

Lluvia sólida como estrategia de desarrollo sostenible en el cantón Guaranda en Ecuador

Solid rain as a sustainable development strategy in the canton Guaranda in Ecuador

Carlos Wilfrido Taco Taco¹ , Oswaldo Ernesto López Bravo¹ , Guillermo Manuel Vistín Chacán¹ , José Oswaldo López Calero¹ 

¹ Universidad Estatal de Bolívar. Ecuador.

Autor correspondiente: cwtaco@ueb.edu.ec

Resumen: El riesgo es definido como el producto de la casualidad y la vulnerabilidad. Se relaciona con la probabilidad de un evento negativo, tal como la sequía y las consecuencias previsibles de la ocurrencia del evento. Desde la óptica de la agricultura, la amenaza climática más común es la sequía que; vista a escala global, tiene repercusiones mayores parecidas a los ciclones, inundaciones y tormentas. El objetivo de la presente investigación, es generar una estrategia innovadora para la mitigación del riesgo de la sequía, con utilización de la tecnología lluvia sólida y la sostenibilidad del sector agropecuario en la zona sierra del cantón Guaranda. La metodología del estudio es la acción participativa, por medio de la creación de grupos focales liderados por los agricultores de la provincia de Guaranda. La investigación es de tipo descriptiva y de campo, en concordancia con la observación directa. Los resultados indican que, los cultivos de maíz (*Zea mays*) y papa (*Solanum tuberosum*) tuvieron un comportamiento y homogeneidad superior al momento de absorber el agua almacenada en el polímero denominado lluvia sólida, en el cultivo de *Solanum tuberosum* el campo de lluvia solida se obtuvo un peso de tubérculos de 0.95Kg y en campo testigo fue de 0.92%, la *Zea mays* la cosecha fue de 175 DDS en campo lluvia sólida y 196 DDS en campo testigo. El tamaño, grosor y peso que presentaron los cultivos; demuestran lo efectivo y estable de esta tecnología sobre en las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Las conclusiones denotan que la tecnología lluvia sólida representa una alternativa novedosa para los agricultores, sobre todo en sectores donde



se hace presente la sequía como factor perturbador en el proceso de cultivos. Es importante destacar, los estudios previos que deben realizarse, para lograr el máximo beneficio del polímero.

Palabras clave: agricultura, lluvia sólida, riesgo de sequía, suelos agrícolas.

Abstract: Risk is defined as the product of chance and vulnerability. It is related to the probability of a negative event, such as drought and the foreseeable consequences of the occurrence of the event. From the perspective of agriculture, the most common climate threat is drought that; Seen on a global scale, it has major repercussions similar to cyclones, floods and storms. The objective of this research is to generate an innovative strategy to mitigate the risk of drought, using the solid rain method and the sustainability of the agricultural sector in the highlands of the Guaranda canton. The methodology of the study is participatory action, through the creation of focus groups led by farmers in the province of Guaranda. The results indicate that the corn (*Zea mays*) and potato (*Solanum tuberosum*) crops had superior behavior and homogeneity when absorbing the water stored in the polymer called solid rain, in the cultivation of *Solanum tuberosum* the solid rain field had a tuber weight of 0.95Kg and in control field fie of 0.92%, the *Zea mays* the harvest was 175 DDS in solid rain field and 196 DDS in control field. The size, thickness and weight of the cultures; demonstrate how effective and stable this technology is on the different phenological stages of the crop. The conclusions show that solid rain technology represents a novel alternative for farmers, especially in sectors where drought is present as a disturbing factor in the cultivation process. It is important to highlight, the previous studies that must be carried out, to achieve the maximum benefit of the polymer.

Key words: agriculture, solid rain, risk of drought, agricultural soils.

1. INTRODUCCIÓN

Los efectos que producen las sequías extremas o prolongadas, afectan de manera directa a algunos sectores socioeconómicos y ambientales (agricultura, pesca, ganadería, acuicultura, salud, vivienda, energía, entre otros), sobre todo en países cuya economía depende en gran medida de la producción agrícola y ganadera⁽¹⁾. Actualmente, es considerado un fenómeno complejo, debido al bajo nivel predictivo y su constante variación respecto a otros peligros naturales como: tsunamis, movimientos telúricos, huracanes, etcétera. Esto ocurre por la presencia de cambios climáticos moderados e impredecibles, lo cual afecta mayoritariamente a los países en vías de desarrollo y, por ende,

al crecimiento productivo y económico donde dependen en gran medida a la producción del ramo agrícola⁽²⁾.

Los países con economías pequeñas y limitaciones comerciales son muy vulnerables a las pérdidas por desastres naturales, incluidas las provocadas por la sequía debido a los impactos negativos que pueden ser significativos en el crecimiento económico de un país⁽³⁾. La sequía es uno de los fenómenos naturales más complejos y uno de los más dañinos para las poblaciones de todo el mundo. Este fenómeno de lento desarrollo se debe en parte a la variabilidad climática natural y tiene impactos negativos en alrededor del 60% de los sectores agrícolas y ganaderos mundiales hasta el año 2020. Debido a su efecto adverso sobre la producción de alimentos y el acceso a los recursos ambientales (es decir, agua, vida silvestre), las sequías ponen en peligro la vida y el sustento de millones de familias, especialmente en los entornos rurales⁽⁴⁾. Los resultados de los informes de evaluación global, mostraron que las causas originadas por el riesgo de la sequía, depende en gran medida de la vulnerabilidad rural y de la pobreza per cápita de cada nación.

Las sequías a nivel agrícola, supera a todos los demás peligros naturales en términos del número de personas afectadas, convirtiéndose en un factor contributivo sobre las hambrunas más graves del mundo. Es de destacar que la misma se concibe como una falta de agua excepcional y sostenida, causada por una desviación de las condiciones climáticas y atmosféricas una determinada región⁽⁵⁾. Esto crea vulnerabilidades que deben ser gestionadas por los Estados, con la intención de prevenir o reducir el impacto (económico, social y físico) hacia la población.

Esta situación planteada, produce pérdidas agrícolas, escasez de agua pública, reducción del suministro de energía hidroeléctrica y reducción de la mano de obra y productividad. Como es de notarse, pone en riesgo la seguridad alimentaria ya que tal posición se ve reflejado en los aumentos de los precios de los productos, reduciendo la capacidad de compras e incremento de la demanda comercial. Tal situación lo que conduce es hacia el caos, en todos los niveles productivos, sociales, ambientales; de las micro empresas nacionales e internacionales. La sequía afecta directamente, las dependencias en el sector agrícola⁽⁶⁾.

Enfocados en el ámbito de la agricultura, casi 1.400 millones de personas (el 18% de la población mundial) se ven amenazadas por los impactos de la sequía. En muchos de los casos, obstaculizan el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la cual se direccionan hacia la reducción de la pobreza, hambre cero y el mejoramiento de la salud y bienestar en general. Si bien existe ambigüedad con respecto a las tendencias mundiales de sequía en

el siglo pasado, es probable que los peligros aumenten en muchas regiones subdesarrolladas en las próximas décadas⁽⁷⁾.

De esta forma, factores como: el cambio del clima y excesivo consumo de agua humano; se conjugan para ser partícipe de esta situación que limitan la producción de ciertos productos básicos, sobre todo los del sector agrícola. Debido a estos conflictos, se presentan una de las tendencias actuales de tipo innovadora a nivel mundial, como alternativa ante esta problemática; es la lluvia sólida. Esto ha permitido mejorar los volúmenes de productividad, establecer los cultivos en la época indicada sin tener que depender de las precipitaciones, optimizar el uso del agua, fertilizantes, energía y todos los consumos que se dan a partir de la producción agrícola⁽⁷⁾.

En otro orden de ideas, la lluvia sólida (*Solid Rain*) es un polímero que es capaz de absorber agua hasta 200 veces de su volumen, cambiarla de estado líquido a sólido y liberarla lentamente durante 60 días en el caso del maíz y 55 días en el caso de la papa, una vez transcurrido este periodo de tiempo se debe aplicar un riego localizado para volver a rehidratar el cultivo por otro periodo igual de tiempo; para que las plantas tengan agua disponible en el suelo, puedan absorber y cumplir eficientemente sus funciones metabólicas en medio de una sequía. Se puede absorber y almacenar un litro de agua con tan solo 5 gramos del material, que es un tipo de polímero absorbente originalmente iniciado por el Departamento de Agricultura de EE. UU.⁽⁸⁾.

La lluvia sólida, es una sustancia química que se da por medio la unión de moléculas de poca masa, de esta forma el agua se solidifica, en razón de que se mantenga sólida por un largo periodo de tiempo, se usa acrilato de potasio. Esto da la función de higroscópico, absorbe grandes cantidades del vital líquido, necesaria en los sembradíos agrícolas para resguardar la producción⁽⁹⁾. En México en el año 2014 se creó un sistema como base en la lluvia sólida, en el que se implemente casi 20 veces el rendimiento de la producción agrícola. Empleó fórmula de poliacrilato de potasio, las cuales al absorber el agua en estado líquido la cambian a estado sólido en forman en gel⁽¹⁰⁾.

A diferencia del gel, también se encuentra una base en forma de polvo donde se le puede integrar o revolver en la tierra fértil, lo cual crea una masa de humedad específica siendo suficiente para el sembrío de plantas en cualquier semilla. La lluvia sólida permite la absorción de agua hasta 200 veces, convirtiéndose en una alternativa para este sector. Debido a esto, en algunos lugares es usado estas bases sobre todo en el cultivo del frijol, porque permite su desarrollo óptimo aprovechando los recursos hídricos en la agricultura⁽¹¹⁾. También se conoce que en ocasiones si no se tiene conocimiento exacto del

uso de los polímeros que es con lo que se crea la lluvia sólida, puede causar un aumento de las sales y eso evita la posibilidad de absorción de agua⁽¹²⁾.

En Ecuador, la afectación por sequía es uno de los fenómenos naturales que causa elevadas pérdidas en el sector productivo, en rubros cultivos y pastizales considerando que la economía del país, es netamente agrícola y ganadera. Las ausencias de precipitaciones oscilan en 72% por debajo de lo normal, lo cual han provocado pérdidas en los cultivos como, por ejemplo, en el arroz y el maíz⁽¹³⁾. Esto propicia un escenario de inseguridad alimentaria, pobreza y migración, con mayor incidencia en la agricultura familiar y en pequeños ganaderos quienes son los que mayormente aportan con productos a los mercados locales.

Lo elevado de la sequía, afecta en especial a la parte andina de la Provincia Bolívar, zona en la que predomina la actividad agrícola con el 38%. Estos territorios están marcados por dos épocas climáticas: la lluviosa, que va desde enero a abril de cada año (caracterizado por las altas precipitaciones) y, la época de precipitaciones bajas que va de mayo a diciembre en la que presenta probabilidad del 80% de menos lluvias⁽¹⁴⁾.

Dado que el sector agrícola es fundamental, el impacto del riesgo de sequía en la producción agrícola ha recibido una atención cada vez mayor en los últimos años; además, la agricultura es una actividad económica fundamental en las zonas rurales del Ecuador. En general, el primer sector económico afectado por el riesgo de sequía es la agricultura, esta situación principalmente afecta a los agricultores de bajos ingresos, quienes serían los primeros en la sociedad en sentir los efectos de la sequía.

El cambio climático impacta negativamente la producción agrícola, especialmente en regiones rurales con insumos limitados al acceso al agua dulce. En Guaranda el riesgo de sequía proporciona una imagen compuesta basada en un análisis de series de tiempo del efecto de la deficiencia de agua en el rendimiento de los cultivos. Es un enfoque vinculado a una región y cultivos determinados.

Los efectos negativos de la limitación del agua en el rendimiento de los cultivos son fundamentales para los cultivos sensibles a la sequía de gran importancia para la producción y la seguridad alimentaria, como la papa y el maíz. La papa produce la mayor cantidad de calorías por unidad de aporte de agua y es siete veces más eficiente que algunos cereales, como el maíz. Sin embargo, la papa es generalmente sensible a la sequía, con pérdidas en el rendimiento que pueden alcanzar una reducción del 79% si no se cumplen los requisitos de agua.

Por esta razón, la conservación de recursos críticos para la productividad agrícola también significa cuidar el suelo para que mantenga su integridad como una entidad compleja y altamente estructurada compuesta por partículas minerales, materia orgánica, aire, agua y organismos vivos. Abordar la sequía y otras amenazas de vulnerabilidades naturales resulta primordial; en tal sentido, el objetivo de la presente investigación es generar una estrategia innovadora para la mitigación del riesgo de la sequía, con utilización de la lluvia sólida y la sostenibilidad del sector agropecuario en la zona sierra del cantón Guaranda.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Esta investigación estuvo basada en la innovación de una tecnología derivada en el uso del recurso agua lluvia, aplicando la metodología de acción participativa, metodología que implica que la investigación y los participantes trabajen juntos para comprender una situación problemática y mejorarla, la cual integró interacciones colaborativas de todos los involucrados, generando un aprendizaje colectivo para reflexionar en cómo hacer frente al fenómeno natural de la sequía, con un análisis crítico aprovechando la experticia de la población participante en el proyecto.

Se aplicó estadística descriptiva, apoyados mediante la utilización del software InfoStat que permitió organizar los datos, acciones y categorías de manera ascendentes y descendentes sin perder de vista los valores seleccionados. La investigación es de tipo descriptiva y de campo, en concordancia con la observación directa y sustentados en la encuesta como instrumento de recolección de la información y fuente primaria. Por medio de la metodología empleada, se puso en práctica el grupo focal obteniendo resultados que apoyaron la práctica innovadora respecto a la percepción del riesgo de la sequía y, la utilización de recursos para generar un cambio social y cultural agro productiva, lo cual implica, crear un enfoque en la agricultura más vinculado al medio natural, más sensible desde una perspectiva social, centrado en la producción sostenible e integrando los fenómenos ecológicos, así como una revalorización de las prácticas agrícolas indígenas y rurales que ocurren en un campo cultivado en 519,6 km² de superficie que usualmente se encuentra a 14 ° Centígrados, con una humedad alrededor del 83%.

El diseño del estudio es longitudinal, en razón que la investigación se practicó en parcelas diferentes y en tiempos distintos con cultivos diferentes para observar el comportamiento que ejerce la lluvia sólida en los productos. La muestra participante estuvo conformada por 36 agricultores de las zonas Guanujo, San Simón, San Lorenzo, Santiago, Llacán y Santa Fe; todas pertenecientes al cantón Guaranda, provincia Bolívar de Ecuador. La presente

investigación se valida específicamente en el Sector El Laguacoto cuyas coordenadas son E 722798 – N 9821461 Z 2610 msnm; en dos parcelas, en las que se estableció por su conglomerado en el cultivo de maíz y papa respectivamente.

El procedimiento para validar el efecto de la lluvia sólida en el cultivo de maíz, se realizó de la siguiente manera: se tomaron muestras del suelo para su respectivo análisis de laboratorio, posteriormente y, de acuerdo a los resultados se procedió a preparar el suelo, se realizó la siembra con semillas recomendadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) tipo Guagal B-111 debidamente desinfectadas con Vitavax y Malatión, con una densidad de siembra de 1 semilla por cada 0,3 m de distancia entre punto de siembra, y 0,6 m entre surcos.

Se le aplicó 300 ml de lluvia sólida en cada punto de siembra, acompañado de 30 gr de fertilizante 15-15-15, por cada punto de siembra; luego del proceso de germinación, se realizó el respectivo manejo agronómico del cultivo sobre todo cuando la cosecha de la mazorca se encuentra en estado lechoso (choclo), por medio de la rehidratación del polímero en periodos de 60 días.

En relación al cultivo de la papa, se estableció trabajar con una variedad INIAP - Fátima con una distancia de 0,5 m entre cada planta y de 0,9 m entre surcos. Asimismo, se emplearon dos tubérculos por punto de siembra, se agregó 300 ml de lluvia sólida, 30 gr de fertilizante 10-30-10 y, 60 gr de bocashi (abono orgánico sólido) por punto de siembra. Al momento de la germinación, se procedió al respectivo manejo agronómico hasta lograr la cosecha proyectada, en concordancia con el proceso de rehidratación del polímero que fue realizada cada 55 días.

El proceso para el extracto, preparación y análisis de la muestra del suelo, comprende de los siguientes pasos:

Secado → Tamizar para excluir partículas mayores y desmenuzar terrones → Mezcla homogénea
pH: en H₂O y KCl, Método Volumen 1:2
C.E.: Método Volumen 1:2 (extracto en H₂O)
NH₄, K, Ca y Mg: Extracción con NaCl 0.05 M
Fe, Mn, Zn y Cu: Extracción con DTPA
P: Extracción con NaHCO₃ 0,5 M (Método Olsen)
NO₃, SO₄, Na, Cl y B: Extracto Agua

Tabla 1. Referencias de la muestra

Parámetros	Método
pH	EPA 9045 D
Conductividad (C.E.)	SM 2510 B
Nitrato (NO ₃)	ISO 7890-1
Amonio (NH ₄)	SM 4500-NH ₃ D
Fosfato (PO ₄)	SM 4500-P C
Potasio (K)	SM 3500-K B
Magnesio (Mg)	EPA 7000 B
Calcio (Ca)	EPA 7000 B
Sulfato (SO ₄)	SM 4500-SO ₄ E
Sodio (Na)	SM 3500-Na B
Cloruro (Cl ⁻)	SM 4500-Cl G
Hierro (Fe)	EPA 7000 B
Manganeso (Mn)	EPA 7000 B
Cobre (Cu)	EPA 7000 B
Zinc (Zn)	EPA 7000 B
Boro (B)	EPA 7000 B
Molibdeno (Mo)	EPA 7010
Silicio (Si)	EPA 7010
Aluminio (Al)	EPA 7010
Acidez y Aluminio Intercambiable	ISO 14254
Bicarbonatos (HCO ₃)	SM 2320 B
Materia Orgánica	AOAC 967.05/DIN 19684-3
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	EPA 9081
% Saturación de Bases	EPA 9081
Fracción de Partículas	ISO 11277

Fuente: Elaboración propia .

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las apariciones recurrentes fenómenos negativos climatológicos, repercute en la producción agropecuaria e ingresos de los productores del cantón Guaranda, sector El Laguacoto; siendo la sequía uno de los desastres naturales

más complejos que ha impactado en dicho ámbito. Los efectos que se producen, van más allá de la producción, es decir, existen daños colaterales que impactan el abastecimiento de agua potable, así como la emigración de los pobladores en búsqueda de alternativas mínimas para vivir, y evitando el incremento de las hambrunas y decesos lamentables. Analógicamente hablando en referencia a otros desastres naturales, la sequía trae consigo rasgos longitudinales, es decir, pueden prevalecer por mucho tiempo (años), con un efecto adverso en el desarrollo productivo; en este caso, la agricultura.

Cuando comienzan a acentuarse esta situación de sequía, y los efectos o consecuencias comienzan a expandirse a otros sectores que se ven afectados por el fenómeno natural, se hace evidente la necesidad de mejorar su condición, buscando alternativas para poder encuadrar eficientemente la manera de enfrentarlo. Lo que se quiere enfatizar con lo anteriormente planteado, es que los impactos de las sequías dependen de la vulnerabilidad y de la habilidad de las comunidades para confrontar el fenómeno, siendo estas influenciadas de alguna manera por las condiciones socioeconómicas, productivas y de calidad de los recursos de las poblaciones aledañas y conexas que se pueden ver afectadas de forma directa. De ahí el interés de generar estrategias innovadoras y adaptables a las necesidades de los productores agrícolas, para mitigar el riesgo que produce el efecto de la sequía, con utilización de la lluvia sólida y la sostenibilidad del sector agropecuario en la zona sierra del cantón Guaranda, esbozando líneas de acción para conducir una gestión apropiada del riesgo.

Para comenzar este estudio, es importante tener en cuenta a primera instancia un estudio inicial general del suelo donde se procederá a realizar la implementación de la lluvia sólida, como componente que contrarreste los efectos causados por el fenómeno de la sequía. En la tabla 2, se observa que los estudios preliminares arrojaron que, desde las características del suelo, existe un buen promedio relacionado con las necesidades para confrontar los niveles óptimos para el cultivo y, que sirve de parámetro comparativo una vez se emprenda el uso adecuado de la lluvia sólida en dicho terreno.

Es de resaltar que apenas el pH medido en KCl que se encuentra en valores entre 5,5 y 5,4 (cifras óptimas entre 5,8 y 7,0) dentro de la clasificación conocida como neutro, tiene cierta significancia con los valores óptimos, lo que denota que bajo parámetros con valores que presentan una Conductividad Eléctrica (CE) como mínimo de 0,733 mS/cm, los suelos no salinos con retención de nutrientes y micronutrientes podrían ser considerados como aptos para la producción agrícola. Sin embargo, existe una alta probabilidad de que la cosecha se vea afectada en el caso de la aparición del fenómeno de la sequía.

Los resultados que arrojaron los macronutrientes, se observan inestabilidades producto de la fertilización del suelo respecto al cambiante clima de la zona (El Laguacoto), donde los parámetros del fósforo, potasio, magnesio y calcio que posee el suelo no favorecen a la cosecha. Es importante equilibrar la neutralidad de estos componentes, aprovechando la no salinidad de los nutrientes para obtener que la acidez no desvirtúe la calidad de la producción. Estos valores iniciales del análisis de suelo, son considerados en la categoría de contenidos moderados lo que conlleva a evaluar detenidamente el efecto que pudiera originar la lluvia sólida, que además de solventar los problemas ocasionados por la sequía, sirve de componentes acelerador para proteger la cosecha por un periodo determinado.

El contenido de datos de los micronutrientes, reflejan al igual que los macronutrientes, inestabilidades no conformes que deben ser tomados en consideración al momento de interpretar el comportamiento del suelo en relación a la producción de maíz y papa. La consistencia de inestabilidad que sigue presentando el magnesio debe ser contrarrestada para evitar bajos contenidos en Molibdeno (Mo) componente clave compuesto por dos enzimas que convierten el nitrato a nitrito, para luego transformarlo a amoníaco. Sirve para sintetizar los aminoácidos que se encuentran dentro de la planta y cuya relacionado tiene semejanza con la asimilación del nitrógeno, asegurando que el crecimiento no sea factor limitante en los cultivos.

Seguidamente, se observan los resultados emanados de las sales (sodio y cloruro), la cual se observa que tomando en consideración el método de extracción de la misma basada en agua, se encuentra por debajo (172 de 208) pero muy lejos de su valor de efectividad en el suelo hacia el cultivo agrícola. Es de destacar que, las altas concentraciones de sodio en los suelos no sólo perjudican los cultivos directamente, sino también degradan la estructura del suelo, disminuyendo la porosidad y la permeabilidad del agua.

En este caso, que se encuentra en niveles bajo, la lectura que se le otorga es que el nivel de afectación que pudiera tener el suelo del sector El Laguacoto, tendrá por lo menos un bajo valor de concentración de sales más solubles que carbonato de calcio y yeso, que de manera gradualmente bajo influye poco en el fortalecimiento de los cultivos a emprender. Esto quiere significar que, cuando existe presencia de las sales por encima de sus valores normales, influye significativamente en la asimilación de nutrientes y en la actividad microbiana del suelo.

En un primer estudio se puede decir que, de acuerdo a los valores de los parámetros, el suelo del campo El Laguacoto, no está debidamente apto para la práctica de la cosecha, sin embargo, se empleará el método de la lluvia sólida con la intención de poder medir nuevamente estos valores y observar

el efecto beneficioso o no de este elemento que resulta determinantes cuando existen el fenómeno de la sequía a nivel agrícola (Tabla 2).

Tabla 2. Contenido de macro- y microelementos en mg / kg de suelo seco

	Análisis	Unid.	*Método de extracción	*Niveles óptimos para cultivo intensivo	Resultados	
Características del suelo	Conductividad (CE)	mS/cm	Vol. 1:2	0,3 - 0,5	0,25	0,21
	pH (en H₂O)	-	Vol. 1:2	-	6,4	6,3
	pH (en KCl)	-	Vol. 1:2	5,8 - 7,0	5,5	5,4
Macronutrientes	Nitrato (NO₃-N)	mg/kg	Extracto Agua	-	32,4	27,3
	Amonio (NH₄-N)	mg/kg	NaCl 0.05 M	-	1,3	2,0
	(NO₃+NH₄)-N	mg/kg	-	30 - 55	33,7	29,3
	Fósforo (P)	mg/kg	NaHCO ₃ 0.5M	20 - 30	21,5	24,3
	Potasio (K)	mg/kg	NaCl 0.05 M	160 - 240	138	170
	Potasio (K) - en Agua	mg/kg	Extracto Agua	20 - 45	17,4	23,0
	Magnesio (Mg)	mg/kg	NaCl 0.05 M	75 - 140	150	109
	Calcio (Ca)	mg/kg	NaCl 0.05 M	600 - 1200	326	343
	Azufre (SO₄-S)	mg/kg	Extracto Agua	10 - 15	7,3	5,6
Micronutrientes	Hierro (Fe)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	20 - 50	128	133
	Manganeso (Mn)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	6 - 30	29,0	34,4
	Cobre (Cu)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	1,0 - 4,0	8,6	8,5
	Zinc (Zn)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	1,2 - 6,0	3,3	3,4
	Boro (B)	mg/kg	Extracto Agua	0,15 - 0,60	0,17	0,17
Peligro de salinidad	Sodio (Na)	mg/kg	Extracto Agua	< 140	13,4	10,4
	Cloruro (Cl⁻)	mg/kg	Extracto Agua	< 210	24,9	19,1
	Sales Totales	mg/kg	Extracto Agua	< 2000	208	172

* **Fuente:** Sparks ⁽¹⁵⁾. - = No Aplica.

En la Tabla 3, se denotan los nuevos valores adquiridos una vez aplicado el proceso de la lluvia sólida, desde el momento de la siembra hasta la cosecha, es decir, durante toda la etapa agronómica del cultivo; observando resultados tanto del comportamiento del suelo, los nutrientes y la calidad de la producción. En relación a las características del suelo, el promedio mejoró notablemente respecto a los parámetros de los niveles óptimos para el cultivo, dejando en evidencia la influencia del componente que como ya se había señalado anteriormente, actúa como elemento que contrarresta al fenómeno de la sequía y componente adicional para proteger la cosecha.

Los valores de los macronutrientes, se fueron estabilizando a tal punto que el fósforo, magnesio y el calcio se aproximaron aún más a sus niveles óptimos. Esto quiere decir, que, con el efecto provocado por la lluvia sólida, se fueron estabilizando o equilibrando la neutralidad que, a su vez, es un proceso necesario para mantener la no salinidad de los nutrientes bajo un estado ideal con relación a la acidez y por ende a la calidad de la cosecha. Los valores de la Tabla 3, demuestra que el pH medido en el extracto acuoso presenta un valor de 6,4; lo que se clasifica como fuertemente óptimo. El valor de acidez se observa acorde a la categoría o nivel mínimo que de alguna manera protege la cosecha de contenido altos de potasio y fósforo. El contenido de Ca^{2+} (380) llama mucho la atención, sin embargo, debido a los resultados satisfactorio de la cosecha, el veredicto es considerado como moderado, por lo cual, se puede decir que tanto la lluvia sólida como el ambiente, influyen categóricamente en la producción.

Los nuevos valores de los micronutrientes, mejoraron de manera positiva. Se estabiliza la inconsistencia inicial presentada, por lo tanto, la afectación del manganeso, hierro y cobre señalan lo adecuado que resulta la preparación del suelo una vez aplicado el sistema de la lluvia sólida. La homogeneidad en cuanto a las mejoras de los parámetros, son satisfactorios sobre todo en procesos de extracción donde se encuentra involucrado el agua. Las pruebas llevadas a cabo durante el proceso fenológico de los cultivos determinaron que el fósforo es un elemento asimilable que busca estabilizar a otros componentes que se comportan regaceas a la contribución de la lluvia sólida como alternativa al fenómeno de la sequía.

Tabla 3. Contenido de macro y micro elementos en mg/kg de suelo seco

	Análisis	Unidades	*Método de extracción	*Niveles óptimos para cultivo intensivo	Resultado
Características de Suelo	Conductividad (CE)	mS/cm	Vol. 1:2	0,3-0,5	0,26
	pH (en H₂O)	-	Vol. 1:2	-	6,4
	pH (en KCl)	-	Vol. 1:2	5,8 – 7,0	5,5
Macronutrientes	Nitrato (NO₃-N)	mg/kg	Extracto Agua	-	29,5
	Amonio (NH₄-N)	mg/kg	NaCl 0.05 M	-	1,5
	(NO₃+NH₄)-N	mg/kg	-	30 - 55	31,0
	Fósforo (P)	mg/kg	NaH-CO ₃ 0.5M	20 - 30	42,4
	Potasio (K)	mg/kg	NaCl 0.05 M	160 - 240	180
	Potasio (K) - en Agua	mg/kg	Extracto Agua	20 - 45	24,6
	Magnesio (Mg)	mg/kg	NaCl 0.05 M	75 - 140	145
	Calcio (Ca)	mg/kg	NaCl 0.05 M	600-1200	380
	Azufre (SO₄-S)	mg/kg	Extracto Agua	10 - 15	8,4
Micronutrientes	Hierro (Fe)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	20 - 50	131
	Manganeso (Mn)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	6 - 30	31,6
	Cobre (Cu)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	1,0 – 4,0	8,2
	Zinc (Zn)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	1,2 – 6,0	3,1
	Boro (B)	mg/kg	Extracto Agua	0,15-0,60	0,18
Peligro de Salinidad	Sodio (Na)	mg/kg	Extracto Agua	< 140	12,6
	Cloruro (Cl⁻)	mg/kg	Extracto Agua	< 210	32,9
	Sales Totales	mg/kg	Extracto Agua	< 2000	219

* **Fuente:** Sparks ⁽¹⁵⁾. - = No aplica.

Los resultados en la Tabla 4, denota y afirma la relevancia que ejerce la lluvia sólida, considerada como un polímero biodegradable y tipo polvo (no tóxico) que es capaz de absorber 200 veces su peso en agua, es decir, que cuando se mezcla se obtiene un gel y puede almacenar el líquido por hasta 55 y 60 días, respectivamente. En esta investigación, los agricultores lo usaron como proceso innovador para lograr almacenar el agua de la lluvia y emplearla como reemplazo de riego. Para lograr ese efecto, se colocó gel el momento de la siembra de los cultivos de papa y maíz, con la intención de que cuando llueva el polímero se vuelva a rehidratar, y en época de estiaje cumpla su función natural de suministrar agua a las plantas y puede existir un proceso de riego por un espacio aproximado de 8 - 9 semanas.

Como era de esperarse el peso de los tubérculos por PS (0,95 kg con lluvia sólida) en el caso del campo testigo, fue de cinco tubérculos más (0,92 kg campo testigo), donde el peso total obtuvo un valor relativamente mayor que influye de forma positiva en la productividad de los agricultores. En el caso del tamaño del tubérculo, se observa un crecimiento o más desarrollo en comparación con el campo testigo, validándose y comprobándose la razonabilidad de lo que produce la lluvia sólida.

Tabla 4. Resultados cultivo de papa variedad Fátima

Parcelas	Germinación DDS	Cosecha DDS	# Tubérculos PS	Peso Tubérculos PS (Kg)
Campo Lluvia sólida	19	148	19	0,95
Campo Testigo	21	155	24	0,92

Fuente: Elaboración propia

Nota: DDS (días después siembra); PS (punto de siembra).

En la Tabla 5, se observa al igual que en la tabla anterior; un resultado bastante satisfactorio respecto a la producción del maíz. Los resultados son extraordinarios debido a que la raíz del cereal se mantiene húmeda por un espacio aproximado de dos meses, rehidratándose en repetidas ocasiones gracias a las precipitaciones que se presentaron hasta la cosecha. Con el empleo de la lluvia sólida, los cultivos de maíz aumentaron seis veces la productividad

Además, los diámetros en cultivos de *Zea mays* se expandieron (largo de 19 centímetros a 19,3; los diámetros inferiores y superiores en caso el doble y

el medio estuvo más compacto de 3,65 a 4,8) logrando un tamaño uniforme y generando una mejora continua en torno a la calidad del producto. Los costos bajo este sistema innovador, permite un ahorro de casi un 80% donde los agricultores pueden reinvertir en otros artículos como fertilizantes, máquinas y hasta en mano de obra. Queda comprobado que, durante el cultivo de maíz el consumo de agua disminuyó. Otro factor que destacar en estos resultados, resultó la zona El Laguacoto, debido a que se mantiene en constante lluvia logrando mantener una humedad de las raíces del grano que contribuyó enormemente a los resultados esperados.

Tabla 5. Resultados cultivo maíz blanco harinoso tardío variedad Guagal INIAP B-111

Parcelas	Germinación DDS	Cosecha DDS	DFF	Altura de planta	Altura inserción mazorca	Long. mazorca	(cm)		
							Ø DSM	Ø DMM	Ø DIM
Campo lluvia sólida	19	175	123	257	150	19,3	2,97	4,8	5,00
Campo testigo	21	196	136	246	150	19	2	3,65	3,70

Nota: DDS (días después siembra); DFF (días de floración femenina); DSM (diámetro superior mazorca); DMM (diámetro medio mazorca); DIM (diámetro inferior mazorca).

Fuente: Elaboración propia.

En definitiva y en concordancia con los resultados mostrados, se afirma que efectivamente el método de la lluvia sólida en los cultivos de maíz y papa, logró multiplicar hasta por cinco veces o más, la productividad obtenida con el sistema tradicional de riego. El estudio de los suelos antes y después, también comprobó las cualidades y hasta dónde puede llegar esta metodología efectiva para impulsar la siembra todo en zonas donde la humedad tanto natural como la generada por el polímero. Los datos permiten validar las nuevas dimensiones de los productos (maíz y papa) evidenciando lo novedoso que resulta la metodología de siembra empleada en el sector El Laguacoto de la provincia Bolívar, Ecuador.

4. CONCLUSIONES

La correcta aplicación de la lluvia sólida como complemento en los procesos agropecuarios, resulta muy importante y se considera como parte integral del sistema de riego. Para ello, se deben considerar algunas variables como son: tipo de cultivo, suelo, clima, aplicación durante la siembra y después de la siembra. Con base a estas variables, se selecciona el proceso adecuado para dar comienzo a su implementación, por lo que es importante conocer las bondades y los componentes que se conjugan para que los resultados del polímero hacia la productividad sean satisfactorios.

Es un sistema de riego agroclimático, que reconoce los factores de vulnerabilidad del sector y las diferencias territoriales, que resultan clave para minimizar las ocurrencias de situaciones de emergencia catastróficas nacionales y la reducción de los impactos de los eventos climáticos extremos en las poblaciones más vulnerables. Este tipo de método al ser implementado en el sector El Laguacoto, se convirtió en un proceso innovador donde se recolectó el agua de lluvia con el fin de generar los medios necesarios para obtener la solidificación del líquido por un sistema de absorción molecular que, facilitó la siembra del maíz y la papa en una época seca, proporcionando la humedad necesaria para la germinación, crecimiento vegetativo, floración y maduración de los cultivos.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores han escrito este trabajo, han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el artículo y aprobaron su versión final.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún tipo de conflicto de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fuganti G, Minelli M, Rojas O. Guía práctica para la formulación de planes de alerta y acción temprana ante la sequía agrícola. Ciudad de Panamá. FAO. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/cb0624es>
2. Ravelo A, Planchuelo A, Aroche R, Douriet J, Hallack M, Jimenez R, Maureira H, Peña T, Tiscornia G, Zanvettor R, Zimmermann R. Monitoreo y evaluación de las sequías en América Latina. Editores: Hugo Carrão y Paulo

Barbosa. EUROCLIMA. Unión Europea. 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.2788/65166>

3. Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. Informe de Evaluación Global sobre Reducción del Riesgo de Desastres. 2013. Disponible en: <https://www.eird.org/americas/gar.html>
4. Ortega D, Ceballos, J, Ordoñez A, Castellano H. Agricultural Drought Risk Assessment: A Spatial Analysis of Hazard, Exposure, and Vulnerability in Zacatecas, Mexico. *Water*. 2021; 13(10): 1431.
5. Rudzewicz D, Dice J. Drought Risk to the Agriculture Sector. Federal Reserve Bank of Kansas City. 2020; 105(2): 5-30.
6. Meza L, Corso S, Soza S. Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile. Chile. ODEPA. 2010. Disponible en: <http://www.fao.org/3/as447s/as447s.pdf>
7. Gallardo Y, Brown O. Análisis de los impactos provocados por la sequía agrícola en los cultivos de maíz y frijol en áreas agrícolas del municipio Venezuela, Ciego de Ávila, Cuba. *Sociedad y Naturaleza*. 2018; 30(2): 96-115. Disponible en: <https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-5>
8. Valdez D, Canciano J, Ordoñez Y. Lluvia sólida: ¿Un nuevo enfoque para el enfrentamiento al cambio climático en la agricultura? 2017. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/320507967_lluvia_solid_a_un_nuevo_enfoque_para_el_enfrentamiento_al_cambio_climatico_en_la_agricultura
9. Meza I, Siebert S, Döll P, Kusche J, Herbert C, Rezaei E, Nouri H, Gerdener H, Popat E, Frischen J, Naumann G, Vogt J, Walz Y, Sebesvari Z, Hagenlocher M. Global-scale drought risk assessment for agricultural systems. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2020; 20(2): 695-712. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/nhess-20-695-2020>
10. Paz A, Ortiz A. Lluvia sólida una alternativa de producción de hortalizas para el consumo familiar ante la sequia del país. *Vector*. 2013; 53: 19-25. Disponible en: https://issuu.com/revistavectordelainc.civil/docs/revista_54_junio_2013
11. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe*.

México crea agua en polvo para combatir la sequía. 2013, 27 de agosto. Disponible en: <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/512571/>

12. Rentería O. Evaluación de la tecnología poli acrilato de potasio como herramienta de la GIRH, para la eficiencia del uso del agua de lluvia en el cultivo de frijol de temporal, en el ejido de Nuevo Ideal, Durango, México, en el ciclo 2018-2019. Tesis de postgrado, Instituto Politécnico Nacional. 2019. Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/26153/1/TesisposgradoOlgaG.RenteriaTamayo.pdf>
13. Orbegoso L, Toledo L. El Efecto del polímero “lluvia sólida” y frecuencias de riego en el rendimiento de maíz amarillo duro, Lambayeque. Aporte Santiaguino. 2019;12(1);81-91. Disponible en: <https://doi.org/10.32911/as.2019.v12.n1.609>
14. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Rendición de Cuentas 2015. 2015. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/rendicion-de-cuentas-2015/>
15. Instituto Nacional de Estadística y Censos. INEC presenta Programa Nacional de Estadística y Calendario Estadístico. 2015. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/inec-presenta-programa-nacional-de-estadistica-y-calendario-estadistico-2015/>
16. Sparks D. Methods of Soil Analysis Chemical Methods. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison Wis. Num 5 Part 3. 1996; 1390 p.