0001*
Ácido Acético (X2:ml)	0,7692953	0,003379	227,67	<,0001*
Ácido Fórmico (X1:ml)	-3,017361	0,003434	-878,8	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)	12,030828	0,008189	1469,1	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Benzoato Na (X4:g)-0,75)	-46,58396	0,030481	-1528	<,0001*
(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Benzoato Na (X4:g)-0,75)	-11,40268	0,11714	-97,34	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	5,1775202	0,006597	784,82	<,0001*
(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	18,584809	0,028617	649,43	<,0001*
(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	-13,18146	0,007613	-1731	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	-6,462486	0,006788	-952,0	<,0001*
(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	-63,27864	0,023726	-2667	<,0001*
(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	-9,600407	0,007321	-1311	<,0001*
(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	-6,756365	0,007539	-896,2	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)	-0,082322	0,0203	-4,06	0,0004*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	0,107471	0,057664	1,86	0,0741

Figura 3. Modelo para la respuesta CB

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	261,73176	0,033614	7786,3	<,0001*
Benzoato Na (X4:g)	6,8727162	0,026785	256,59	<,0001*
Citrato Na (X3:g)	-0,405539	0,004391	-92,36	<,0001*
Ácido Fórmico (X1:ml)	0,5046208	0,003574	141,20	<,0001*
Ácido Acético (X2:ml)	0,1957545	0,003871	50,57	<,0001*
(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Benzoato Na (X4:g)-0,75)	-21,80525	0,127806	-170,6	<,0001*
(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)	1,058242	0,027138	38,99	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)	-6,20956	0,009595	-647,2	<,0001*
(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	9,024037	0,031465	286,79	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	-4,973392	0,008938	-556,4	<,0001*
(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)*(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)	-4,351001	0,011335	-383,9	<,0001*
(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	3,6262427	0,031633	114,63	<,0001*
(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	-2,763876	0,009293	-297,4	<,0001*
(Ácido Fórmico (X1:ml)-3)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	-1,335609	0,010381	-128,7	<,0001*
(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	-6,351662	0,042701	-148,7	<,0001*
(Benzoato Na (X4:g)-0,75)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)*(Citrato Na (X3:g)-3,5)	-0,115737	0,067694	-1,71	0,0997
(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)*(Ácido Acético (X2:ml)-2,5)	-0,047915	0,047794	-1,00	0,3257

Figura 4. Modelo para la respuesta Y4hl: ATT

Asimismo, en la figura 5 prototipo de la interfaz del simulador, muestra los resultados de la optimización de la mezcla óptima para la deseabilidad de calidad del acidulante: 3,79 g de Citrato de Na (~34,14%), más 0,884 g de Benzoato de Na (~7,96%), más 3,38ml de Acido Fórmico (~30,48%) y 3,045 ml de Ácido Acético (~27,42%). La deseabilidad de calidad del acidulante fue, ATT: 272,85 CB: 168,1, POR: 27 mV y pH: 2,3.

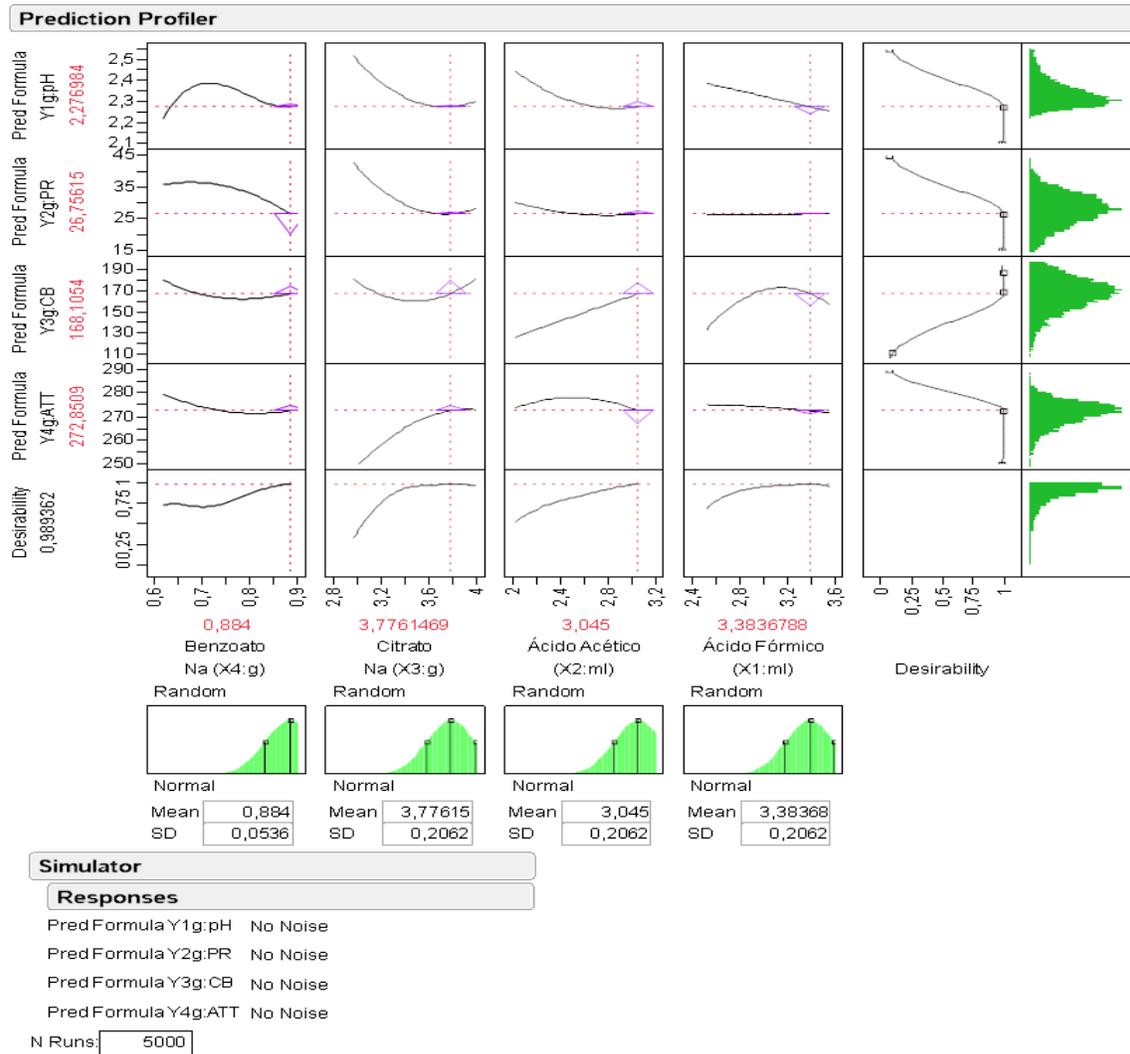


Figura 5. Prototipo de la interfaz del simulador del programa SAS JMP v8

CONCLUSIONES

Luego de los resultados obtenidos en el desarrollo de la presente investigación se han establecido las siguientes conclusiones:

- El diseño de muestreo Proceso Gaussiano IMSE Optimal, muestra ser económico para experimentación en laboratorio (experimentación estocástica) y excelente en el ajuste de modelos lineales múltiples aditivos cuadráticos con interacciones de alto

orden (MLMACIAO), con alta bondad de ajuste, requeridos para procesos de simulación estadística, en la emulación determinista de procesos.

- El método de mínimos cuadrados ordinarios matricial Ridge, usando la metodología screening del software SAS JMP, permitió la construcción de MLMACIAO, con excelente bondad de ajuste, bajo los diseños de muestreo Proceso Gaussiano IMSE Optimal.
- El modelo de simulación MLMACIAO, ajustado bajo el Proceso Gaussiano IMSE Optimal, fue excelente en la optimización vía simulación, con el algoritmo de Derringer-Suich, usando reglas difusas multimétrica, implementado por el software SAS JMP 8.
- La mezcla de los ácidos fórmico, acético, citrato de sodio y benzoato de sodio, en las dosis experimentales creadas, formulan un acidulante experimental excelente para el control redox y estabilización biológica de residuos orgánicos de alta humedad ($a_w = 0,985$), convirtiendo un producto altamente perecedero en uno muy poco perecedero.
- El acidulante experimental formulado, estabiliza materia orgánica altamente perecedera (rica en nutrientes y muy húmeda) casi instantáneamente, cuando se utilizan las dosis del acidulante experimental, permitiendo su preservación por más de 3 meses en condiciones ambientales sin refrigeración.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- A.O.A.C. (2012). "Official methods of analysis of AOAC international. "William Horwitz y George W. Latimer. Ed.19. Washington, DC.

- Ávila, E. C. (2019b). Optimizado de la revalorización con acidulado, de residuos del beneficio de pollos, con un DCC vía simulación. Guía de estudio. Laboratorio LITA y Laboratorio de Informática II. UNELLEZ-VIPI.
- BID. (2020). Investigaciones BID. Disponible en: <https://www.iadb.org/es>
- CEPAL. (2020). Estudio Económico de América Latina y el Caribe ▪ 2020. Comisión Económica para América Latina.
- Derringer, G. (1994). A balancing act: Optimizing a product's properties. Make intelligent trade-offs through desirability optimization methodology Quality progress. Disponible en: <http://www.statease.com/pubs/derringer.pdf>
- Derringer, G. y Suich, R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. Journal of quality technology. 12:214-219.
- INE. (2019). Censos de población y vivienda. <https://www.google.com/search?q=INE+venezuela+2019&oq=INE+venezuela+2019&aqs=chrome..69i57j0i33313.14573j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- ONU Programa para el medio ambiente (2020). Residuos y su valorización. Disponible en: <https://www.unep.org/es>
- SAS JMP. (2012). Software SAS Institute Inc. JMP business unit SAS.JMP: John's macintosh program.
- SAS JMP. (2013). SAS Institute Inc. Using JMP 11. Cary, NC: SAS Institute Inc. Inc. Disponible en: http://www.jmp.com/support/downloads/pdf/jmp11/Using_JMP.pdf
- VITALIS. (2013). Situación Ambiental de Venezuela. VITALIS (2013). Situación Ambiental de Venezuela 2012. Análisis de Percepción del Sector. Editores y Compiladores: D. Díaz Martín, Y. Frontado, M. Da Silva, A. Lizaraz, I. Lameda, V. Valera, C. Gómez., E. Monroy, Z. Martínez, J. Apostólico y G. Suárez. 42 pp. Disponible en: http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/cenamb/Situacion-Ambiental-de-Venezuela-2012.pdf